



VAKOLA

PPA 1
03400 VIHTI
913-46 211

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

VAKOLAN TUTKIMUSSELOSTUS NRO 41

KIMMO KOIVISTO — KAISA AARNIO —
JORMA KARHUNEN

LIETELANNAN KOMPOSTOINTILÄMMÖN TALTEENOTTO

RECOVERY OF SLURRY
COMPOSTING HEAT

VIHTI 1986

ISSN 0782-0054

VAKOLAN TUTKIMUSSELOSTUS NRO 41

KIMMO KOIVISTO — KAISA AARNIO —
JORMA KARHUNEN

LIETELANNAN
KOMPOSTOINTILÄMMÖN
TALTEENOTTO

RECOVERY OF SLURRY
COMPOSTING HEAT

VIHTI 1986

SISÄLLYSLUETTELO

SIVU

| | |
|--|-----|
| ALKUSANAT | I |
| TIIVISTELMÄ | III |
| ABSTRACT | V |
| KÄYTETYT MERKINNÄT JA LYHENTEET | 1 |
| 1. KOMPOSTOINTIPROSESSI | 1 |
| 1.1 Määritelmä | 1 |
| 1.2 Kompostoitaaessa vapautuva lämpö | 2 |
| 1.3 Hajoamisnopeus | 6 |
| 2. KOMPOSTOINTILAITTEET | 11 |
| 2.1 Ilmastimet | 11 |
| 2.1.1 Ilmastintyyppit | 13 |
| 2.1.2 Paineilmailmastimet | 14 |
| 2.1.3 Mekaaniset ilmastimet | 20 |
| 2.1.3.1 Pintailmastimet | 20 |
| 2.1.3.2 Pohja- ja väli-ilmastimet | 24 |
| 2.1.4 Yhdistelmäilmastimet | 30 |
| 2.2 Kompostointisäiliöt | 31 |
| 2.2.1 Olemassa olevien lietelantasäiliöiden käyttö | 31 |
| 2.2.2 Kompostisäiliön rakentaminen | 33 |
| 3. LÄMMÖN KEHITYS- JA TALTEENOTTOKOKKEET | 46 |
| 3.1 Kehittyvä lämpö | 46 |
| 3.2 Lämpöhäviöt ja nettolämpöteho | 49 |
| 3.3 Lämmöntalteenotto | 51 |
| 3.3.1 Lanta/vesilämmönvaihtimet | 51 |
| 3.3.2 Poistoilman lämmönvaihtimet | 52 |
| 3.3.3 Poistuvan lannan lämmönvaihtimet | 56 |
| 3.3.4 Lämpöpumpun käyttö lämmöntalteenotossa | 58 |
| 3.4 Lietelannan vaahtoaminen | 58 |
| 3.4.1 Vaahdon kehittyminen | 58 |
| 3.4.2 Vaahdonestoaineet | 60 |
| 3.4.3 Mekaaniset vaahdonhävittimet | 61 |

| | | |
|-------|---|-----|
| 3.5 | Sekoitus | 67 |
| 3.6 | Mittaustavat | 69 |
| 3.6.1 | Koelaitteisto | 69 |
| 3.6.2 | Lämpötilamittaukset | 73 |
| 3.6.3 | Ilmamäärän mittaus | 73 |
| 3.6.4 | Lietelannan määrän mittaus | 74 |
| 3.6.5 | Energiamittaukset | 76 |
| 3.7 | Lietelantanäytteet ja -analyysit | 76 |
| 3.8 | Lämmöntalteenottokokeet | 77 |
| 3.8.1 | Vihdin koetulokset | 77 |
| 3.8.2 | Koetulosten arviointi | 78 |
| 3.8.3 | Lannan muuttuminen | 83 |
| 3.8.4 | Pukkilan koetulokset | 86 |
| 4. | KOMPOSTOINTILÄMMÖN HYÖDYNTÄMISMAHDOLLISUUKSIA | 88 |
| 4.1 | Sikalan lämmitys | 88 |
| 4.2 | Ruokintaveden lämmitys | 91 |
| 4.3 | Asuinrakennuksen lämmitys | 91 |
| 4.4 | Viljan kylmäilmakuivaus lisälämmöllä | 93 |
| 5. | KANNATTAVUUS | 96 |
| 6. | KOMPOSTORIN KEHITYSMAHDOLLISUUDET | 101 |
| 6.1 | Kustannusten alentaminen | 101 |
| 6.2 | Teknisten ratkaisujen parantaminen | 102 |
| 7. | KIRJALLISUUS | 108 |

ALKUSANAT

Lietelannan kompostoinnin tarkoituksena on alunperin ollut hajuhaittojen vähentäminen, lannan hygienian ja käsiteltävyyden parantaminen ja rikkakasvien siementen tuhoaminen. Lietelannassa olevat aerobiset mikrobit pysyvät hajoittamaan lannan orgaanista ainesta käyttäen hajoituksessa syntyviä yksinkertaisempia yhdisteitä kasvuun ja elintoimintoihin. Näissä toiminnoissa vapautuu lämpöä. Kompostoitaessa lietelantaa eristetyssä säiliössä lannan lämpötila nousee huomattavasti ympäristön lämpötilaa korkeammaksi ja lämpö voidaan käyttää hyväksi esimerkiksi lämmityksessä.

Koska kompostoinnissa vaikuttavat bakteerit ja sienet käyttävät lantaan liuennutta happea elintoiminnoissaan, sitä täytyy tuoda säiliöön ulkoapäin. Kompostointi suljetussa säiliössä tehdään ilmastamalla lantaa koneellisesti.

Tässä KTM:n vuosina 1982-1985 rahoittamassa tutkimuksessa on ollut tavoitteena kehittää pienkarjavaltaista maataloutta ajatellen kohtuuhintainen menetelmä lietelannan kompostoinnissa syntyvän lämpöenergian hyödyntämiseksi.

TIIVISTELMÄ

Lantaa on alettu ensimmäiseksi kompostoida ympäristöhaittojen pienentämiseksi ja luonnonmukaisen viljelyn asettamien vaatimusten täyttämiseksi. Sekä kiinteätä että lietelantaa on kompostoitu. Lietelannan kompostointia on tutkittu Pohjoismaissa eniten Norjassa, jossa lämpöä talteenottavia kompostoreja on jo rakennettukin muutama. Keski-Euroopassa lietelannan ilmastuksessa useimmiten pyritään vain vesistö- ja hajuhaittojen pienentämiseen.

Suomen nauta-, sika- ja kanakannan yhteinen kompostilämpöteho on noin 380 MW, josta nykytekniikalla voidaan saada hyötylämpöä noin puolet, eli 190 MW. Maatilojen kokojakautuma on kuitenkin sellainen, että pieniä, kompostilämpöteholtaan 4-8 kW tiloja on eniten. Teollisuuden valmistamat kompostoinnissa tarvittavat laitteet, kuten ilmastimet, kompressorit ja vaahdonhävittimet ovat tällaisille tiloille suurenlaisia. Pienempien laitteiden valmistuskapasiteettia ja -valmiutta kyllä on, jos vain kysyntää ilmenee.

Tässä tutkimuksessa kokeiltiin käytännössä kahta bruttoteholtaan 15-30 kW kompostoria. Kokeissa käytettiin kahta säiliö-, kuutta ilmastin- ja muutamaa lämmönvaihdin- ja vaahdonhävittintyyppiä, sekä kymmenkuntaa vaahdonestoainetta.

Lietelannan ilmastuksesta on saatavissa melko vähän tietoa. Useimmat ilmastimet on suunniteltu yhdyskuntajätevesille tai ohennetulle lietelannalle. Suurimpia ongelmia olivat ilmastimien tukkeutuminen ja lannan vaahtoaminen.

Kun laitteisto oli saatu kehitetyksi ja prosessi hallintaan, saatiin 3,5 kuukauden jatkuvassa käytössä kompostin ja talteenotettavan veden pysyväksi lämpötilaksi noin 40 °C ja lämpökertoimeksi eli hyötylämmön ja kompostointiin käytetyn sähköenergian suhteeksi 4,5. Laitteistoa edelleen kehittämällä on ilmeisesti mahdollista päästä lämpökertoimeen 6.

Saatua lämpöenergiaa voidaan käyttää eläin- ja teknisten tilojen sekä asunnon lämmitykseen ja viljan kylmäilmakuivaukseen. Laskelmien mukaan voidaan esimerkkitalalla, joka on toinen kokeilutiloista, korvata sen vuotuisesta 70 MWh energian tarpeesta 71 %. Kompostista saatavasta nettolämpömäärästä voidaan laskelmien mukaan käyttää hyödyksi 88 %.

Kompostilämpöteholtaan yli 20 kW:n tehoisten laitosten kannattavuus on laskelmien mukaan tyydyttävä: koroton takaisinmaksuaika on 3,2-4,4 vuotta. Kun koneiston käyttöikä on 10 v ja säiliön käyttöikä 20 v saadaan investoinnille 20...29% vuotuinen korko. Tällaisia tiloja on Suomessa noin 250 kpl, yhteisen hyötytehon ollessa 4 MW. Useimmilla näistä tiloista on lietelantajärjestelmä. Pienempien 10-20 kW-tilojen lukumäärä on 5400 kpl ja yhteinen nettolämpöteho 32 MW. Vastaavasti näillä tiloilla kompostilämmön talteenotto-laitteiden koroton takaisinmaksuaika olisi 8v ja edellä olevilla käyttöajoilla vuotuinen korko noin 6 prosenttia. Kannattavuustarkastelu on tehty yksinomaan saadun lämpöenergian hinnan perusteella, lisäksi tulevat kompostoidun lannan muut edut: käsiteltävyyden paraneminen, hajuttomuus sekä pienemmät vesistöhaitat ja soveltuvuus luonnonmukaiseen viljelyyn.

Edellisiä pienempiä, kompostilämpöteholtaan 4-10 kW:n tiloja on 41 000 kpl, yhteisen nettotehon ollessa 110 MW. Näille tiloille sopivien säiliö- ja laitetyyppien kehitys olisi aloitettava. Osalla näistä tiloista tulisi olemaan kiinteän lannan kompostorit, sillä kiinteää lantaa käyttää noin kaksi kolmannesta Suomen noin 110 000 karjatilasta.

Kompostilaitosten syntymisen ovat panneet alulle ympäristösuojelun ja luonnonmukaisen viljelyn lisääntyminen. Kompostilämmön talteenotto voisi tehdä kompostoinnista kannattavan vaihtoehdon. Tätä varten olisi tutkittava pienten, 3-10 m³:n kompostorin teknisiä ratkaisuja, säiliön rakentamistapoja ja kannattavuutta.

ABSTRACT

People first started to compost manure in order to reduce environmental nuisances and to meet the requirements made by natural agriculture. Both solid and liquid manure have been composted. Studies of composting liquid manure have most been made in the northern countries where composters absorbing heat have also been built to a small extent. In Central-Europe liquid manure is mostly aerated only in order to reduce water and air pollution.

Total compost heat power of Finnish cattle, swine and poultry is about 380 MW, half of which, about 190 MW, can be turned into useful heat by modern technology. Most farms in Finland are however small, having a compost heat power of 4-8 kW. Industrially produced equipment needed for composting, such as aerators, compressors and foam cutters, are rather big for these farms. There is, however, capacity and readiness to produce smaller equipment provided there is demand for it.

In this study two composters with a gross power of 15-30 kW were tested in practice. Two types of bins, six types of aerators, a few types of heat exchangers and foam cutters and about ten foam damping agents were used in the tests.

There is not much information available on aerating liquid manure. Most aerators have been designed for municipal wastewater for liquid manure. Some of the biggest problems were blocking of aerators and foaming of manure.

When the equipment had been developed and the process was in control, during 3,5 months running time it was possible to get a permanent temperature of about 40 °C for the compost and the water taken from the unit and a heat coefficient or the ratio of net energy to consumed energy of 4,5. By developing the equipment it is obviously possible to achieve a heat coefficient of 6.

The heat energy attained can be used for heating livestock houses, technical rooms and the dwelling house and drying grain in cold air dryer. According to calculations 71% of the annual 70 000 kWh energy demand of the example farm can be substituted. According to calculations 88% of compost heat gained can be utilised.

Composters having a compost heat power of over 20 kW are satisfactorily profitable according to the calculations: interest free repayment period is 3,3-4,4 years. When the lifetime of machinery is 10 years and lifetime of bin is 20 years the annual interest on the investment is 20-29%. There are 250 farms like this in Finland, with a total net power of 4 MW. Most of these farms have liquid manure system. There are 5400 smaller, 10-20 kW farms, which have a total net power of 32 MW. Heat recovery equipment on these farms would correspondingly have an interest free repayment period of 8 years and when the lifetimes are 10 and 20 years accordingly, there would be about 6 per cent interest on the investment. These calculations concerning the profitability are based merely on the price of gained heat energy, in addition the other advantages of the composted manure: easier handling, absence of odour together with lesser nuisances to waterways and suitability to natural agriculture.

There are 41 000 farms smaller than those mentioned previously, having compost heat power of 4-10 kW each and 110 MW net power in total. We should begin to develop compost bins and equipments suitable for these farms. Some of these farms would have solid manure composters, because about two thirds of the about 110 000 livestock farms in Finland have solid manure system.

The development of composters was started with the increase of environmental protection and natural agriculture. Recovery of compost heat might make composting into a profitable alternative. Therefore we should study the technical arrangements, the construction of bins and the profitability of small, 3-10 m³ composters.

KÄYTETYT MERKINNÄT JA LYHENTEET

KHK = COD = kompostoitavan aineen kemiallinen hapenkulutus

VS = orgaanisen aineen määrä

BVS = helposti hapetettavissa olevan orgaanisen aineen määrä

ka = TS = kuiva-aine

C = hiilipitoisuus

N = typpipitoisuus

P = fosforipitoisuus

pH = happamuus

n = näytteiden lukumäärä

1. KOMPOSTOINTIPROSESSI

1.1 Määritelmä

Kompostoinnilla tarkoitetaan orgaanisten aineiden biologista hajoittamista mikrobien avulla. Aerobisessa kompostoinnissa hajoittajina toimivat aineenvaihdunnassaan happea käyttävät bakteerit ja sienet. Kompostissa syntyy orgaanisista aineista uusia mikrobisoluja, hiilidioksidia, vettä ja lämpöä. Lisäksi typpiyhdisteet hapettuvat nitriitiksi ja nitraatiksi sekä rikkiyhdisteet sulfaatiksi. Kompostin lämpötila kohoaa ympäristön lämpötilaa korkeammaksi. Esimerkiksi glukoosin hajotessa sen energiasisällöstä lämpönä vapautuu noin 41 % lopun varastoituaessa soluihin. Anaerobinen hajoaminen tapahtuu hapettomissa olosuhteissa. Sellaista on esimerkiksi käyminen ja mädäntyminen. Glukoosin hajotessa anaerobisesti biokaasureaktorissa sen energiasta vapautuu lämpönä noin 3 %, soluihin varastoituu 8 % ja loput 89 % varastoituu metaanikaasuun.

1.2 Kompostoitavassa vapautuva lämpö

Jos kompostoitavan aineen kemiallinen kokoomus tunnetaan, reaktiolämpö eli polttoarvo, Q, voidaan laskea esimerkiksi yhtälöstä (1):

$$Q = 35,5 m_C + 106 (m_H - m_O/8) + 1.67 \text{ MJ/kg}, \quad (1)$$

missä m_C , m_H ja m_O ovat aineen sisältämien hiilen, vedyn ja hapen massat, kg /Ha 80/. Jos tunnetaan kompostoitavan aineen kemiallinen hapen kulutus, KHK, syntyvä lämpö voidaan laskea likimääräisesti yhtälöstä (2) /Ha 80/:

$$Q = 14,2 \pm 0,8 \text{ MJ/kgKHK} \quad (2)$$

Tavallisimmat aineet tarvitsevat täysin hapettuakseen 0,4...4 grammaa happea yhtä orgaanisen aineen grammaa kohden, keskimääräinen hapenkulutus on 1,4...1,5 g, mitä vastaava ilmamäärä on 6,1...6,5 g/gVS.

Taulukko 1. Lannan energiasisältö
Table 1. Energy content of manure

| Lanta Manure | Energiasisältö MJ/kgka Energy content MJ/kgTS | | | | Lähde Reference |
|--|--|-----------------------------|------------------------|--|--------------------|
| | Keskim. kuiva- aine Mean TS % | Polttovarvo Gross energy | Keski- arvo Mean | Komposti- lämpö Metabo- sable | |
| Sian lietelanta Pig slurry | 10 | | 19,3 | 9..12 | Ev 82 |
| Kuivattu kanan lanta Dried poultry manure | 85 | 9,2..14,7 | 12,8 | 2..8,6 | Ma 83 |
| Broilerin lanta Broiler litter | 81 | 13,6..16,2 | 15,3 | 4,6..9,1 | " |
| Lehmän lanta Dairy cow manure | 15,5 | 10,5..20,7 | 15,4 | 5,1..10,4 | ",Gr 74 |
| Lihakarjan lanta Beefcattle manure | 21,1 | 12,2..20,4 | 16,6 | 3,4..5,7 | ",Ha 80 |

Kuiva-ainekiloa kohden laskettu polttoarvo ja siitä kompostoinnissa vapautuva osa on esitetty taulukossa 1.

Orgaaninen aine ei hajoa kompostoinnin aikana kokonaan, vaan komposti jäähtyy ja lopullinen hajoaminen tapahtuu hyvin hitaasti. Kompostoinnin tai mädäntymisen aikana on havaittu hajoavan kanan lannasta 68 %, lihasonnien lannasta 28 %, sian lietelannasta 45...64 % ja orgaanisista aineista yleensä 0...90 % /Ha 80, Mä 83, Tj 82/. Kompostilämmön määrä vaihtelee myös tyyppiyhdisteiden eriasteisen hajoamisen johdosta. Nitrifikaatiota tapahtuu, kun lietelantaan liuenneen hapen kyllästysaste on yli 10 %, lämpötila on välillä 15...40 °C ja kompostointiaika on yli 3 vuorokautta. Nitrifikaatioaste ja kompostointilämmön määrä eri lämpötiloissa sian lannalle on esitetty taulukossa 2 /Ev 82/. Eri eläinten tuottaman lannan ja kompostointilämmön määrä on esitetty taulukossa 3. Kun lämmön ja eläinten määrät kerrotaan keskenään, saadaan Suomen nauta-, sika- ja kanakanan yhteiseksi kompostilämpötehoksi 378 MW, taulukot 4, 5 ja 6 /Maa 83, 85/. Nautakarjan osalta nautayksikön muodostaa joko 1 lehmä, 2 lihaeläintä tai 4 vasikkaa.

Taulukko 2. Nitrifikaatioaste ja -lämpö sekä 500 vuorokauden kuluessa sian lannasta vapautuva kokonaislämpö.

Table 2. Proportion of slurry nitrogen oxidised, heat released by nitrification and total metabolic heat released in 500 days from pig slurry /Ev 82/.

| Lämpötila Temperature | °C | 15 | 25 | 40 | 45 | 50 |
|--|--------------------|-----|-----|-----|-----|----|
| Nitrifikaatioaste Degree of nitrification | % | 40 | 70 | 35 | 15 | 0 |
| Nitrifikaatiolämpö Heat of nitrification | MJ/kgka MJ/kgTS | 0,6 | 1,0 | 0,5 | 0,2 | 0 |
| Kompostilämpö yhteensä Total metabolic heat | " | 12 | 9,8 | 9,4 | 9,1 | 11 |

Taulukko 3. Eläinten lietelannan ja kompostointilämmön tuotto

Table 3. Production of manure and its metabolic heat

| Eläin Animal | Lantaa Manure | | Kompostilämpö Compost heat | |
|-------------------------------|----------------------|----------------------|-------------------------------|---|
| | kg ka/vrk kg TS/d | kg VS/vrk kg VS/d | W/eläin W/animal | % polttoar- vosta Per cent of heat value |
| Lehmä Cow | 5,3 | 4,4 | 280 | 30 |
| Lihanauta Beef cattle | 2,7 | 2,2 | 160 | 30 |
| Lihasika Pig | 0,45 | 0,36 | 50 | 50 |
| Emakko Sow | 0,50 | 0,40 | 56 | 50 |
| Emakko+porsaatt Sow+litter | 1,5 | 1,2 | 170 | 50 |
| Kana Laying hen | 0,030 | 0,021 | 3,1 | 70 |
| Broileri Broiler | 0,018 | 0,012 | 1,6 | 50 |

Taulukko 4. Kompostilämmön saatavuus eri kokoisilta nautakarjajaloilta ja navetoiden jakautuminen suuruusluokkiin vuonna 1983. Nautayksikössä on mukana nuorikarja. Nautaeläimiä on yhteensä 1608300 päätä, joista lypsylehmiä 627700 vuonna 1985.
 Table 4. Herd size distribution in year 1983 and compost heat of cattle. A cattle unit consists of a cow + young animals. There are 627700 dairy cows of total 1608300 heads, in year 1985.

| Karjakoko Herd size Lehmiä | Nautayks. Cattle units | Tiloja Farms | Kompostilämpöteho Metabolic heat | |
|-------------------------------------|---------------------------|-----------------|-------------------------------------|-----------------------|
| | | | tilaa kohden, kW per farm | yhteensä, MW total |
| 1-6 | 1,75-10,5 | 31770 | 1,8 | 57 |
| 7-14 | 12-25 | 31020 | 4,8 | 147 |
| 15-19 | 26-33 | 6858 | 8,0 | 55 |
| 20- | 35- | 4085 | 12 | 49 |
| | | <u>73733</u> | | |
| Nautakarja yhteensä Cattle total | | | | 308 |

Taulukko 5. Kompostilämmön saatavuus eri kokoisilta sikajaloilta ja sikaloitten jakaantuminen eri suuruusluokkiin vuonna 1983. Sikoja on kaikkiaan 895 500 kpl, niistä lihasikoja 705 100 kpl.
 Table 5. Piggery size distribution in year 1983 and compost heat. There are 705 100 pigs under six months of total 895 500 pigs.

| Sikalan koko Piggery size Sikoja Pigs | Tiloja Farms | Kompostilämpö - metabolic heat | |
|--|-----------------|--------------------------------|-----------------------|
| | | tilaa kohden, kW per farm | yhteensä, MW total |
| 1-49 | 13145 | 1,4 | 17 |
| 50-99 | 2058 | 3,5 | 7 |
| 100-199 | 1636 | 5,8 | 9 |
| 200-399 | 1057 | 11,1 | 11 |
| 400- | 249 | 33 | 8 |
| | <u>18145</u> | | |
| Siat yhteensä Pigs total | | | 52 MW |

Taulukko 6. Kompostilämmön saatavuus eri kokoisista kana-
loista ja kanaloiden jakaantuminen suuruus-
luokkiin vuonna 1983. Munivia kanoja on
5 922 400 kpl vuonna 1985.

Table 6. Size distribution of laying hen farms in
year 1983 and compost heat. There are total
5 922 400 laying hens in year 1985.

| Kanoja Hens | Tiloja Farms | Kompostilämpö - Metabolic heat | |
|----------------|-----------------|--------------------------------|-----------------------|
| | | tilaa kohden, kW per farm | yhteensä, MW total |
| 1-299 | 16164 | 0,14 | 2,3 |
| 300-999 | 2936 | 1,7 | 5,0 |
| 1000-2999 | 1387 | 4,9 | 6,8 |
| 3000- | 283 | 15,2 | 4,3 |
| | <u>20770</u> | | |

Kanat yhteensä
Hens total

18 MW

1.3 Hajoamisnopeus ja siihen vaikuttavat tekijät

Orgaanisen aineen on monissa tapauksissa todettu
hajoavan likimain seuraavan yhtälön (3) mukaisesti
/Ha 80/:

$$d(BVS)/dt = -k_d(BVS), \text{ missä} \quad (3)$$

BVS = helposti hajoavan orgaanisen aineen määrä, kg

t = hajoamisaika, vrk

k_d = hajoamisnopeusvakio, 1/vrk

Tästä saadaan panoskompostissa hajoavalle ainemäärälle
yhtälö (4):

$$BVS_t = BVS_0 e^{-k_d t} \quad (4)$$

ja jatkuvatoimiselle kompostille yhtälö (5):

$$BVS_t = BVS_0 / (1 + k_d \theta) , \text{ missä} \quad (5)$$

BVS_t = kompostista ulostuleva helposti hajoavan aineen määrä

BVS_0 = kompostiin menevän helposti hajoavan aineen määrä

θ = viipymäaika jatkuvatoimisessa kompostissa = kompostin määrä jaettuna vuorokaudessa kompostiin tulevan aineen määrällä

Jatkuvatoimisen lehmlantakompostin ja kertatäyttöisen yhdyskuntajätekompostin hajoamisnopeusvakiot on esitetty taulukossa 7.

Taulukko 7. Hajoamisnopeusvakio k_d lehmän lannalle /Gr 74/ ja k_{dmax} yhdyskuntajäte + -lietekompostille /Ha 80/.

Table 7. Rate constant k_d of cattle manure /Gr 74/ and k_{dmax} for carbage + sludge mixture /Ha 80/.

| Lämpötila Temperature | °C | 20 | 30 | 40 | 45 | 50 | 55 | 60 | 65 | 70 | 75 | 80 |
|--------------------------|--------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|------|------|-------|
| k_d | 1/vrk 1/d | 0,10 | 0,145 | 0,21 | 0,24 | 0,275 | 0,295 | 0,29 | - | - | - | - |
| k_{dmax} | " | 0,013 | 0,024 | 0,045 | 0,062 | 0,084 | 0,11 | 0,15 | 0,19 | 0,22 | 0,20 | 0,013 |

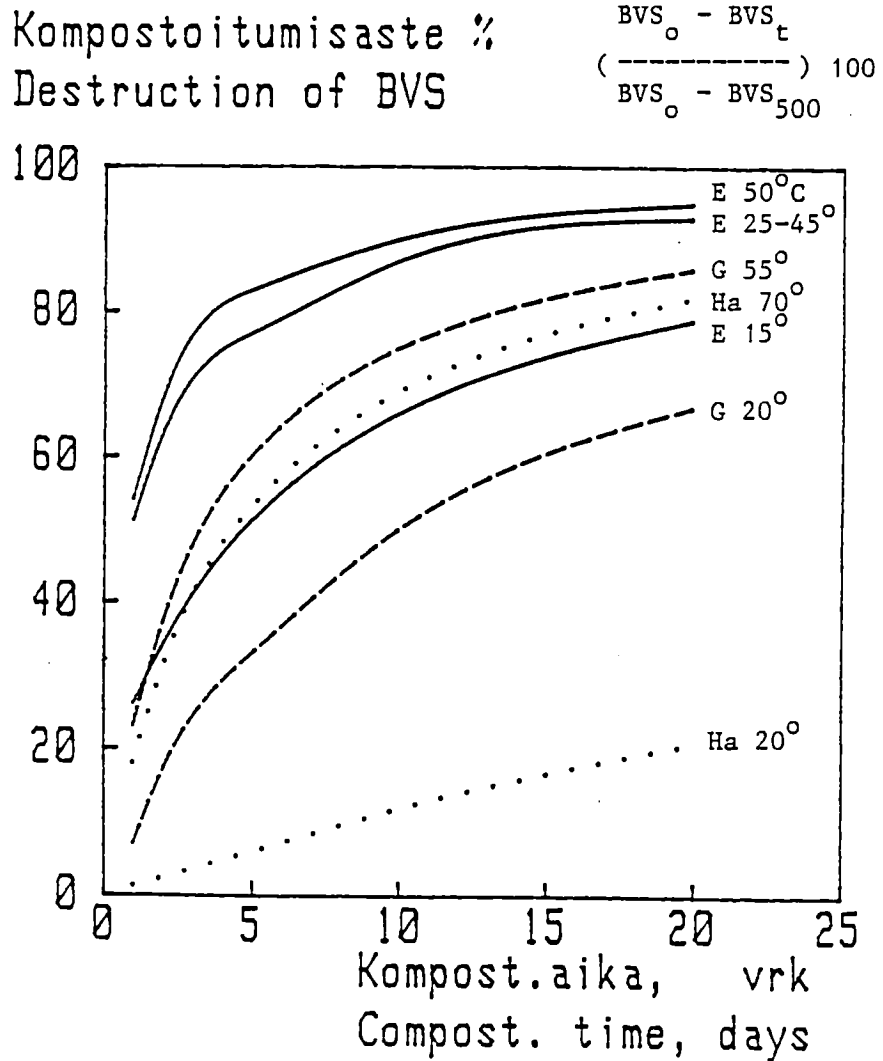
Piirroksessa 1 on esitetty vastaavat reaktionopeudet sekä sian lietelannalla mitatun hapen kulutuksen perusteella laskettu hajoamisnopeus. Piirroksen mukaan sian lanta on huomattavasti nopeammin hajoavaa kuin lehmlanta. Esimerkiksi 50 °C lämpötilassa lehmlannan helposti hajoavasta osuudesta on hajonnut 10 vuorokaudessa 75 % ja sian lannasta 90 %. Näitä hajoamisnopeuksia vastaavat kompostilämmön määrät on esitetty piirroksessa 2. Piirroksessa on myös eräässä käytännön kokeessa sian lannasta saatu lämpömäärä, /Gö 81/. Se oli 10,2 MJ/kgka, viipymän ollessa 8,3 vrk.

Kompostoitumiseen vaikuttavat tärkeimmät tekijät on esitetty taulukossa 8. Hajoaminen nopeutuu tietyllä lämpötila-alueella niin, että reaktion nopeus kaksinkertaistuu jokaista 10°C:n lämpötilan nousua kohden. Mikrobie-
entsyymit ja valkuaisaineet alkavat kuitenkin muuttua korkeassa lämpötilassa ja reaktio hidastuu jälleen. Optimalue vaihtelee kompostoitavan materiaalin laadusta ja kompostorityypistä riippuen välillä 40...70°C. Sian lietelannalle on esitetty optimilämpötilaksi 50°C, piirros 1, lehmän lannalle 50...55°C /Sch 83/ ja taulukko 7, kanan lannalle 60°C /Sch 83/ ja yhdyskuntajäte +-lietekompostille 70°C, taulukko 7.

Taulukko 8. Tärkeimmät kompostoitumiseen vaikuttavat tekijät.

Table 8. Main composting parameters

| Tekijä Parameter | | Alue Range | Optimialue Optimum | Huom. Remarks |
|--------------------------|---------------------------|---------------|-----------------------|---|
| Lämpötila Temperature | °C | 0...+20 | 15...20 | psykrofiiliset mikrobit psychrophilic microbes |
| | °C | 10...45 | 25...45 | mesofiiliset mikrobit mesophilic microbes |
| | °C | 42...90 | 50...70 | termofiiliset mikrobit thermophilic microbes |
| pH | | 5...10 | 6...9 | |
| C/N-suhde -proportion | | 10... | 20...35 | |
| C/P-suhde -proportion | | 20... | 75...150 | |
| Ilmavirta Air flow | m ³ / dkgTS | 0,3...2 | 0,5...0,9 | |
| Kosteus Humidity | % | 20...100 | 50...75 | |

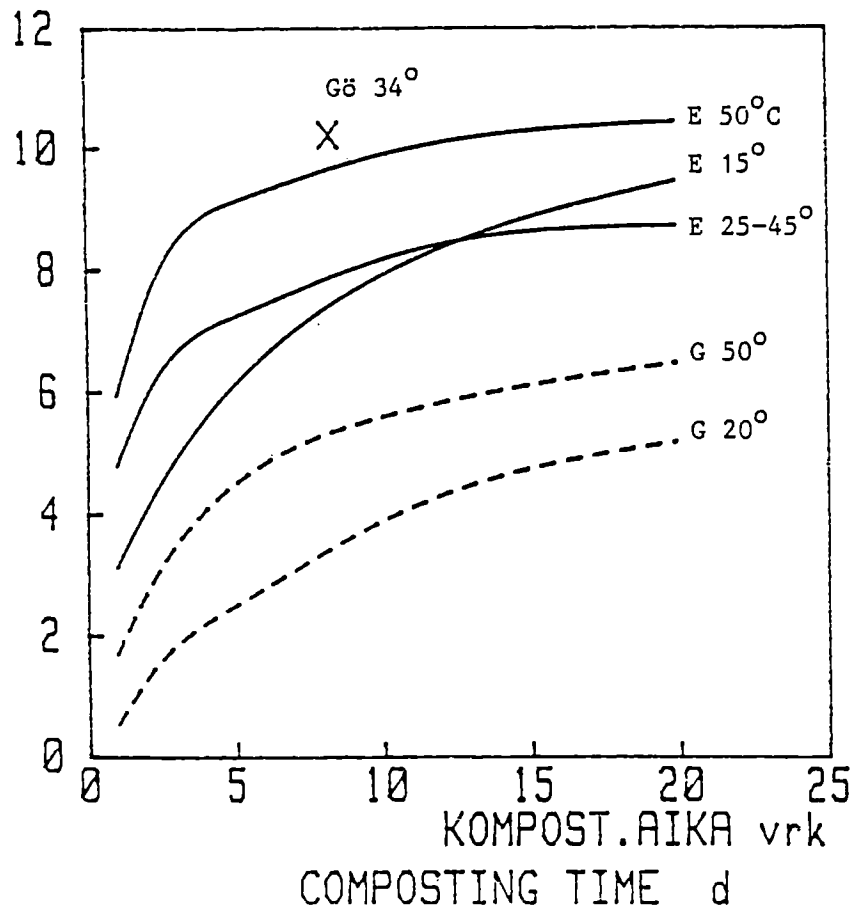


Piirros 1. Orgaanisen aineen helposti hajoavan osan hajoaminen eri lämpötiloissa jatkuvatoimisessa kompostissa

Figure 1. Reaction rate of biodegradable volatile solids in different composting temperatures in a continuous feed, complete-mix reactor

- E = /Ev 82/ Sian lanta - pig slurry
- G = /Gr 74/ Lehmän lanta - cattle manure
- Ha = /Ha 80/ Yhdyskuntajäte + -liete - garbage and sludge mixture

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



Piirros 2. Kompostilämmön kehitys jatkuvatoimisessa kompostissa.

Figure 2. Quantity of compost heat in continuous feed reactor.

F = /Ev 82/ sian lanta-pig slurry

G = /Gr 74/ lehmän lanta-cattle manure

2. KOMPOSTOINTILAITTEET

2.1 Ilmastimet

Aerobinen käsittely eli ilmastus

Lietelannan aerobisen käsittelyn tarkoituksen ja lannan lämpötilan nousun perusteella käsittely voidaan jakaa kolmeen tyyppiin

- kylmä käsittely
- lämmin käsittely
- lietelannan kompostointi

Kylmä käsittely

Lietelannan lämpötila pysyy ennallaan. Ilmastus on ajoittaista tai ilman happi ei tehokkaasti liukene lantaan. Käsittelyn tarkoituksena on vähentää lannan hajua varastoinnin, kuljetuksen ja levityksen aikana.

Lämmin käsittely

Ilmastus on niin tehokasta, että aerobiset bakteerit voivat lisääntyä ja hajottaa orgaanista ainesta, jolloin kehittyy lämpöä. Päättarkoitus on edelleen hajujen ja haitallisten kaasujen vähentäminen. Myös lannan hygienia paranee, jos lämpötila on useita päiviä 30-40 °C välillä. Typen häviöt lisääntyvät 35 °C yläpuolella.

Kompostointi

Varsinainen kompostointi tapahtuu hyvin eristetyssä säiliössä. Lannan hygienia paranee huomattavasti ja kompostilämmön talteenotto voi olla taloudellisesti järkevää.

Lietelannan kompostointi

Koska kompostoinnissa vaikuttavat mikro-organismit käyttävät lantaan liuenneen hapen elintoiminnoissaan, sitä täytyy tuoda lantaan jatkuvasti ulkoapäin. Kompostointi suljetussa säiliössä tapahtuu ilmastamalla lantaa koneellisesti.

Ilmastuksen tavoitteena on kuljettaa ilman sisältämä happi mikro-organismien käyttöön mahdollisimman tehokkaasti. Hapen kulku voidaan esittää erillisinä vaiheina:

- liukeneminen ilmasta veteen
- diffuusio vedessä kiintoaine- ja mikro-organismissiryhmiin
- kulkeutuminen yksittäisten solujen pintaosiin
- reaktiot hapettuvien aineiden kanssa solussa

Hapen täytyy siis ensin liueta veteen, mikä tapahtuu joko molekyylidiffuusiona laminaariolosuhteissa tai pyörrediffuusiona turbulentin sekoituksen vaikutuksesta. Hapen liukenemiseen vaikuttaa paitsi aineensiirtopinta (= ilmakuplien koko), myös kontaktiaika (= kuplien nousuaika), hapen osapaine kuplan sisällä (= ilman happipitoisuus) ja aineensiirtopinnan uusiutuminen (= sekoitus). Optimitulokseen pyrittäessä on otettava huomioon kuplien kehittämiseen kuluva energia. Mitään selvää alarajaa kuplien halkaisijalle ei voida yleisesti ilmoittaa. Tiedetään, että esimerkiksi vedessä kuplan halkaisijan alaraja energian kulutuksen kannalta on 0,2 mm. Kuplakoon edelleen pienentäminen aineensiirtopinnan kasvattamiseksi ei tämän jälkeen ole enää energiataloudellisesti kannattavaa. Toisaalta mitä pienempiä kuplat ovat, sitä hitaammin ne nousevat pintaan ja kontaktiaika pitenee. Koska hapen liukeneminen kuplasta veteen on verrannollinen hapen konsentraatioon kuplan sisällä, ei

ole järkevää tuottaa niin pieniä kuplia, että niiden sisältämä happi liukenee veteen ennen kuin kuplat ovat nousseet pintaan. Tanskalaisten /Be 82/ tekemien laskelmien mukaan poistuvan ilmakuplan happipitoisuuden alarajana on 15%. Tämä merkitsee sitä, että olisi järkevää pyrkiä käyttämään vain 30% lantaan syötetyn ilman hapesta. Poistuvan ilman mukana häviävä lämpö on otettava huomioon laskelmissa. Mikäli poistuvasta ilmasta otetaan tehokkaasti lämpöä talteen, voidaan tyytyä matalaan hapen hyväksikäyttöasteeseen. Ilmastimen niin sanottu liukenemisprosentti tarkoittaa veteen liunneen hapen osuutta prosentteina syötetystä happimäärästä. Liukenemisprosentti on käytännössä sama kuin prosessin hapen hyväksikäyttöaste ja kuvaa ilmastimen tehokkuutta. Toinen tunnusluku on ilmastimen OC-arvo, joka ilmoittaa kuinka monta kiloa happea ilmastin kykenee liuottamaan veteen kulutettua kWh kohden. OC-arvo ilmoitetaan yleensä puhtaalle vedelle. Tällöin kahden eri ilmastimen OC-arvoja ei voida verrata esimerkiksi liete-
lannan ilmastuksessa.

2.1.1 Ilmastintyytit

Ilmastimet voidaan jaotella toimintaperiaatteen mukaan kolmeen ryhmään:

- paineilmailmastimet (compressor aerators)
- mekaaniset ilmastimet (mechanical aerators)
- yhdistelmäilmastimet (kombination aerators)

Paineilmailmastinlaitteisto koostuu paineilmalaitteista ja itse ilmastimista, jotka ovat tavallisesti ilmastusaltaan tai -säiliön pohjalla. Niissä ei ole yleensä liikkuvia osia. Ilma jaetaan reiitettyjen putkien, huokoisten levyjen tai suuttimien avulla ilmastettavaan lietteeseen.

Paineilmailmastimet jaetaan edelleen

- hienokuplailmastimiin, kuplakoko $\phi = 1...5$ mm
- keskikuplailmastimiin, kuplakoko $\phi = 5...10$ mm
- karkeakuplailmastimiin, kuplakoko $\phi > 10$ mm

Mekaaniset ilmastimet ovat joko lietteen pinnassa: pintailmastimet, tai syvällä lietteessä: pohja- tai väliilmastimet.

Mekaaniset pintailmastimet rikkovat lietteen pintaa, johon happi liukenee (= suora hapetus). Ne voivat myös imeä alipaineella ilmaa ja sekoittaa sitä ilmastettavaan lietteeseen. Ilmastin liikuttaa myös lietettä, jonka kulkua ohjataan alaspäin. Tällöin ilmakuplat kulkeutuvat lietteen mukana pitempään ja hapella on enemmän aikaa liueta veteen ennen kuplien nousua pintaan ja vapautumista. Mekaaniset pohja- tai väliilmastimet toimivat vain imuperiaatteella. Yhdistelmäilmastimet ovat mekaanisia ilmastimia, joissa ilma syötetään puhaltimella tai kompressorilla.

2.1.2 Paineilmailmastimet

Paineilman kehitys

Paineilma kehitetään erityyppisillä kompressoreilla tai korkeapainepuhaltimilla esimerkiksi:

- mäntäkompressorit
- kiertömäntäkompressorit
- ruuvikompressorit
- lamelli- ja nesterengaskompressorit
- aksiaali- ja radiaalikompressorit

Lietelannan ilmastuksessa soveltuvat käytettäviksi matalapaineiset kompressorit, sillä ilmastuksessa kompressorin vastapaine on harvoin yli 0,5 bar säiliöiden mataluuden takia. Ilmastimien asennussyvyydestä ja niiden omasta vastapaineesta riippuen kokonaisvastapaine on yleensä välillä 0,15...0,5 bar.

Matalapaineisella laitteistolla on muun muassa seuraavia hyviä ominaisuuksia

- lietteeseen saadaan paljon ilmaa yhdellä kWh:lla
- kestävä ja vähän huoltoa vaativa
- paineilma on usein öljytöntä: ei tarvita öljynerotuslaitteistoa

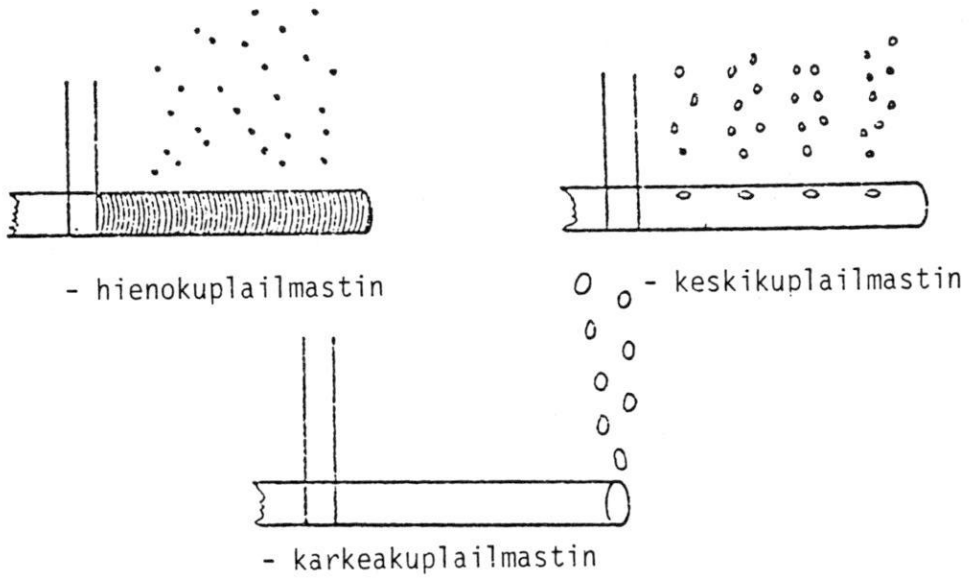
Korkeapainekompressorien etuna voitaisiin pitää joustavuutta lyhyissä sähkökatkoksissa ja mahdollisuutta käyttää paineilmaa muihin tarkoituksiin. Pääoma- ja energiakustannussyistä ilmastuksessa ei kuitenkaan kannata käyttää laitteistoa, jolla pystytään tuottamaan huomattavasti tarvittavaa painetta korkeampipaineisempaa ilmaa. Kaikki ilmastimet eivät kestä korkeampaa painetta kuin ilmastuksessa normaalisti käytetään, joten paineilman käyttö esimerkiksi aika ajojen tehokkaaseen sekoitukseen ei aina ole suoraan mahdollista.

Ilmastimet

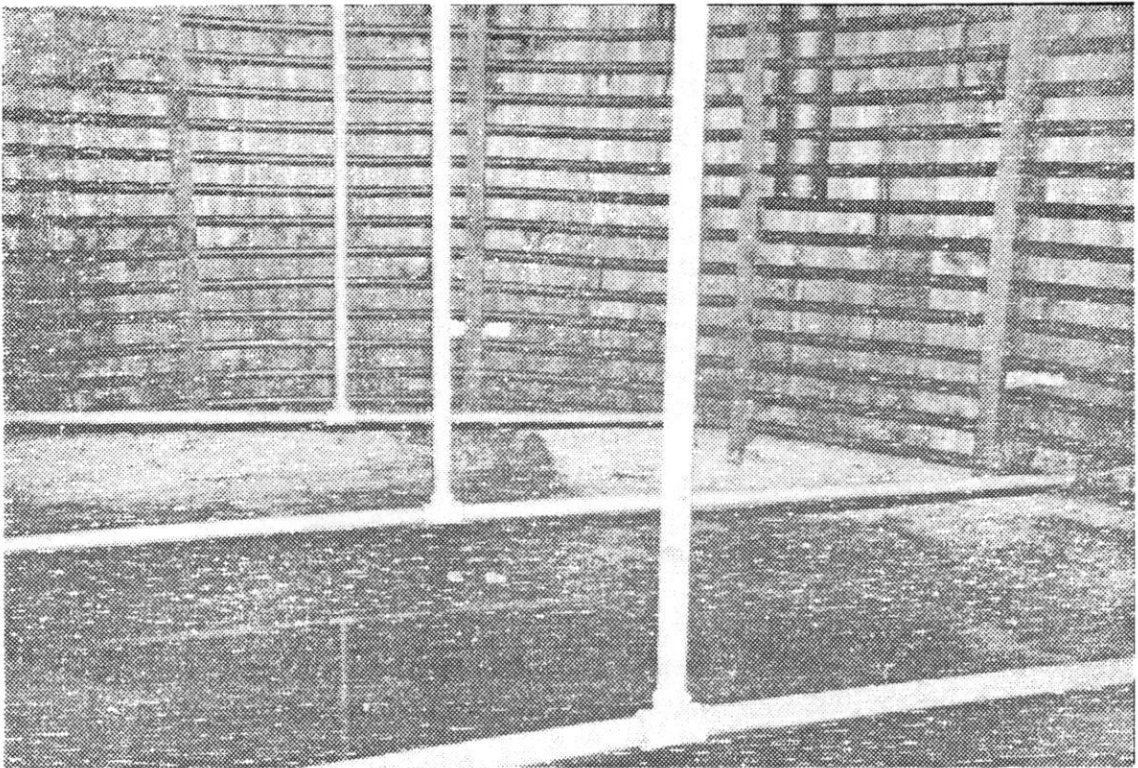
Paineilmailmastimet ovat enemmän tai vähemmän herkkiä tukkeutumiselle. Ilmastin voi tukkeentua joko sisältä tai ulkoa päin. Erityisen hankalia ovat lyhyehköt tiheään toistuvat sähkökatkot, joiden aikana ilmastimiin pääsee kiintoainetta. Ilma on suodatettava ennen kompressorია.

Ilmastuksessa lietelanta vaahtoa. Siksi tarvitaan menetelmä vaahton hävittämiseksi, jota paineilmailmastimissa itsessään ei ole.

Kuvissa 1...5 on esitetty erilaisia paineilmailmasti-
mia.

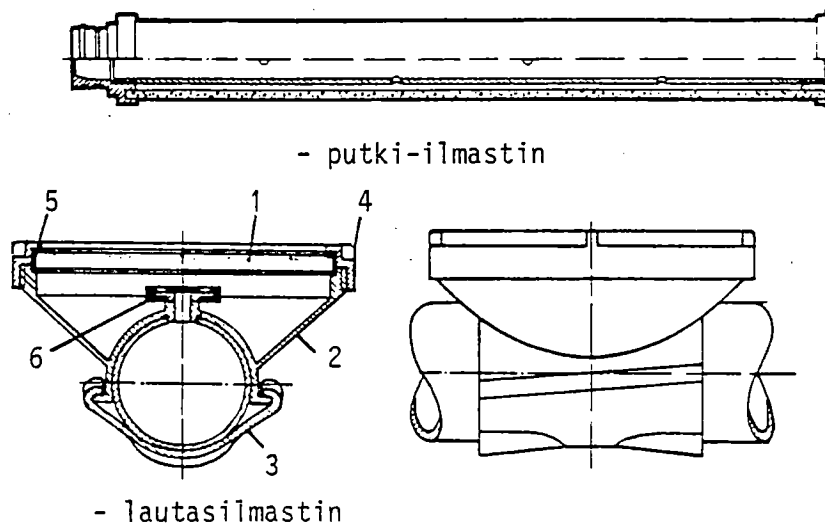


Kuva 1. Paineilmailmastimia



Kuva 2. Putki-ilmastinlaitteisto, Vihti

Maatalousteknologian tutkimuslaitoksella Vihdissä kokeiltiin lietelannan ilmastuksessa vuonna 1982 putkiilmastimia, joiden reikäkoko oli 3 mm, kuva 2. Tulokset olivat huonoja. Noin kolmen kuukauden kokeilun aikana lietemäärää ja ilmamäärää muuteltiin laajoissa rajoissa, mutta lämmönkehitys oli niin vähäistä, että sen mittaaminen tuotti vaikeuksia. Liete lämpeni nopeudella, joka suurin piirtein vastasi ilmastusilman lämmitysvaikutusta. Lämpötehoksi laskettiin tuolloin 1-4 kW. Ilmastus vähensi haitallisia kaasuja; rikkivetyä ei voitu todeta poistoilmassa enää toisena ilmastuspäivänä. Myös haju väheni ja muuttui toisenlaiseksi. Putkiilmastimilla, joiden tuottamien kuplien halkaisija on 5...10 mm, hapen hyväksikäyttöaste on niin matala, että kehittyvä lämpö kuluu poistoilman lämpöhäviöihin. Vastavia kokemuksia on norjalaisilla lietelantatutkijoilla /Tj, Gj 83/.

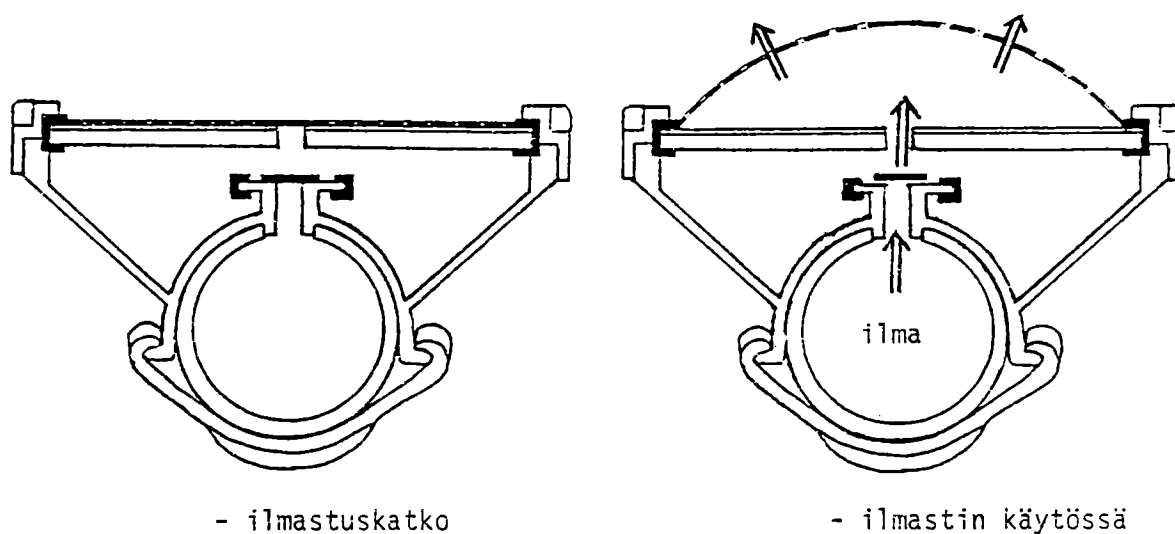


Kuva 3. Nokian lautasilmastin ja putki-ilmastin

Kuvan 3 Nokian lautasilmastimet ovat osoittautuneet hapetusteholtaan hyviksi. Varjopuolena on taipumus tukkeutumiseen. Huoltovälin on todettu käytännössä olevan vähintään puoli vuotta olosuhteissa, joissa

ilmastuskatkoja on normaalia enemmän. Lautasilmastin koostuu huokoisesta polyetyleenilevystä 1, PVC:stä tehdystä satulaosasta 2, kiilasta 3 ja kiristysrenkaasta 4 sekä kumitiivisterenkaasta 5 ja kumisesta takaiskuventtiilistä 6.

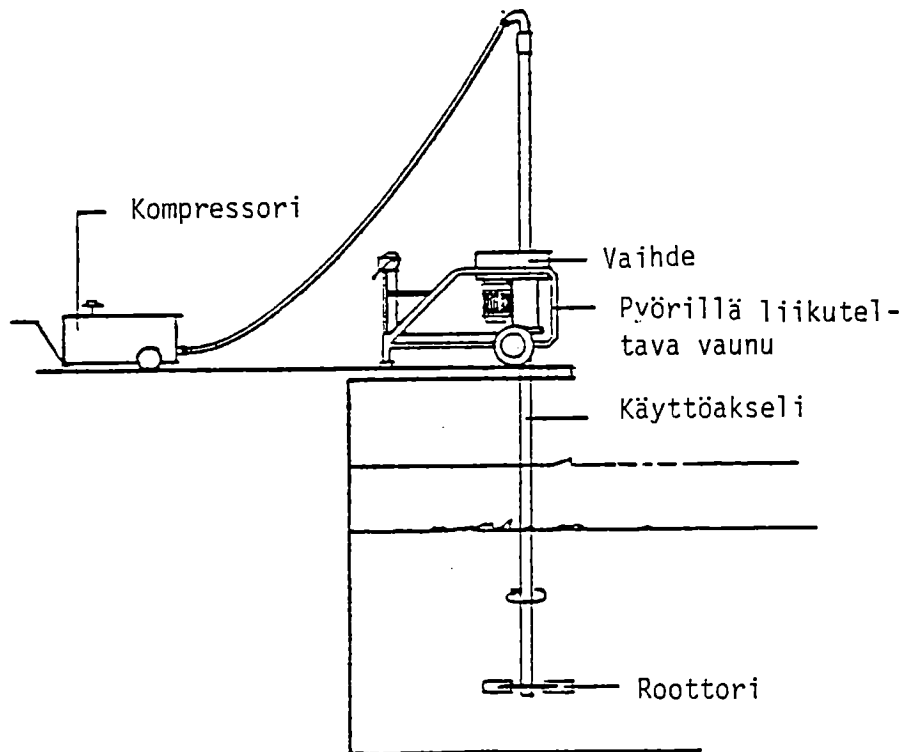
Kuvan 3 putki-ilmastin on valmistettu samasta huokoisesta polyetyleenimateriaalista kuin lautasilmastimet. Kokeilussa ne osoittautuivat helpommin tukkeutuviksi kuin lautasilmastimet. Jatkuvassa ilmastuksessa ilmastimien painehäviön nousu aiheutuu ilmastimien ulkopuolelle kiiuvasta kiintoainekerroksesta, jonka paksuus vaihtelee sentistä yli kymmeneen senttiin. Varsinaisesti tukkeutuminen tapahtuu sisäpuolelta.



Kuva 4. Kumi-ilmastimen toimintaperiaate

Kuvan 4 kumi-ilmastin valmistettiin maatalousteknologi-
an tutkimuslaitoksella kimmoisasta 1 mm vahvuisesta
kumilevystä. Kumilevyyn tehtiin neulalla 3000 reikää.
Tarkoituksena oli selvittää tämäntyyppisen ilmastimen

tukkeutumistaipumus lietelannassa. Kokeiltaessa puhtaassa vedessä ei silmin havaittu suurta eroa kuplakoossa verrattuna Nokian lautasilmastimiin. Lietelantakokeilua varten tehtiin Nokian ilmastimia vastaava elementti, joka asennettiin yhden Nokian ilmastuselementin tilalle lietelantasäiliöön. Kokeissa ilmeni, ettei kumi-ilmastimen pintaan tartu kiintoainetta. Kumi-ilmastimen kestoikä kompostointiolosuhteissa jäi kuitenkin vain noin kuukauden pituiseksi. Tämän jälkeen se repeytyi ja ilmastin tukkeentui sisäpuolelta.



Kuva 5. Hölz "Rührmobil"

Edellä olevat paineilmastimet ovat kiinteästi asennettavia tai niitä liikutellaan vain huollon yhteydessä. Siksi niiden sekoitusvaikutus riippuu vain paineilman määrästä ja paineesta. Sekoitusteho on sakeassa lietelannassa huono. Kuva 5 esittää laitteistoa, joka on tarkoitettu ensisijaisesti lannan sekoittamiseen, mutta sitä voidaan käyttää myös ilmastimena. Laitteisto soveltuu lannan ilmastamiseen ulkoaltaissa /Gj 82/.

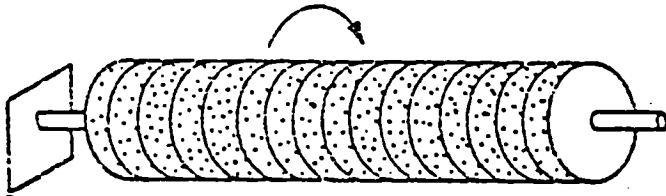
2.1.3 Mekaaniset ilmastimet

2.1.3.1 Pintailmastimet

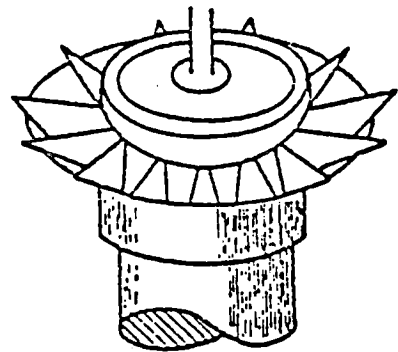
Varsinaiset pintailmastimet

Varsinaiset pintailmastimet voidaan rakenteensa puolesta jakaa kolmeen ryhmään:

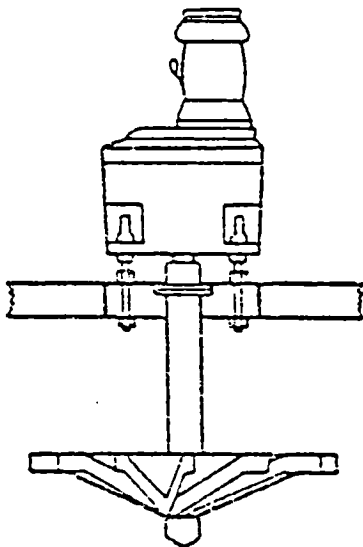
- kartioilmastimet
- suihkuilmastimet
- harjailmastimet



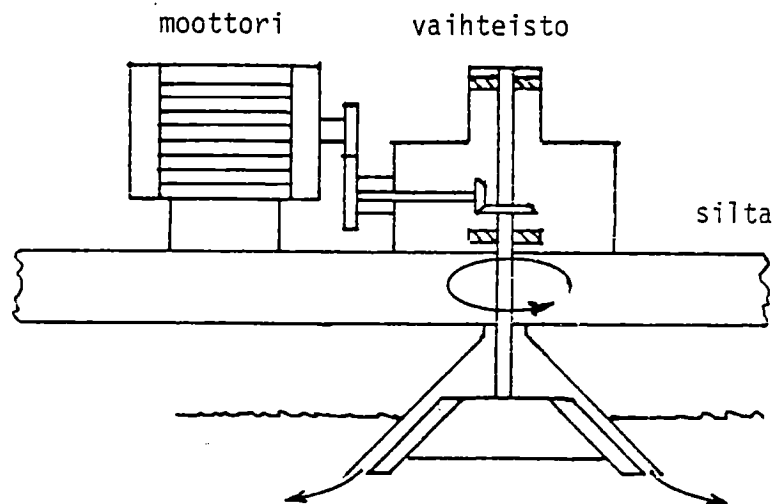
- harjailmastin (Kessener)



- kartioilmastin (Simcar)



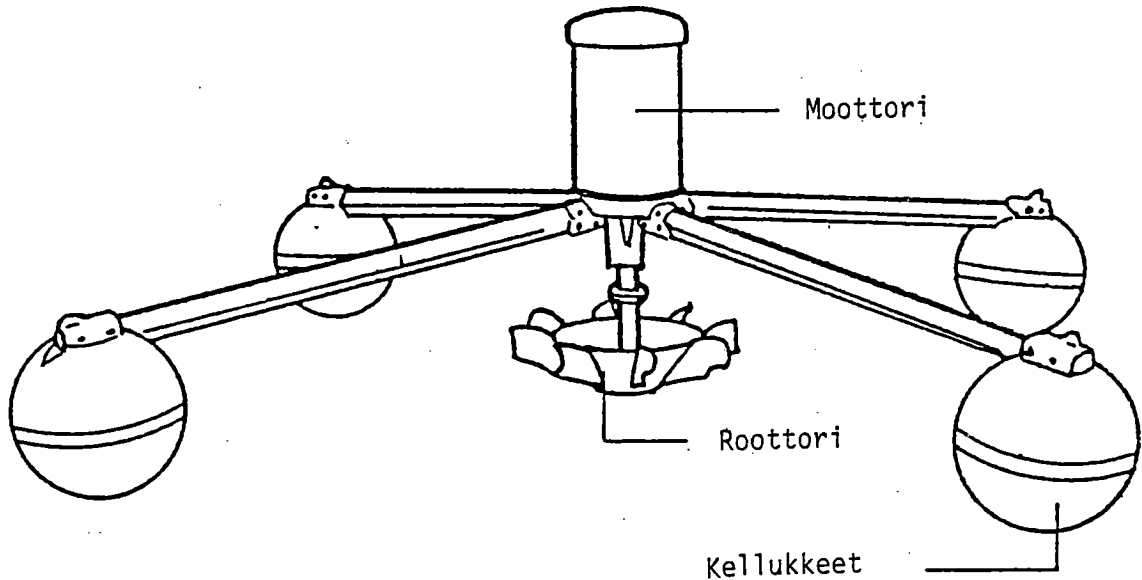
- kartioilmastin (Simplex)



- kartioilmastin (Koxy)

Kuva 6. Pintailmastimia

Koska varsinaisten pintailmastimien toiminta perustuu suoraan hapetukseen, ne soveltuvat käytettäviksi avoimissa säiliöissä. Kuva 7 esittää lietelannan ilmastukseen kehitettyä kartioilmastinta.

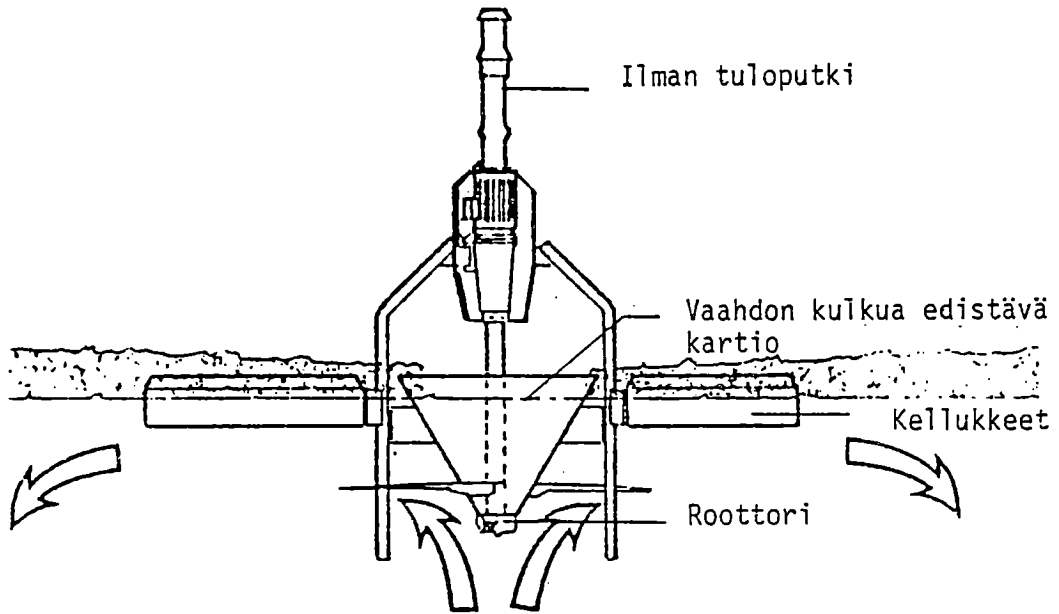


Roottorin pyörimisnopeus on 100 r/min ja halkaisija 80 cm /Gj 82/.

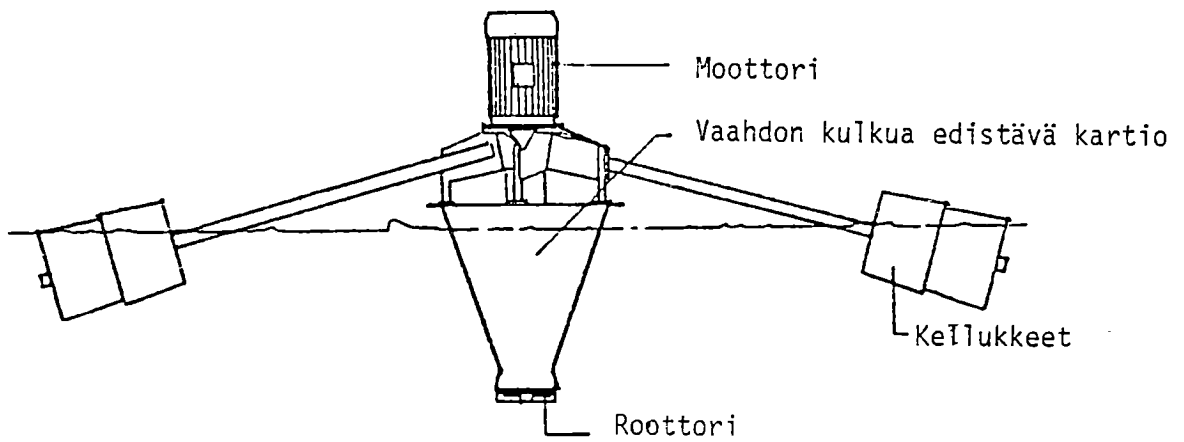
Itseimevät pintailmastimet

Roottori- ja potkurityyppiset

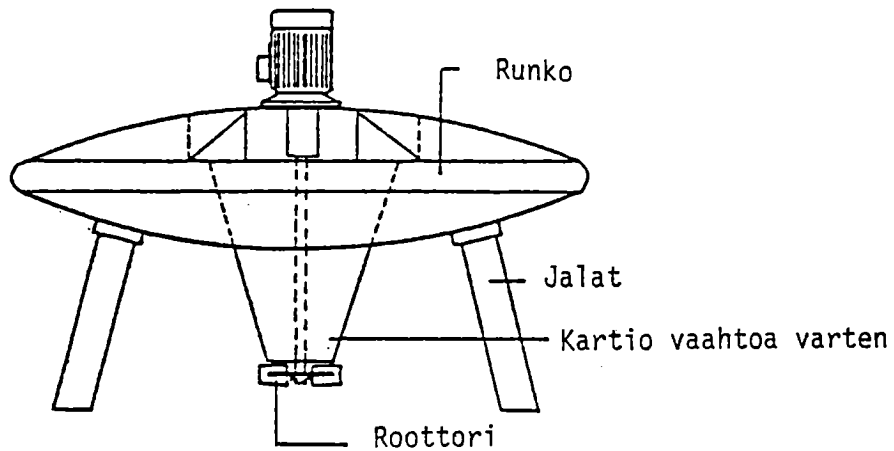
Kuvan 8 ilmastimessa ilma imetään potkurin akselin ympärillä olevaa putkea pitkin potkurille, jonka pyöriessä syntyy imuun tarvittava alipaine. Kuvan 9 tapauksessa potkurin vaippa on muotoiltu siten, että riittävä imu syntyy vaahdon ja ilman kulkeutumiselle potkurille. Molemmat ilmastimet on tarkoitettu lähinnä avoimiin säiliöihin ja ne hävittävät itse syntyvän vaahdon.



Kuva 8. Aldo 100 /Gj 82/

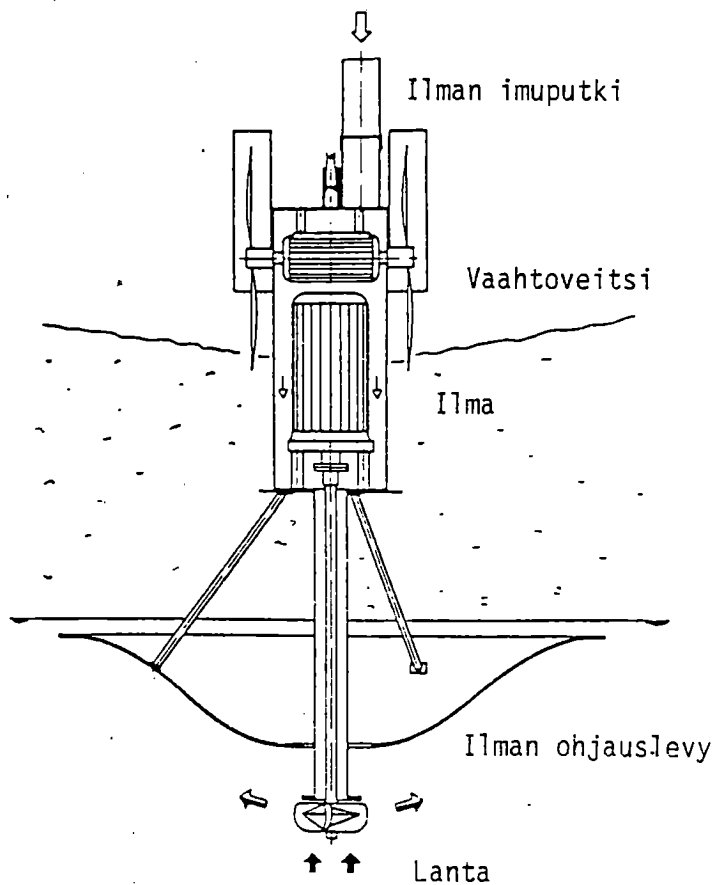


Kuva 9. Recox-A /Gj 82/



Kuva 10. Kemomatic /Gj 82/

Kuvan 10 ilmastin eroaa edellisistä ponttoonirakenteensa ansiosta. Ponttoonina toimii laitteen lasikuiturunko. Laitte vie vähemmän tilaa ja on helpommin liikuteltävissä. Se on tarkoitettu avonaisiin altaisiin, mutta sitä voidaan käyttää myös katetussa säiliössä.

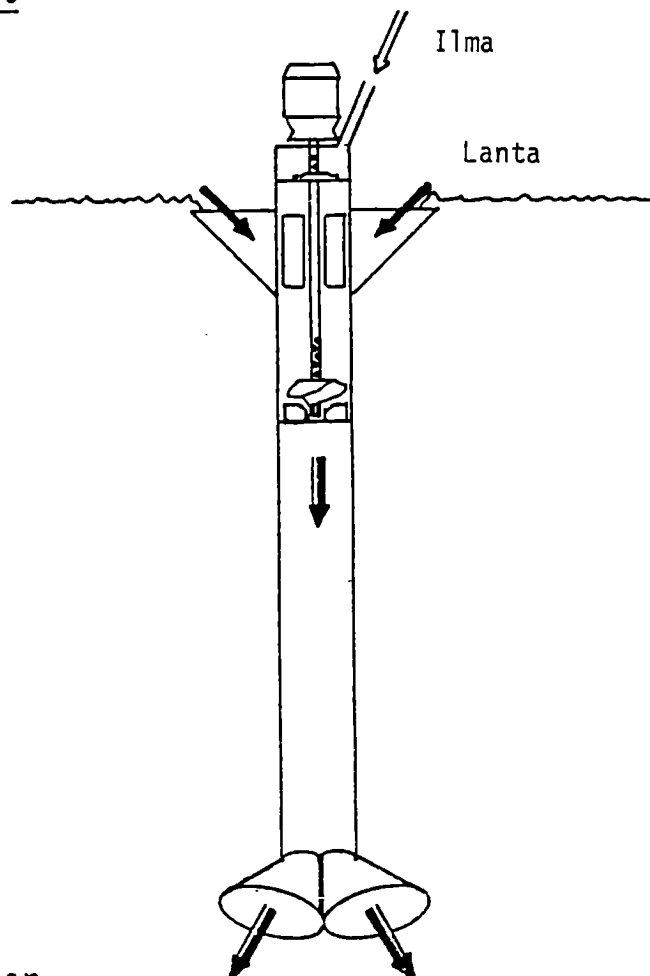


Kuva 11. Centrirator /Baa 78/

Kuvan 11 ilmastimessa nähdään itseimeville pintailmasti-
mille tyypillinen lisärakenne, ilmanohjuslevy, jolla ve-
teen dispergoituneet ilmakuplat ohjataan kulkemaan pin-
nan suuntaisesti. Vaahdonhävittimenä on vaahtoveitset,
jotka piiskaavat vaahdon hajalle.

2.1.3.2 Pohja- ja väli-ilmastimet

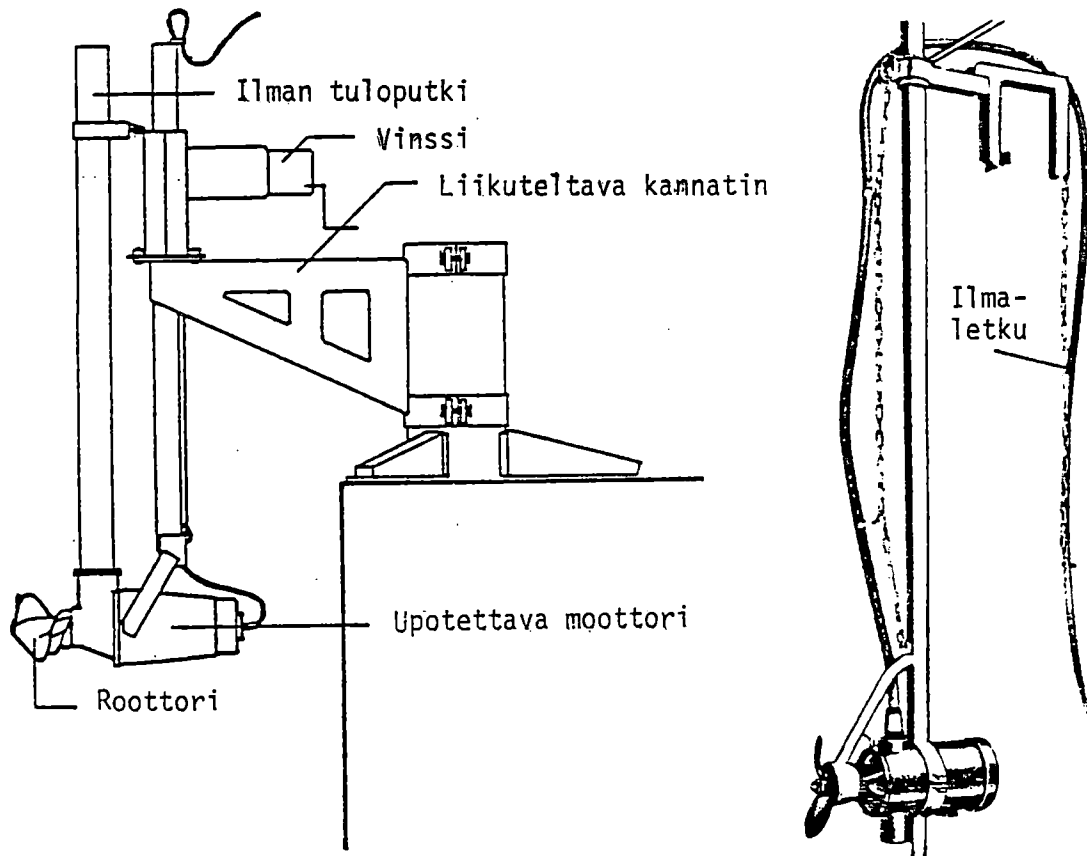
Potkurityypiset



Kuva 12. Hydixor

Kuvan 12 Hydixor-ilmastin on kotimainen itseimevä pot-
kurityyppinen väli-ilmastin, jota on kokeiltu lietelan-
nan ilmastuksessa mv. Raidan tilalla Pukkilassa. Ilmas-
tin on kooltaan verraten suuri. Sen hyviä puolia ovat
erinomainen sekoitusteho ja hyvä hapen hyväksikäyttöas-
te. Ilmastimen runkona on haponkestävästä teräksestä

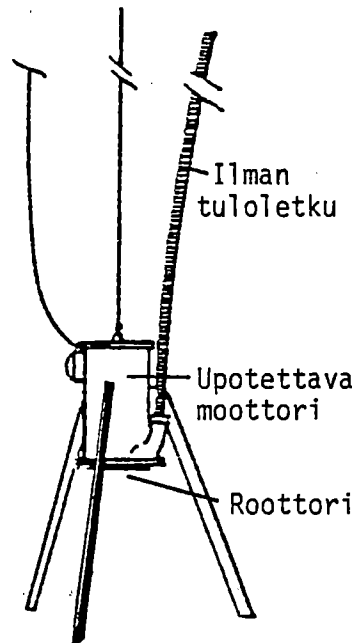
tehty \varnothing 300 mm putki, jonka yläpäässä on potkuri. Käytössään laite pumpkaa lietettä 4-5 m³/min pinnalta pohjalle, jolloin säiliöön syntyy täydellinen pystysuuntainen kierto. Potkurin akseli on ontto ja sen kautta potkuri imee 30 m³/h ilmaa, joka hajoaa pieniksi kupliksi potkurin yläpuolella ilman hajoitusosassa ja sekoittuu alaspäin pumpattavaan lietteeseen. Laitteessa ei ole vaahdonhävitintä. Laite vaatii suljetussa säiliössä kiinteän nestepinnan. Ilmamäärä on sähkötehoon nähden pieni lietelangan ilmastuksessa, joten teknisesti laite ei täysin tyydytä vaatimuksia.



Kuva 13. Aldo 150(300) ja PODB /Gj 82/

Kuvan 13 ilmastimet ovat samankaltaisia potkurityyppisiä itseimeviä pohjailmastimia, joissa moottori ja potkuri toimivat lantaan upotettuna. Potkuri kehittää pyöriessään alipaineen, jolla ilma imetään lietteeseen.

Laitteiden etäisyyttä pohjasta voidaan säätää samoin kuin sekoitussuuntaa. Aldo 150 ja 300 ovat moottorikooltaan pienempiä kuin PODB.



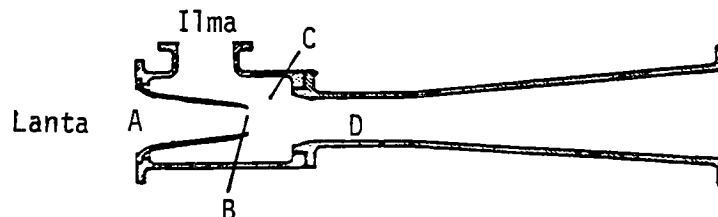
Kuva 14. Biojet 2200 /Gj 82/

Biojet 2200, kuva 14, on sijoitettu kokonaan altaan tai säiliön pohjalle jalkojen varaan. Siirtely paikasta toiseen tapahtuu vaijerin ja vinssin avulla. Itse ilmaston muodostaa pönttö, jonka sisällä on moottori ja pyörivä levy.

Toimintaperiaate on seuraava: Levyssä on leveitä uria, jotka levyn pyöriessä panevat lannan liikkeeseen levyn kehälle päin. Lannan virtaus levyn reunan ohi saa aikaan levyn yläpuolelle pienen alipaineen, jonka seurauksena ilma virtaa laitteeseen taipuisaa ilmaputkea pitkin. Syntyvä vaahto imetään samaa ilmaputkea pitkin takaisin ljetteeseen. Ilmaputki on 1" muoviletkeä. Ilmämäärä jää pieneksi vaahton takia.

Ejektorityyppiset

Ejektorien toimintaperiaate

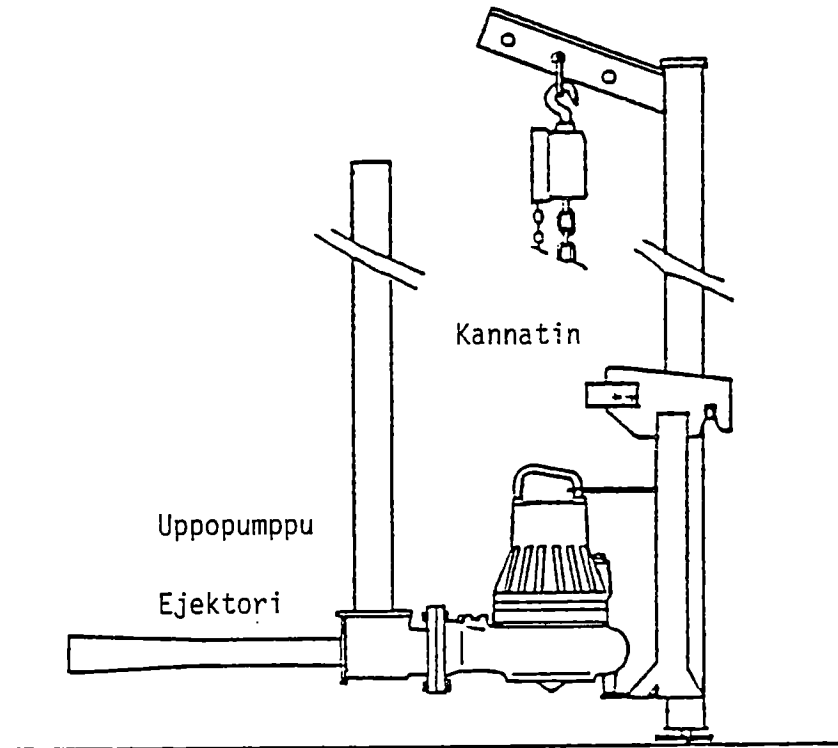


Kuva 15. Ejektorin periaatekuva

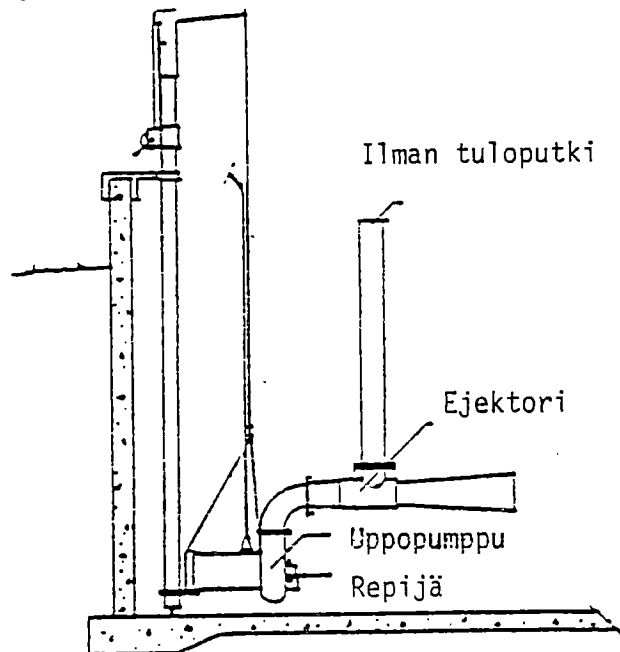
Kun liete pumpataan ejektoriin, kuva 15, sillä on kohdassa A tietty paine ja nopeus, jotka lietepumppu sille antaa. Tullessaan kohtaan B, jossa virtauspoikkipintaa on kuristettu, kasvaa lietteen nopeus. Virtausopin lakien mukaan lietteen liike- ja paine-energian summan täytyy säilyä, joten kuristettaessa virtausta tarpeeksi syntyy tilan C ja lietteen välille paine-ero. Tämän takia ja osin törmäysvaikutuksesta tilassa C olevat kaasuhiukkaset tempautuvat lietteen mukaan ja sekoittuvat siihen diffuusoriosassa D. Diffuusori laajenee loppupäästään, jossa lietteen liike-energia muutetaan jälleen paineeksi.

Yleisesti ottaen ejektori-ilmastajilla liukenemisprosentti on hyvä. Ilmamäärät ovat kuitenkin pieniä käytettyyn sähkötehoon nähden. Sekoitusteho on yleensä tyydyttävä ja vaahtoamisongelma on ratkaistu imemällä vaahto takaisin lietteeseen samaa tietä kuin ilma. Lisäksi lantapumppua voidaan käyttää myös säiliön tyhjennykseen, eräissä malleissa tarvitaan 3-tieventtiili tai ylimääräinen jakajaosa.

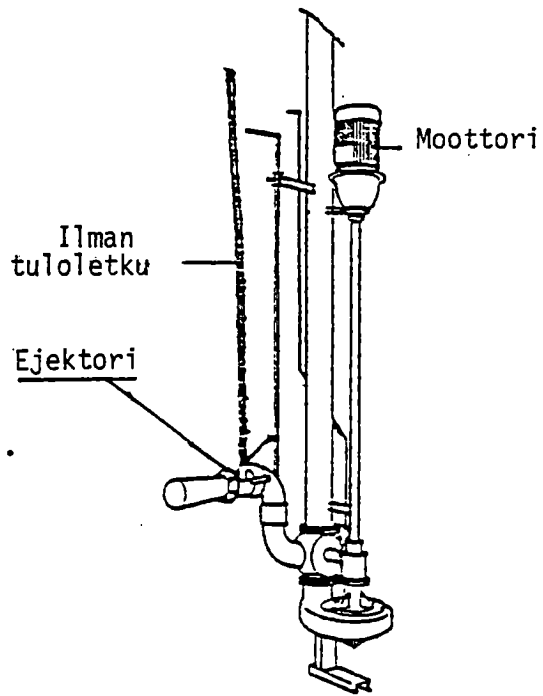
Kuvien 16, 17 ja 18 ilmastimien toimintaperiaate on sama. Ilmastimet koostuvat ejektorista ja lantapumpusta. Moottori on pinnan päällä tai lantaan upotettu.



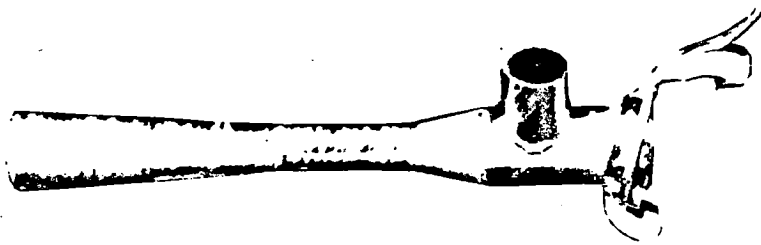
Kuva 16. Flygt /Gj 82/.



Kuva 17. Record /Gj 82/



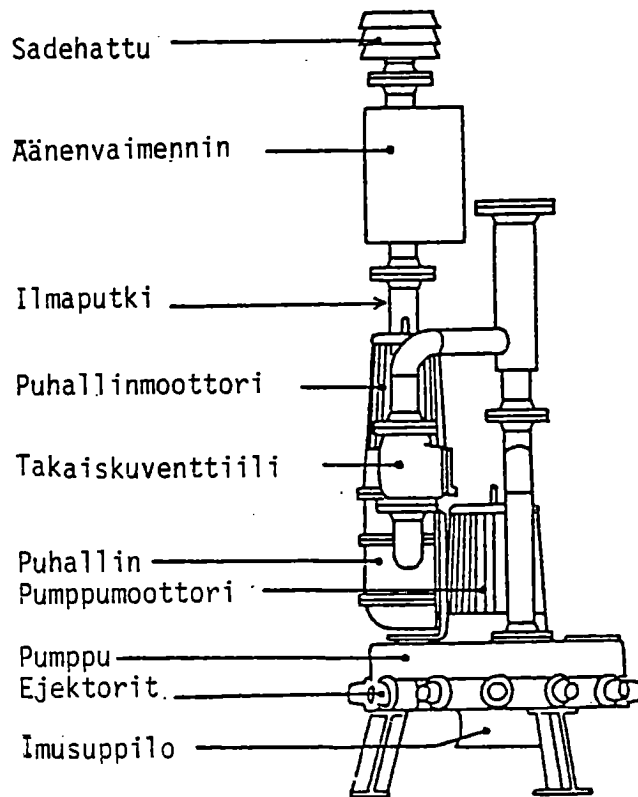
Kuva 18. S-PM 1505 /Gj 82/.



Kuva 19. Ejektori

Kuvan 19 ejektori tehtiin maatalousteknologian tutkimuslaitoksella. Se asennettiin 7,5 kW, myöhemmin 5,5 kW lietelantapumppuun. Ejektori-ilmastuksella päästiin toukokuun olosuhteissa helposti yli 55 °C lämpötiloihin. Koe-ejektorin ilmamäärä oli 20 m³/h jatkuvassa käytössä, joten sillä kehittyvä lämpöteho on korkeintaan 20 kW, josta osa kuluu häviöihin. Koska sähkötehontarve on noin 5 kW, ei sen käyttö ole kannattavaa. Ilmastuksen ollessa pienimmillään (ejektorin käyttöaikaa säätämällä säädetään ilmamäärää) voitiin laskea erittäin korkea hapen liukenemisprosentti; yli 60% ejektorin imemän ilman hapestasta liukeni lietteeseen. Liukenemisprosentti saatiin laskemalla kehittyneestä lämmöstä.

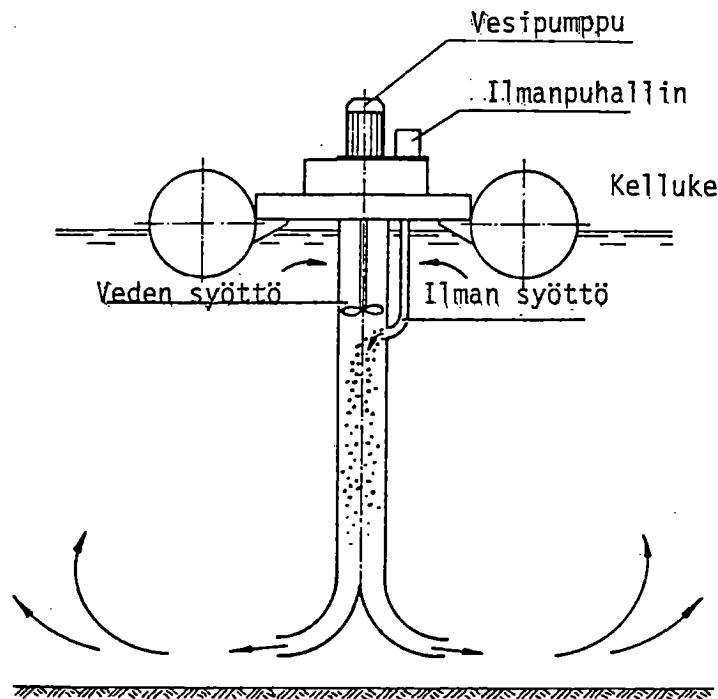
2.1.4 Yhdistelmäilmastimet



Kuva 20. ABS-uppoilmastin

Kuvan 20 ilmastin on esimerkki yhdistelmäilmastuksesta, jossa mekaaniseen ejektori-ilmastimeen syötetään ilmaa puhaltimella. Malli toimii myös ilman puhallinta itseimevänä. Sen soveltuvuudesta lannan ilmastukseen ei ole kokemuksia.

Kuvan 21 kotimainen ilmastin on Hydixorista, kuva 12, kehitetty yhdistelmäilmastin. Hydixorista se eroaa muun muassa siinä, että ilma syötetään puhaltimella potkurin painepuolelle. Laite ei toimi itseimevänä.



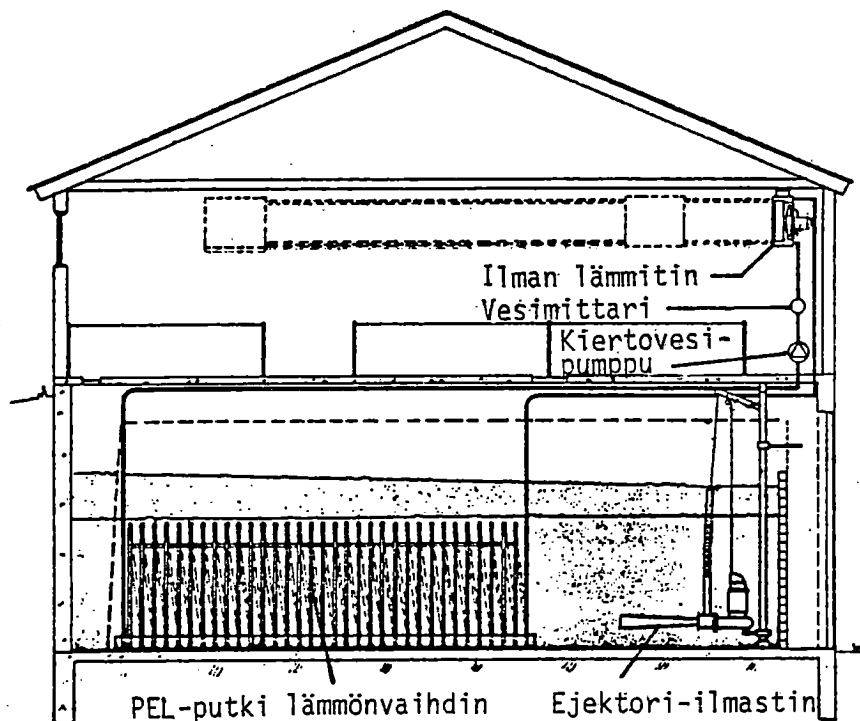
Kuva 21. Planox, periaatekuva

2.2 Kompostointisäiliöt

2.2.1 Olemassa olevien lietelantasäiliöiden käyttö

Periaatteessa lietelannan kompostointiin sopivat tiettyin varauksin jo olemassa olevat lietelantavarastot ja -säiliöt. Esimerkkinä mainittakoon tuotantorakennuksen alla oleva lietelantakellari, kuva 22, tai varsinainen ulkona oleva lietelanta-allas, kuva 23.

Kuvan 22 ratkaisua on kokeiltu Norjassa. Ilmastimen huollon tarve rajoittaa ilmastintyyppin valintaa tässä tapauksessa enemmän kuin erillisen säiliön ollessa kyseessä. Lisäksi varastokellarin suurehko koko yhdessä

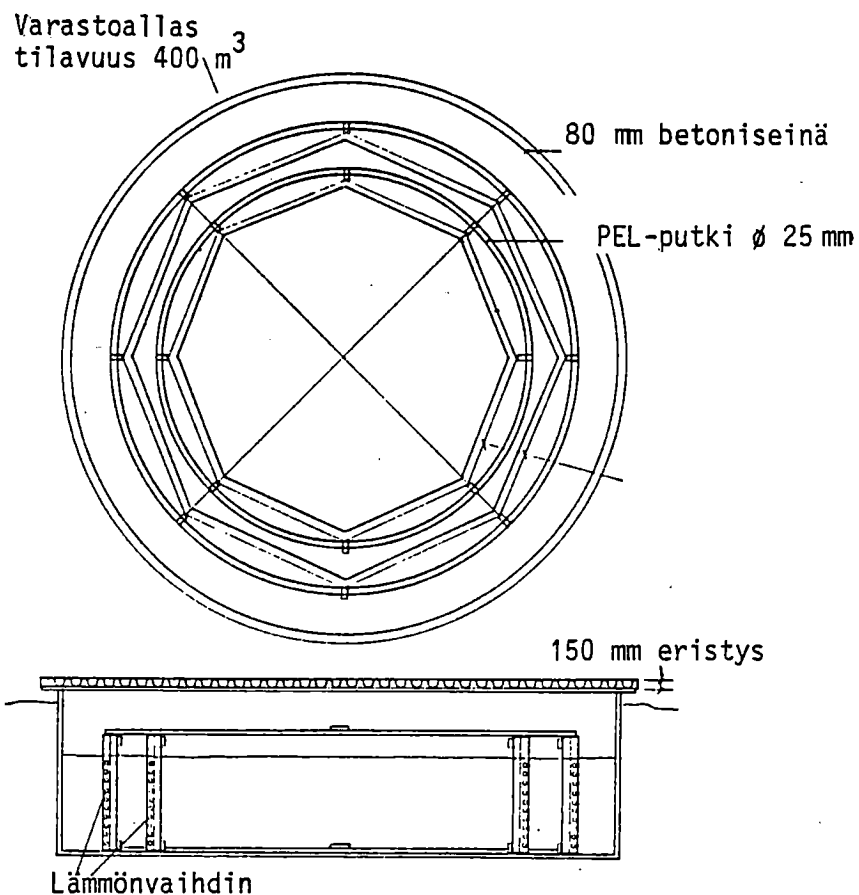


Kuva 22. Tuotantorakennuksen alle sijoitettu lämmönvaihdin ja ilmastin

sen neliskulmaisen muodon kanssa huonontavat ilmastusmahdollisuuksia. Lämmönhukka rakennuksen seinien ja pohjan lävitse on arvioitava. Toisaalta lämpö voidaan osaksi hyödyntää suoraan "lattialämmityksenä". Varastokellaria ei voida käyttää kompostisäiliönä, jos lattia on osaksi avoin. Vaikka lattia olisi tiivis, on poistoilmapuhallin tarpeen, etteivät haitalliset kaasut pääse eläintilaan.

Varastoaltaan käyttö kompostointilämmön hyödyntämiseksi edellyttää sitä, että säiliö voidaan eristää ja kattaa.

Varastoaltaaseen voidaan valita melkein mikä ilmastintahansa, joka tehonsa puolesta on riittävä. Lähinnä valintaa rajoittaa ilmastimien sekoitusteho, jolla pienissä oikein muotoilluissa säiliöissä ei ole niin ratkaisevaa merkitystä kuin isossa muodoltaan matalassa varastoaltaassa.



Kuva 23. Varastoaltaan käyttö kompostisäiliönä,
Dwärsett, Ruotsi

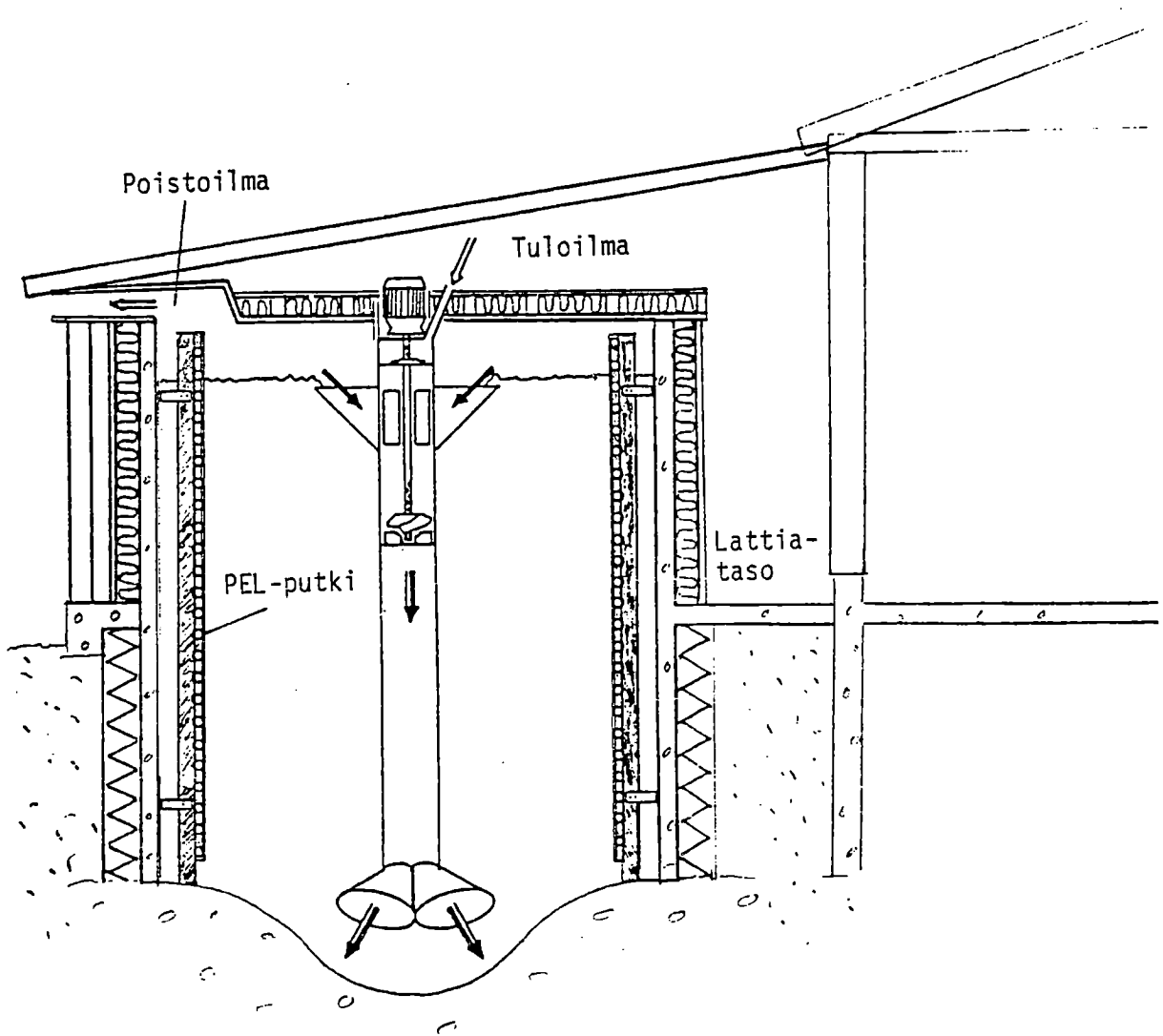
2.2.2 Kompostointisäiliön rakentaminen

Paikan valinta

Säiliön rakennuspaikkaa valittaessa tulee ottaa huomioon muun muassa:

- sijainti pumppuihin ja varastoaltaaseen nähden
- sijainti lämmön hyödyntämistä ajatellen
- maaperä

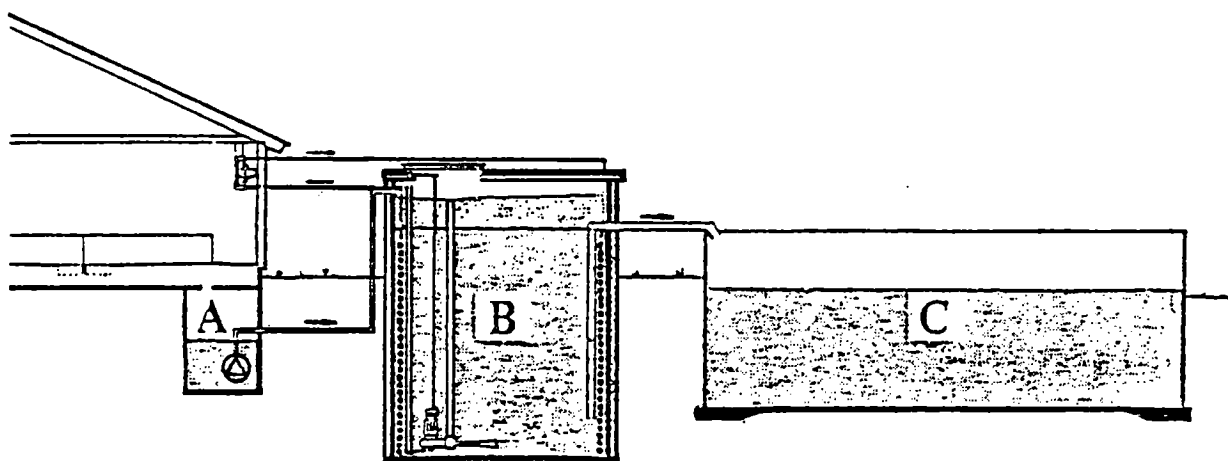
Kompostisäiliön paikka tulisi valita läheltä itse tuotantorakennusta ja varastoallasta täytön ja tyhjennyksen takia. Samalla kannattaa harkita säiliön sijoittamista rakennuksen sisälle eli mahdollisuutta rakentaa säiliön ympärille seinät ja katto kuten esimerkiksi Pukkilassa on tehty, kuva 24.



Kuva 24. Mv. Raidan kompostori sisätilassa

Kompostori olisi sijoitettava mahdollisimman lähelle lämmön käyttökohteita lämmönsiirtohäviöiden pienentämiseksi. Tällöin on tiedettävä mihin lämpö pääasiassa tullaan käyttämään. Paikkaa valittaessa ja kokonaissuunnitelmaa tehtäessä on otettava huomioon, että ilmastimesta riippuen kompostilämpöä voidaan mahdollisuuksien mukaan ottaa talteen myös poistoilmasta ja poistuvasta lannasta.

Lanta/lantalämmönvaihtimelle on hyvä varata tilaa, jota täytyy olla myös korkeussuunnassa. Maaperä on otettava huomioon paitsi rakennusteknisesti myös siksi, että kompostisäiliö on edullista sijoittaa mahdollisimman syvälle maan sisään kuten kuvassa 25.



Kuva 25. Kompostisäiliö osin maan sisässä.
A = sekoituskaivo, B = kompostisäiliö,
C = varastosäiliö

Tällöin on myös mahdollista valita pumppujen ja liete-pintojen korkeuserot sellaisiksi, että tultaisiin toimeen mahdollisimman pienellä pumppumäärällä ja pumppaukseen kuluisi mahdollisimman vähän energiaa.

Materiaalit

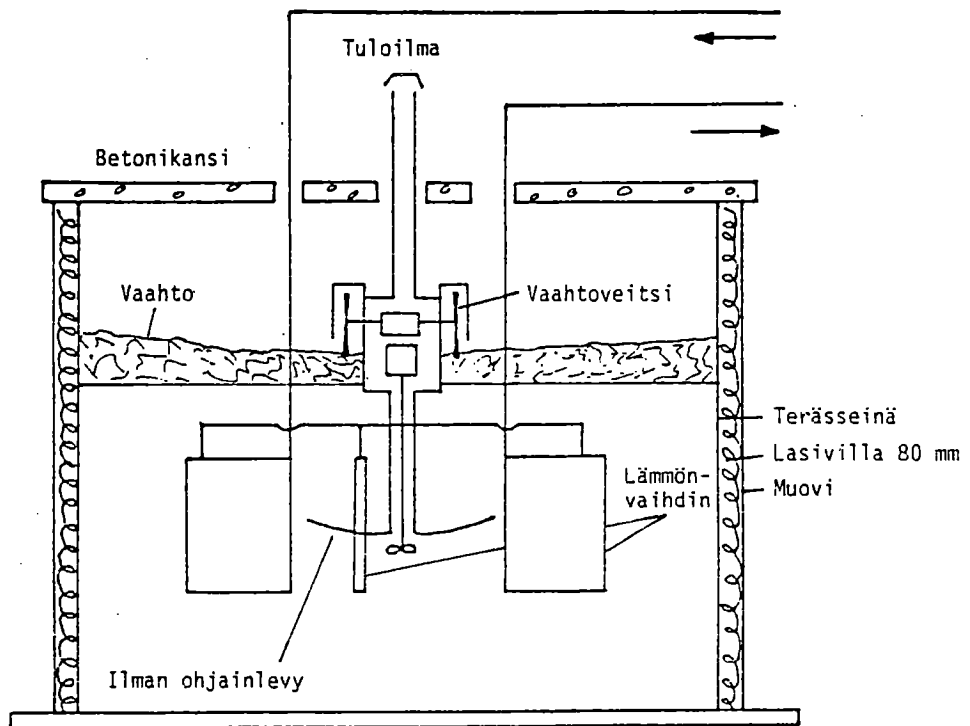
Kompostisäiliöitä on rakennettu puusta, betonista, teräksestä ja lasikuidusta. Valintaan vaikuttaa ennenkaikkea hinta ja aikaisemmat kokemukset. Pukkilaan rakennettiin säiliö betoniharkoista ja Vihtiin kylläste-

tystä ponttilaudasta. Säiliön ulkoseinän vuoraukseen on käytetty esimerkiksi kyllästettyä lautta, muovia tai aaltopeltiä. Kansi voidaan rakentaa kyllästetystä puusta, betonista tai muottivanerista.

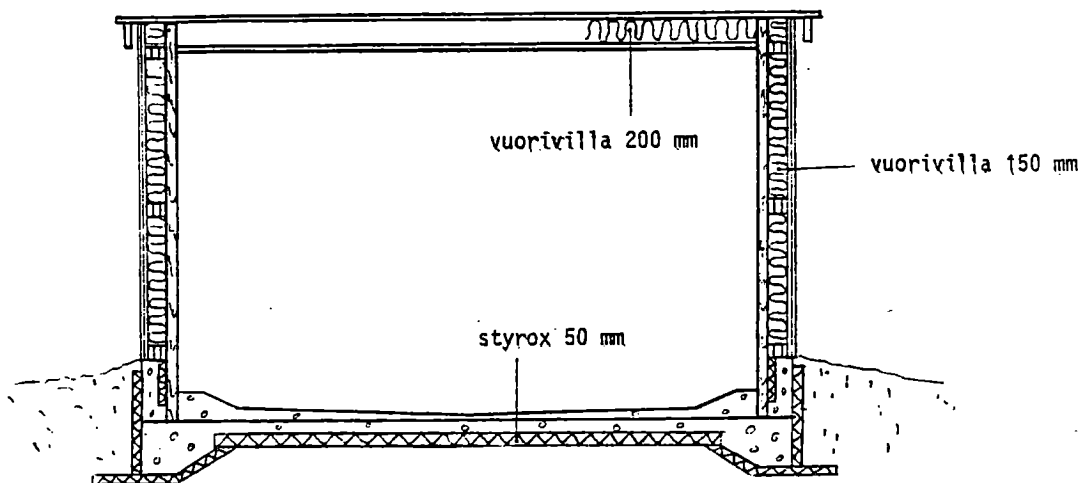
Lämmöneristys

Eristykseen on käytetty vuori- tai lasivillaa ja styroxia eri muodoissa.

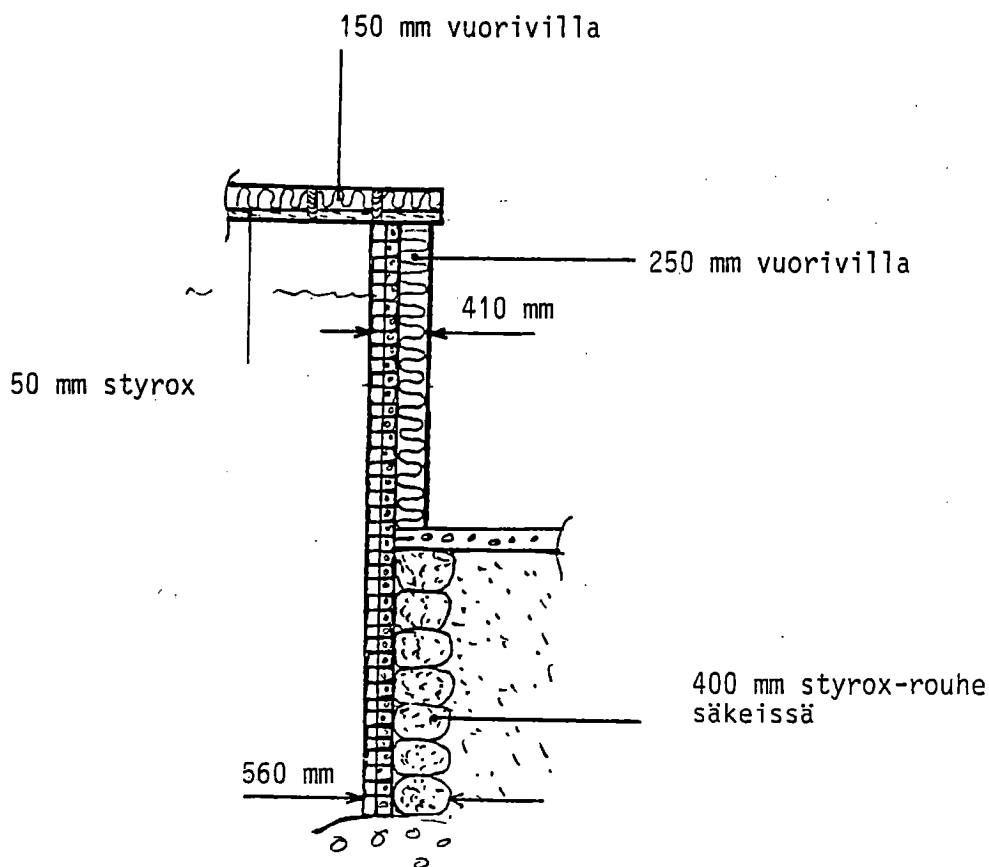
Kuvissa 26, 27 ja 28 on esitetty toteutettuja lämmöneristysvaihtoehtoja.



Kuva 26. Terässäiliön lämmöneristys /Gö 81/. Eristeenä 80 mm lasivilla kauttaaltaan.



Kuva 27. Puusäiliön lämmöneristys, Vihti. Seinässä 150 mm vuorivilla, kannessa 200 mm.



Kuva 28. Betonisäiliön lämmöneristys, Pukkila. Säiliön alaosan ympärillä 400 mm paksut styrox-rouhesäkit, yläosassa 250 mm villa, kannessa 150 mm villa ja 50 mm styrox-levy.

Materiaalina voidaan käyttää myös eristeharkkoja, joissa harkkojen sisällä on uretaanimuovikerros eristeenä; kaarevia eristeharkkoja ei ole tiettävästi toistaiseksi saatavana.

Tyypillinen laskennallinen k-arvo on noin $0,3 \text{ W/m}^2\text{°C}$. On huomattava, että säiliön todellinen k-arvo saattaa erityistä olla 1,5-2 -kertainen laskennalliseen verrattuna. Lämpöhäviöt voivat kasvaa mikäli käytetään eristeitä, jotka voivat kostua, kun esimerkiksi lanta vaahtoa yli tai sadevettä ja lantaa pääsee eristeisiin.

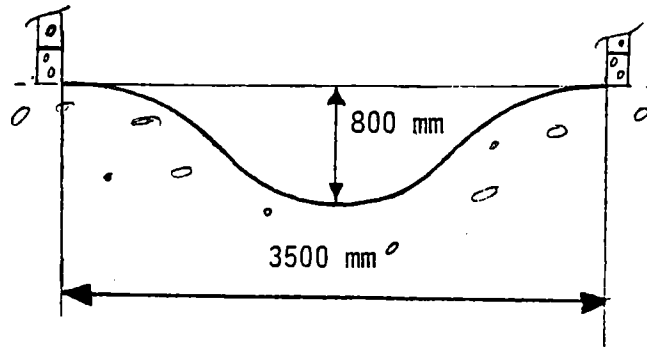
Jos kansi ei ole tiivis, ovat lämpöhäviöt haihtumisen takia suuremmat kuin k-arvo edellyttää.

Säiliön koko ja muoto

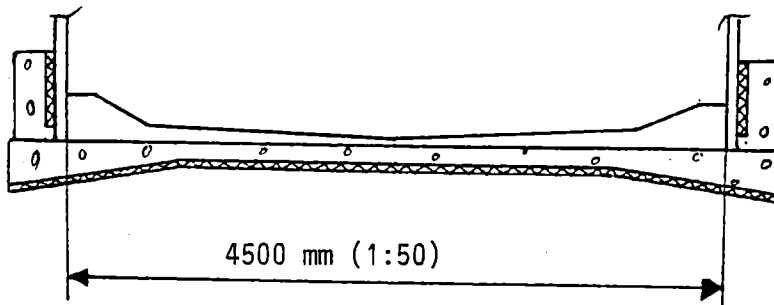
Rakennettujen lietalantasäiliöiden koot vaihtelevat 30 m^3 :stä 400 m^3 :iin. Suuriin kokoeroihin ei vaikuta lietalannan määrä, vaan käyttöstrategia. Pieniä säiliöitä käytetään läpivirtausperiaatteen mukaisesti, jolloin säiliötä tyhjennetään ennen lisäystä.

Säiliön koon valintaan vaikuttaa myös varastotilan tarve ja lämmön käyttökohteet. Isossa säiliössä lämpötila pysyy tasaisempana eikä poistolannan lämpö mene hukkaan. Lämpötilataso saattaa kuitenkin jäädä matalaksi ilmastusteknisistä syistä ja eristyslämpöhäviöiden takia. Ison säiliön rakentaminen tulee joka tapauksessa kalliimmaksi kuin pienen, myös laitteet maksavat enemmän. Energiataloudellinen optimi käsittelyaika esimerkiksi sian lietalannalla on 10-20 vrk, mikä puoltaisi pienen säiliön rakentamista. Tällöin lannasta saadaan suurin lämpöteho säiliön nettotilavuutta kohden. Taloudellinen optimikoko on suunnilleen puolet energiataloudellisesta optimikoosta.

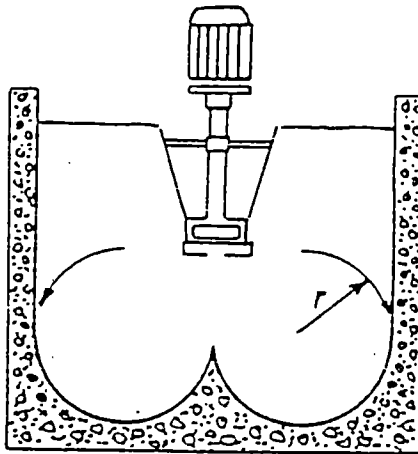
Säiliön oikea muoto parantaa ilmastuksen tehokkuutta. Ilmastintyyppi asettaa omat vaatimuksensa säiliön muodelle. Ilmastusteknisesti ja sekoituksen kannalta korkea ja kapea säiliö on paras. Pohja olisi hyvä muotoilla kartiomaiseksi tai koveraksi sekoituksen ja tyhjennyksen takia.



Kuva 29. Pukkilan säiliön pohjaprofiili



Kuva 30. Vihdin säiliön pohjaprofiili



Kuva 31. Pintailmastinta varten muotoiltu säiliön pohja /Be 82/

Kuvissa 29...31 on esitetty erilaisia ratkaisuja pohjan muodoksi. Pienen säiliön mitat saattaa määrätä itse ilmaston, joka vaatii tietyn minimileveyden. Korkeutta saattaa rajoittaa lietepumpun käyttö. Ennen säiliön suunnittelua olisi valittava ilmaston ja neuvoteitava ilmastimen myyjän kanssa parhaasta säiliön muodosta.

Läpivirtaussäiliön nettotilavuus saadaan, kun tiedetään päivittäin käsiteltävän lannan määrä, joka on sama kuin tuotetun 8-10 -prosenttisen lannan määrä. Mikäli lantaa voidaan varastoida lämmityskautta varten se voidaan ottaa huomioon päivittäistä käsittelymäärää laskettaessa. Kertomalla vuorokautinen lantamäärä kymmenellä saadaan säiliön nettotilavuus, johon on laskettava 30% lisää bruttotilavuuden saamiseksi; noin neljännes säiliön tilavuudesta on varattava vaahtoamistilaksi tai korkeudesta vähintään noin metri. Ohjeet ovat suuntaa antavia. Säiliön kokoon vaikuttaa ennen kaikkea ilmastimen tehokkuus, mikä määrää säiliön minimikoon ja viipymän.

Säiliön kansi

Säiliön kannen suunnitteluun ja rakentamiseen on kiinnitettävä erityistä huomiota. Tärkeimpiä seikkoja ovat:

- tiiviys ja eristys
- kuperaus, jos kyseessä on ulkosäiliö
- joustavuus huoltoa ja mahdollista ilmastimen vaihtoa silmällä pitäen
- riittävä kantavuus

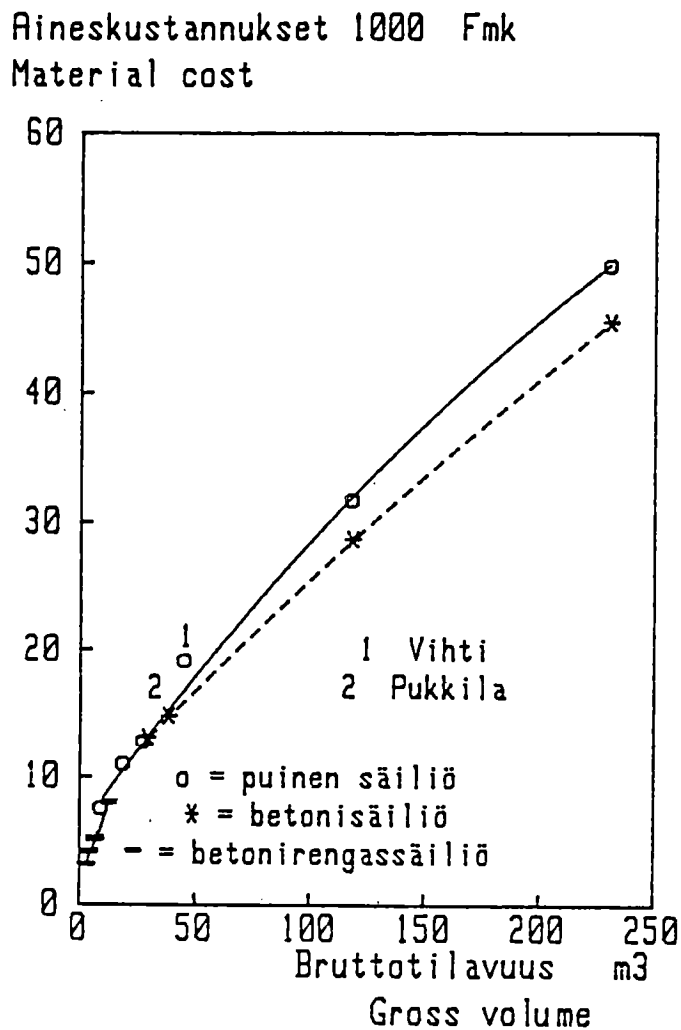
Tietyt ilmastimet asennetaan kannen varaan. Lisäksi kannen päälle tulee todennäköisesti muitakin laitteita kuten lietepumppu ja nostoteline (voi olla myös sivussa), joten kannen täytyy kestää useiden satojen kilojen paino.

Huoltoluukun tulee olla väljä, vähintään 1 m²:n kokoinen. Ulkona olevan säiliön kansi olisi hyvä tehdä lievästi vinoksi tai kartiomaiseksi, jotta sen puhtaanapito olisi helppoa ja sadevesi ei seisoisi kannella.

Kannen ja seinän välinen sauma ja kaikki läpiviennit on tiivistettävä puurimalla tai tiivistenauhalla ja -massalla. Läpiviennit voivat olla kumisia tai muovisia.

Säiliön rakentaminen ja kustannukset

Piirros 3 esittää säiliön laskettuja materiaalikustannuksia, kun se tehdään betonista tai kyllästetystä puusta.



Piirros 3. Kompostointisäiliön materiaalikustannukset

Vihtiin ja Pukkilaan rakennetut säiliöt ovat tilavuudeltaan 50 m³ puinen, ja 40 m³ betoninen. Nettotilavuudet ovat yhtä suuret noin 30 m³, koska vaahtoamistilat ovat erikokoiset; Vihdin säiliö on muodoltaan matala, Pukkilan säiliö korkea.

Työ- ja materiaalimenekki kompostisäiliön rakentamisessa

Kompostisäiliön rakennuskustannukset on arvioitu Vihdin ja Pukkilan kokemusten mukaan alla olevan esimerkin mukaisesti. Kustannukset eivät ole todellisia, sillä työ-, raaka-aine ja rahtikustannukset on pyritty arvioimaan siten, etteivät paikalliset tekijät vaikuta tulokseen. Pukkilan säiliön eristys on mitoitettu toisin kuin rakennetussa säiliössä.

| Säiliö | | puusäiliö | betonisäiliö |
|---------------------|----------------|-----------|--------------|
| Bruttotilavuus | m ³ | 46 | 39 |
| Nettotilavuus | m ³ | 30 | 30 |
| Sisähalkaisija | m | 4,5 | 3,5 |
| Sisäkorkeus | m | 2,9 | 4,0 |
| Lietepinnan korkeus | m | 2,2 | 3,5 |

Pohja

| | | | |
|-------------------------|----------------|------|------|
| Pinta-ala | m ² | 20 | 13 |
| Esityöt; kaivuu, tasaus | h | 9 | 13 |
| Valutyöt + jälkivalut | h | 45 | 36 |
| Materiaalimenekki | | | |
| hiekkä | m ³ | 16,5 | 5 |
| betoni | m ³ | 5 | 4 |
| teräs | kg | 90 | 70 |
| muottivaneri 9 mm | m ² | 13,5 | 10,5 |
| styrox 50 mm | m ² | 25 | 15 |
| tarvikkeet | mk | 200 | 150 |
| (lanka, puu, naulat) | | | |

Seinä

| | | | |
|---------------------------|----------------|------|-----|
| Vaipan ala | m ² | | |
| Pystytys | h | 12 | 96 |
| Eristys | h | 6 | 6 |
| Ulkovuoraus | h | 18 | 18 |
| Materiaalimenekki | | | |
| kyll. puu | m ³ | 5,5 | 1,3 |
| betoniharkot | kpl | | 560 |
| betoni | m ³ | | 4 |
| teräs | kg | | 200 |
| Eristysmateriaali | | | |
| villa 150 mm | m ² | 42 | |
| 175 mm | m ² | | 39 |
| styrox 50 mm | m ² | 10 | 8 |
| Tarvikkeet; vaijeri | | | |
| naulat, pultit, erik.osat | mk | 1600 | 100 |
| Rahti 100 km | | 390 | 550 |

Kansi

| | | Vihti puusäiliö | Pukkila betonisäiliö |
|--|----------------|--------------------|-------------------------|
| Pinta-ala | m ² | 22 | 14,5 |
| Työt | | | |
| vuoraus | h | 20 | 14 |
| eristys | h | 4 | 3 |
| Materiaalimenekki | | | |
| kyll.puu | m ³ | 1,5 | 1,0 |
| villa 100 mm | m ² | 31 | 21 |
| Tarvikkeet; | mk | 1000 | 650 |
| huopa, kosteussulku, naulat, tiivistemassa ym. | | | |
| Rahti 100 km | | 110 | 500 |

Kustannukset

Pohja

| | | |
|------------|------|------|
| materiaali | 3790 | 2660 |
| työ | 2370 | 2320 |

Seinä

| | | |
|------------|-------|------|
| materiaali | 11540 | 9060 |
| työ | 1260 | 4680 |

Kansi

| | | |
|------------|------|------|
| materiaali | 3960 | 3020 |
| työ | 840 | 600 |

Yht.

| | | |
|------------|-------|-------|
| materiaali | 19290 | 14740 |
| työ | 4470 | 7600 |

Sähköasennukset

| | | |
|----------|------|------|
| laitteet | 2800 | 2800 |
| työ | 1880 | 1880 |

Lämmöntalteenotto

| | | |
|----------|------|------|
| laitteet | 4300 | 4300 |
| työ | 1290 | 1290 |

Lietelantalinjat

| | | |
|----------|-----|-----|
| laitteet | 500 | 500 |
| työ | 150 | 150 |

Säiliön hinta

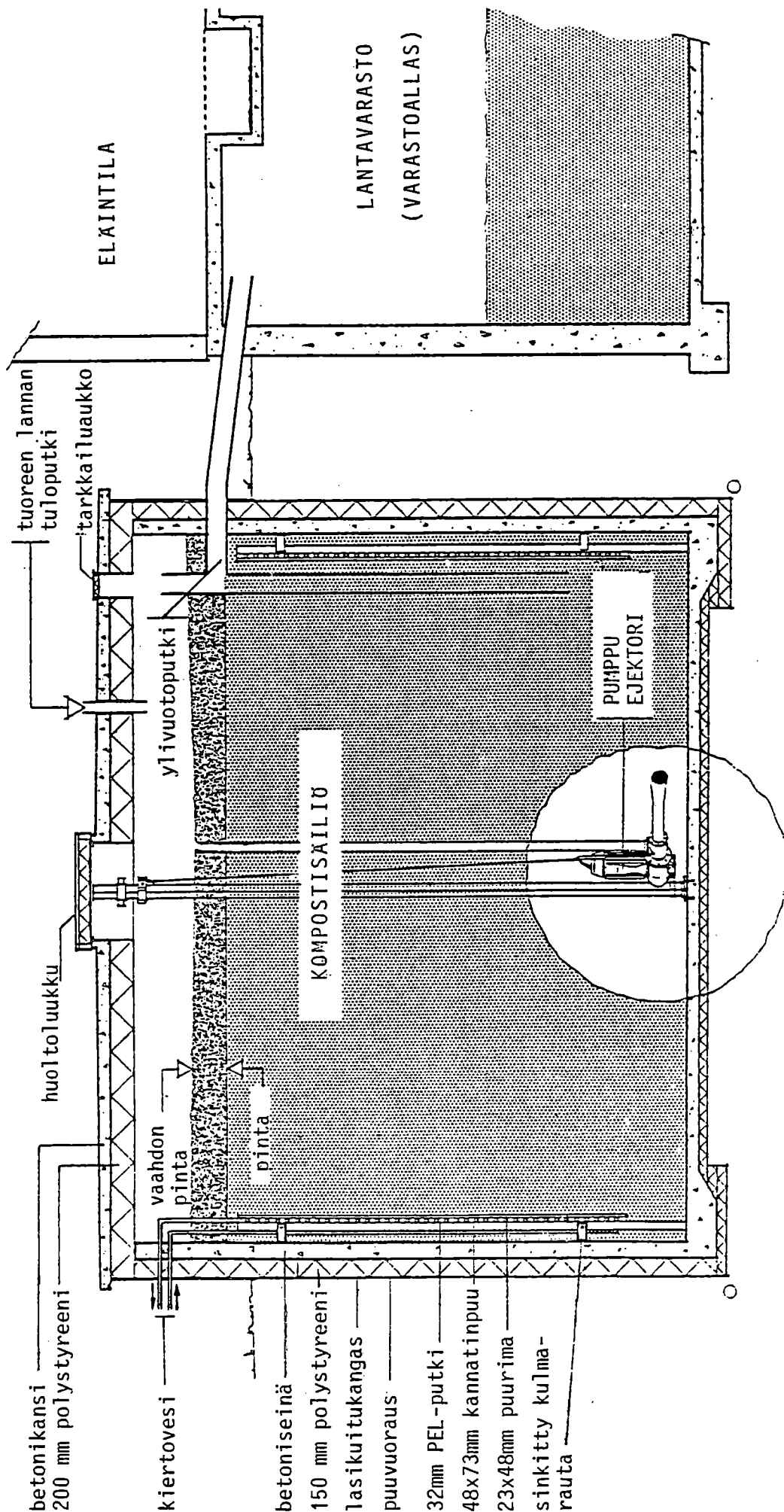
| | | |
|------------------------|-------|-------|
| laitteet ja materiaali | 26890 | 22340 |
| työ | 7790 | 10920 |

Yht.

| | | |
|--|-------|-------|
| | 34680 | 33260 |
|--|-------|-------|

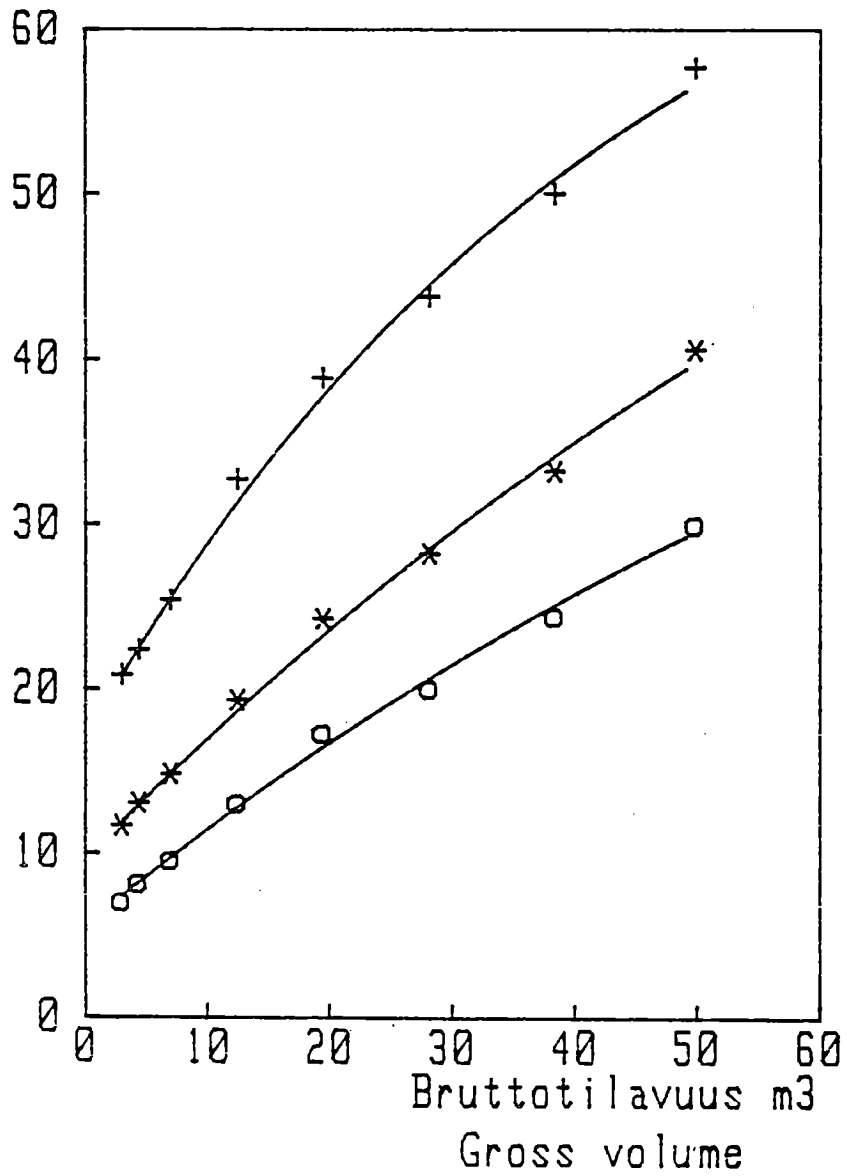
Betonivaluharkoista tehdyn säiliön materiaalikustannukset ovat esimerkkitapauksessa pienemmät, työmenekki on kuitenkin suurempi. Työkustannusten ero syntyy säiliön seinän pystytyksessä.

Valutöiden tuntipalkkana on pidetty 40 mk/h ja muiden töiden 35 mk/h. Sähkötöiden työkustannuskertoimena on käytetty 1,67, joten sähkötöiden kustannukset on saatu kertomalla sähkölaitteiden ja -tarvikkeiden hinta 1,67:llä. Materiaalin ja laitteiden hinnat vastaavat kesän 1985 tasoa.



Kuva 32 Kompostisäiliö /Tj 82/.

Kustannukset 1000 Fmk
Cost



- o Säiliön kustannukset pystytettynä ja eristettynä lietelantalinjoihin ja sähköasennuksineen
- * lisättyä lämmönlämmönottokustannuksilla
- + lisättyä ilmastuskustannuksilla

Piirros 4. Kompostisäiliön lasketut kustannukset

Pukkilan ja Vihdin tapauksissa molempien säiliöiden kustannukset ilman töiden osuutta jäävät välille 22-27 000. Tällöin on kustannuksissa otettu huomioon lämmönsiirrosta ja lietelantalinjoista aiheutuvat kustannukset. Ilmastuksen kustannukset tulevat tämän lisäksi. Puisen säiliön kokonaishinta saadaan kertomalla materiaalikustannukset 1,3:lla ja betonivaluharkoista tehdyn säiliön 1,45:llä.

Ilmastuksen kustannukset muodostuvat seuraavista osista

- ilmastimen hankinta + asennus
- vaahdon hävittämisestä aiheutuva kustannus;
vaahdon hävitin + valvonta- ja käyttölaitteet

Lisäksi kompostoriin saatetaan tarvita lietepumppu tai sekoitin tyhjennystä, täyttöä tai sekoitusta varten.

Piirros 4 esittää valmiin säiliön kustannuksia eri materiaaleista tehtynä. Kuvassa on huomioitu lämmöntalteenotto-laitteiden kustannukset sekä sähköasennuskustannukset ilmastinta, lietelantapumppua, vaahdonhävitintä ja pintakytkintä varten. Ilmastinlaitteistoon kuuluvat pohjailmastimet, matalapainekompressori moottoreineen ja ilmanjakoputkisto (vrt. taulukko 13 sivulla 100).

3. LÄMMÖN KEHITYS- JA TALTEENOTTOKOKEET

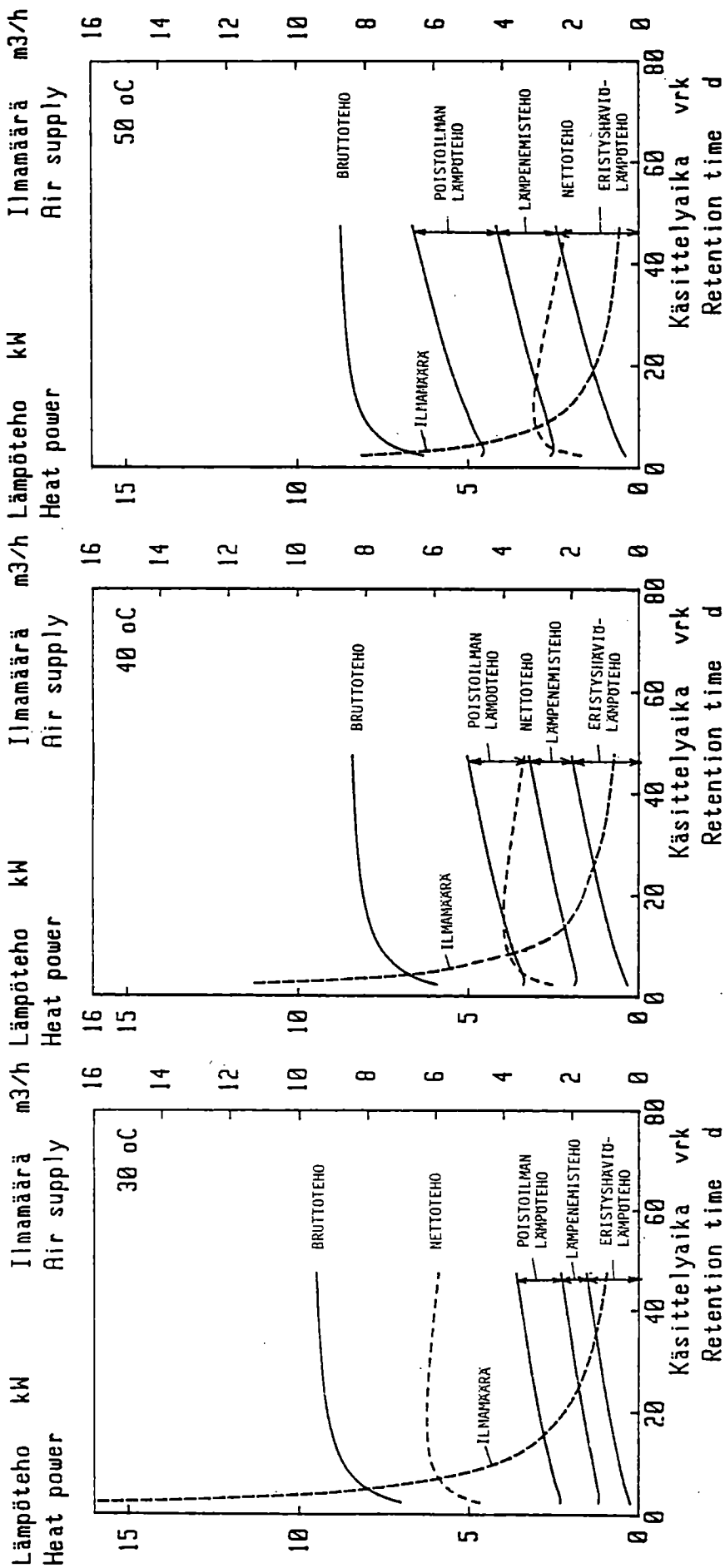
3.1 Kehittyvä lämpö

Kompostoinnissa syntyvän lämmön määrään ja lämpötehoon vaikuttavat.

1. ilmastus
2. käsittelyaika
3. käsittelylämpötila
4. lannan laatu

Ilmastuksen tehokkuudella on ratkaiseva merkitys sekä lämmön tuotolle, että lämmöntalteenotolle. Ihannetapauksessa ilmastus on niin tehokasta, että kaikki syötetyn ilman happi kuluu prosessissa. Tarvittavan ilmamäärän arviointi voidaan tehdä esim. kuvan 33 perusteella, jossa on laskettu ilman tarve eri lämpötiloissa käsittelyajan muuttuessa sivulla 49 olevien lähtöarvojen mukaan. Kuvasta saadaan myös teoreettinen lämpöteho jatkuvatoimisessa kompostoris- sa eri viipymäajoilla.

Koska tuoreen lannan syöttö on tarkoituksenmukaista tehdä esimerkiksi kerran vuorokaudessa, ilman tarve vaihtelee jonkin verran vuorokauden jaksoissa. Ilmamäärän jatkuvaa säätöä on kuitenkin hankala toteuttaa, ja se tulee kalliiksi. Käytännössä ilmamäärä saa vaihdella hyvinkin laajoissa rajoissa. Mentäessä alle minimi-ilmamäärän tulee happi rajoittavaksi tekijäksi ja lämmöntuotto hidastuu. Tällöin on joko pidennettävä käsittelyaikaa eli vähennettävä lannan lisäystä tai vähennettävä kerrallaan käsiteltävää lantamäärää ja vuorokautista lisäystä. Kokeissa säiliö on pysynyt "hengissä" hyvin pienillä ilmamäärillä, kun käsittelyaikaa on pidennetty. Lisäysväliä pidentämällä varsinaista alarajaa ilmamäärälle ei kokemuksien mukaan ole. Vaikeudet alkavat vasta sitten, kun lisäysmäärä on pitempään liian suuri ja tiheä. Tällöin kompostin olosuhteet muuttuvat hitaasti ja lähestytään tilannetta, joka vallitsee kompostoinnin alussa. Lämpötilan nousu käyttölämpötilaan kestää keskimäärin 3 vuorokautta (2-7 vrk) riippuen lannan määrästä ja kuiva-ainepitoisuudesta käynnistyksessä.



Kuva 33 Lämpötehot ja keskimääräinen ilman tarve eri lämpötiloissa käsittelyajan muuttuessa. Tehot on laskettu 1 m³/vrk syöttöä kohden. Ilman tarve saadaan kertomalla kuvasta saatava arvo säiliön nettotilavuudella. Laskenta on tehty sivulla 50 olevien lähtöarvojen mukaan.

3.2 Lämpöhäviöt ja nettolämpöteho

Kuvista 33 ja 34 ilmenevät kompostoinnin lämpöhäviöt eri käsittelyajoilla ja -lämpötiloissa, kun seuraavat lähtöarvot ovat voimassa:

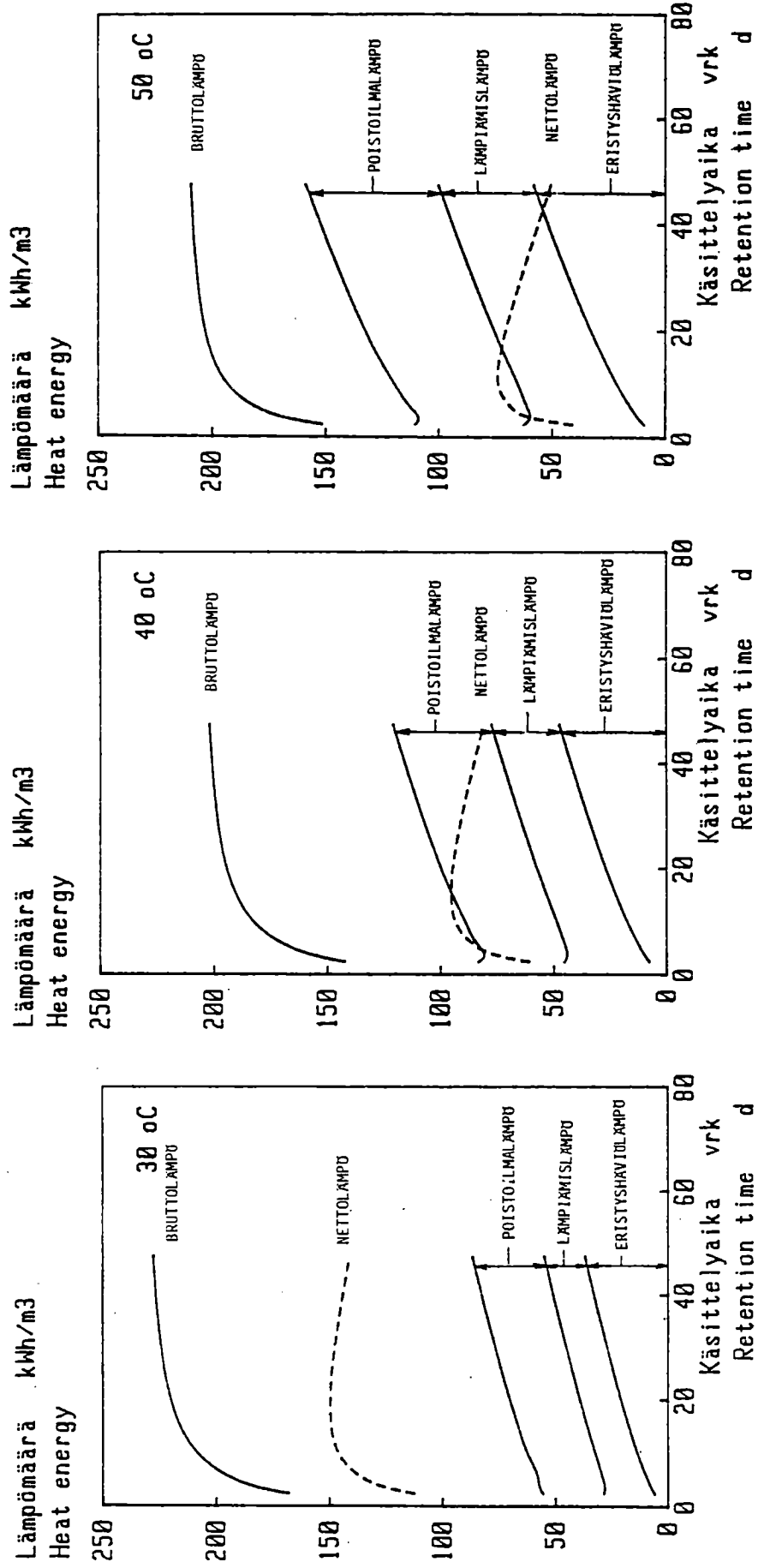
- ulkoilman lämpötila -5°C , suht. kosteus 80%
- säiliön k-arvo $0,5 \text{ W/m}^2 \text{ }^{\circ}\text{C}$
- lannan tulolämpötila 15°C
- hapen hyväksikäyttöaste 30%
- säiliön korkeus on neljä metriä, halkaisija tilavuuden mukaan
- kiintoainepitoisuus 9%
- orgaaninen aines kiintoaineesta 70%
- typpi/hiili 0,15

Kuvissa 33 ja 34 käsittelylämpötila tarkoittaa aritmeettista keskilämpötilaa eikä ajallista vuorokautista keskilämpötilaa, joka on hiukan suurempi. Lämpöhäviöt ovat siksi todellisuudessa hiukan suuremmat.

Kompostoitu lanta poistuu keskimääräistä käsittelylämpötilaa korkeammassa lämpötilassa kompostorista.

Jos hapen hyväksikäyttöaste on vain 10%, ovat häviöt poistoilman mukana kolminkertaiset kuvissa 33 ja 34 esitettyihin verrattuna. Poistoilmahäviöt voivat tällöin estää lämpötilan nousun esimerkiksi yli 45°C :een.

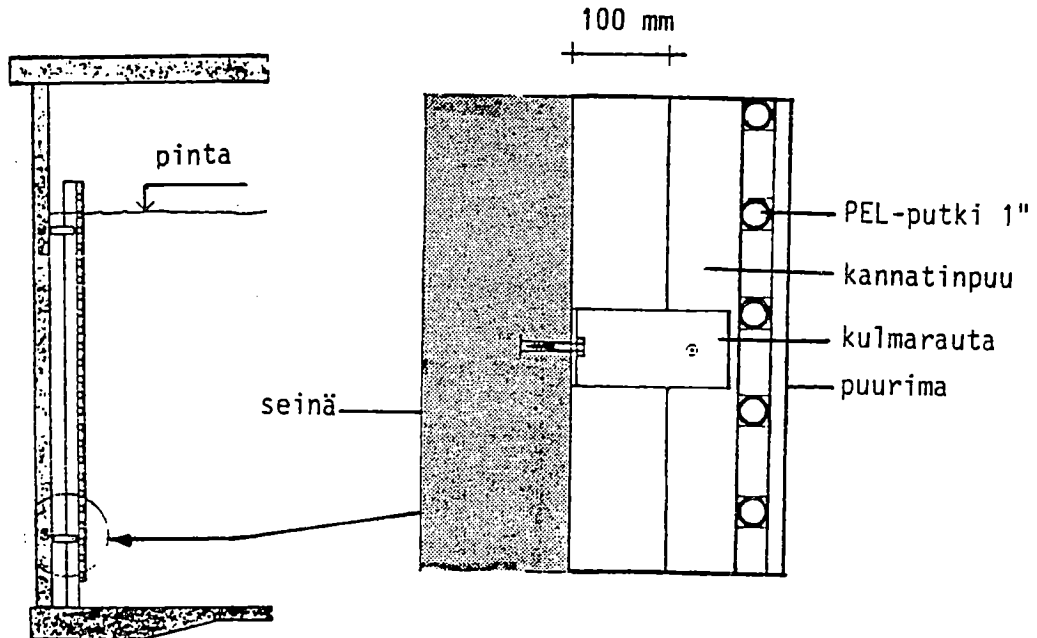
Toisaalta eri syistä on mielekästä pyrkiä ottamaan lämpöä talteen myös poistoilmasta ja mahdollisesti poistuvasta lannasta.



Kuva 34 Yhden lietelantakuution kompostoinnissa syntyvän lämmön määrä ja lämpöhäviöt eri lämpötiloissa ja eri käsitteilyajoilla olettaen, että happi ei ole rajoittava tekijä. Laskenta on tehty sivulla 50 olevien lähtöarvojen mukaan.

3.3 Lämmöntalteenotto

3.3.1 Lanta/vesilämmönvaihtimet

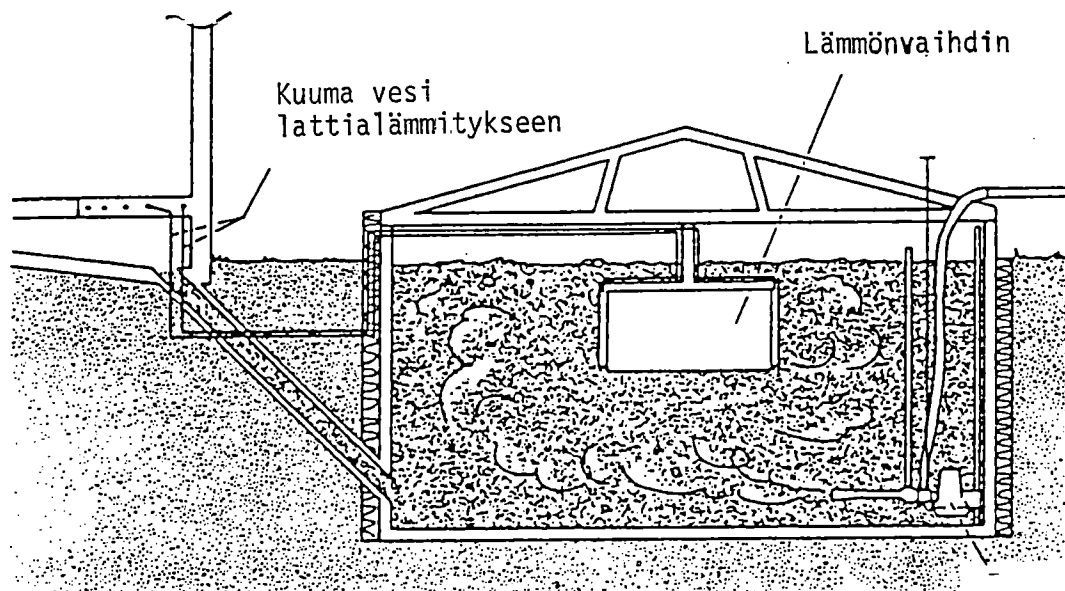


Kuva 35. PEL-putki lämmönvaihdin

Yleisimmin käytetty lämmönvaihdin kompostilämmön talteenottamiseksi on kuvassa 35. Musta PEL-putki, jonka sisäläpimitta on 25-40 mm kiertää lähellä säiliön seinää. Putkea tarvitaan noin 6-8 m säiliön lantakuutiota kohden. Putki on asennettu lovettujen pystytukien varaan, jotka on puolestaan kiinnitetty säiliön seinään sinkityillä kulmarautoilla. Pystytuet ovat kyllästettyä puuta. Säiliöstä, jonka hyötykorkeus on vähintään puolet läpimitasta, putkenpituus 8 m/m^3 lantaa ja veden virtausnopeus 0,3-0,4 m/s, saadaan lämmitysvettä, jonka lämpötila on 1-1,5 °C säiliön lämpötilaa matalampi. PEL-lämmönvaihdin on helppo tehdä ja se on halpa.

Kuvan 36 lämmönvaihdinta on kokeiltu mm. Saksan Liittotasavallassa ja Ruotsissa. Se muistuttaa tavallista vesikeskuslämmityspatteria materiaalina haponkestävä teräs. Tällainen lämmönvaihdin vaatii pienen kokonsa vuoksi paremman sekoituksen kuin PEL-lämmönvaihdin, joka ei ole

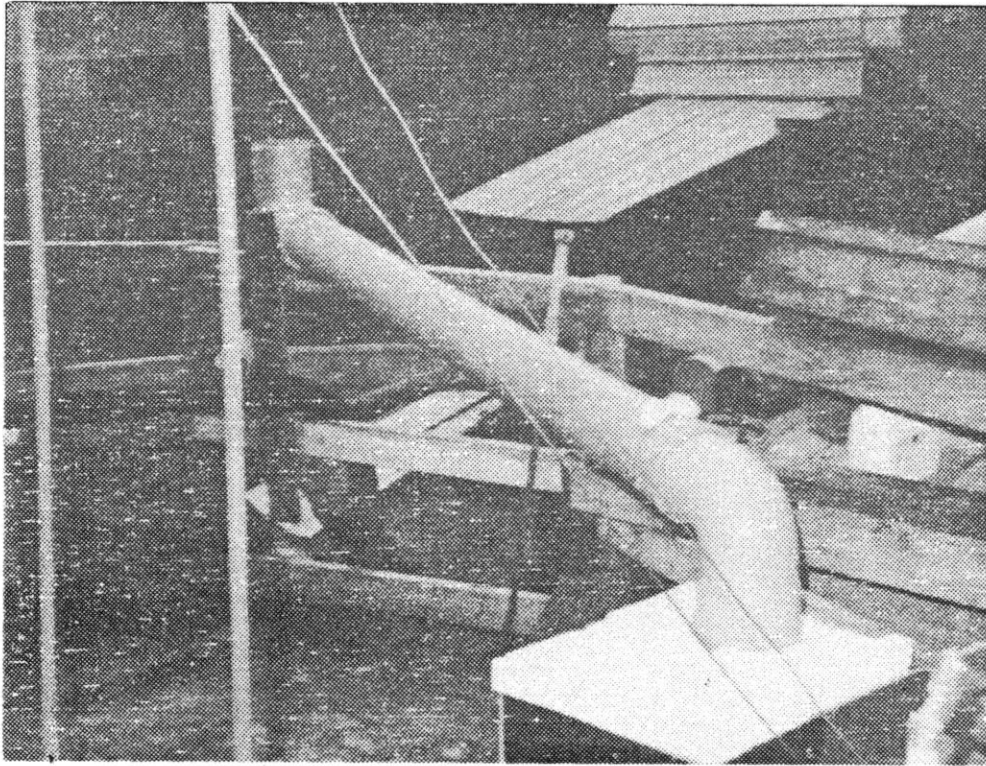
kovin vaativa sekoituksen suhteen. Levylämmönvaihtimen asentaminen ja puhdistus on helppoa. Toisaalta PEL-lämmönvaihdin ei kokemusten mukaan vaadi puhdistamista.



Kuva 36. Haponkestävästä teräksestä tehty levymäinen lanta/vesilämmönvaihdin, Ruotsi Orsa.

3.3.2 Poistoilman lämmönvaihtimet

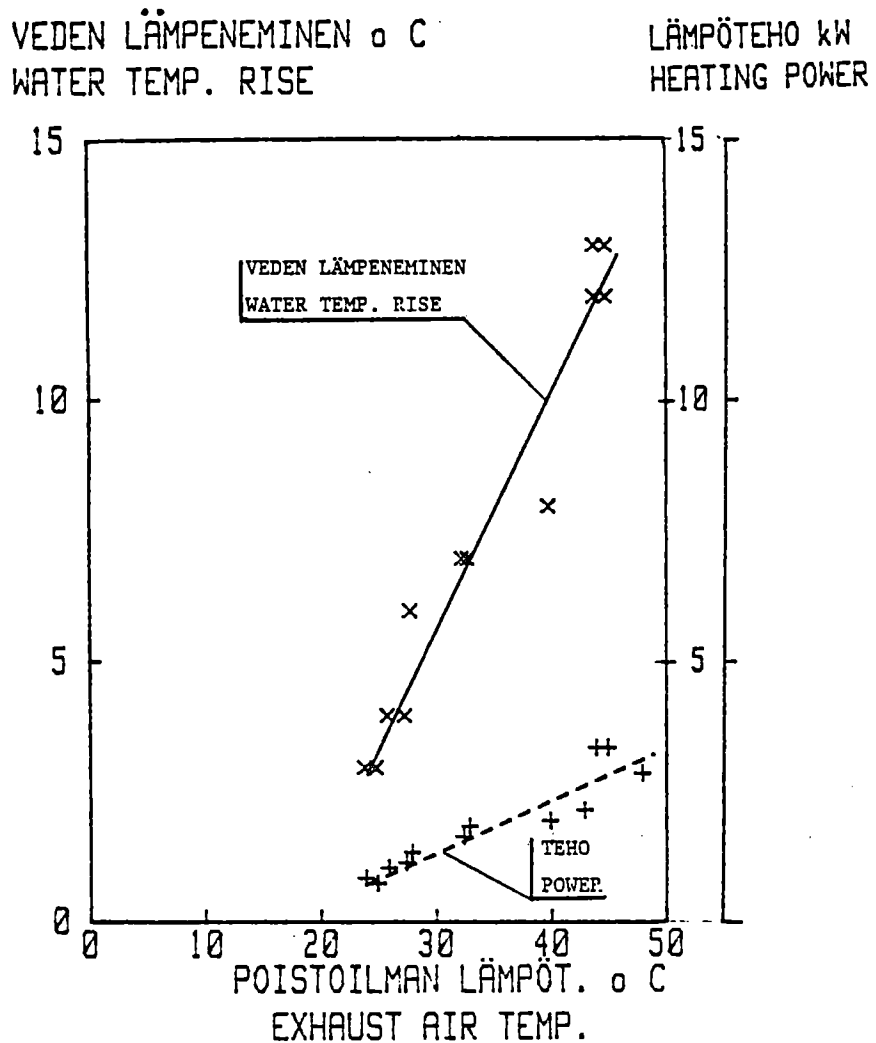
Poistoilman mukana menevän lämpöenergian määrä kasvaa voimakkaasti (eksponentiaalisesti) säiliön lämpötilan noustessa. Usein joudutaan käyttämään suurta ilmaylimäärää matalan liukoisuusprosentin takia. Paineilmamastuksessa ilmamäärä voi olla niin suuri, että poistoilmahäviöt estävät säiliön lämpötilan nousun esimerkiksi yli +50 °C:n. Tällöin on harkittava tehokasta lämmöntalteenottoa poistoilmasta. Se voi olla varsinaista lämmöntalteenottoa täydentävä tai yksinomainen lämmöntalteenottomenetelmä. Kuvan 37 lämmönvaihtimella lämmitettiin pelkästään sikalan ruokintavettä. Lämmönvaihdin tehtiin 160 mm muovisesta viemäriputkesta, jonka sisälle kierrettiin 12 mm Upolet-putkea sata metriä. Lämmönvaihtimen vaippaputken pituus on n. 4 metriä.



Kuva 37. Vihdin poistoilman lämmönvaihdin

Kuvasta 38 käy ilmi lämmönvaihtimen teho ja veden lämpiäminen eri poistoilman lämpötiloilla. Tuleva vesi on ollut kylmää kaivovettä, jonka lämpötila on keskimäärin 7 °C.

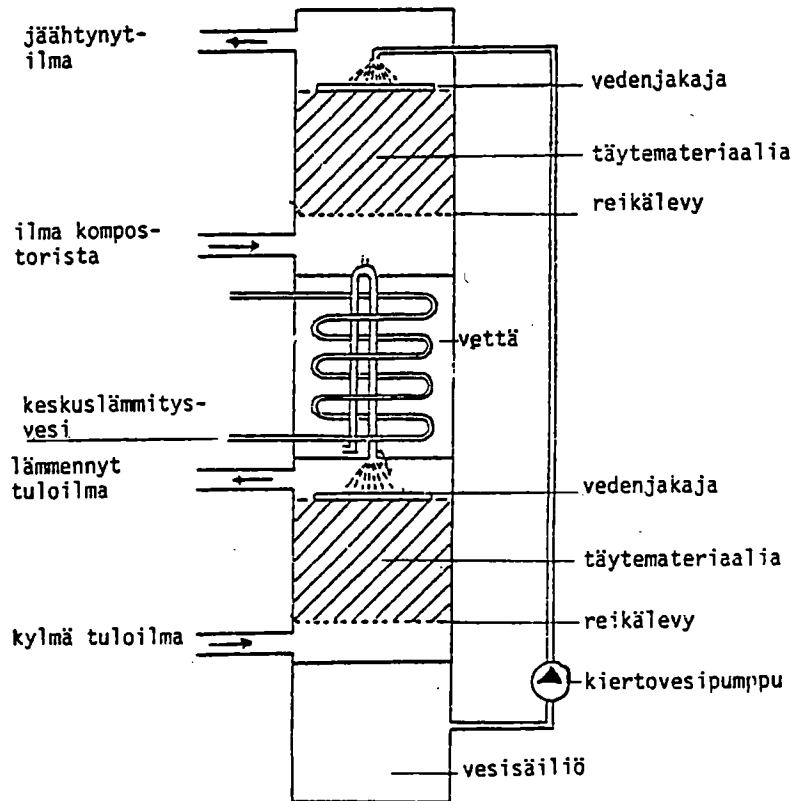
Tanskassa on kokeiltu kuvan 39 mukaista poistoilman lämmönvaihdinta kiinteän lannan kompostointilämmön talteenotossa, jossa se on kompostorin ainoana lämmönsiirtimenä. Kuvan lämmönvaihtimella päästään lähes yhtä pieneen lämpötilaeroon lannan ja veden välillä kuin PEL-putkilämmönvaihtimella ja lämmönvaihtimesta saatavan veden lämpötila on noin 55 °C ko. olosuhteissa. Haittapuolena on vaihtimen monimutkainen rakenne, huollon tarve ja korkeahkot valmistuskustannukset.



Kuva 38. Vihdin poistoilman lämmönvaihtimen teho

Poistoilmasta lämmönvaihtimessa tiivistyvä vesi palautuu takaisin kompostoriin. Samalla veden mukana palautuu osa poistoilman mukana normaalisti hukkaan menevästä ammoniakitypestä.

Typpihäviöiden vähentäminen lisää kompostoidun lannan arvoa. Mikäli kompostorin lämpötila on korkea, yli 50°C, on vaara, että ilman mukana poistuu liikaa kosteutta kompostista ja lietelanta paksunee liiaksi. Tällöin ilmastaminen ja lannan sekoitus vaikeutuvat. Optimi kuiva-ainepitoisuus ilmastuksen kannalta on nolla. Lietelannan kompostoinnissa sen on kuitenkin todettu lämmönkehityksen ja



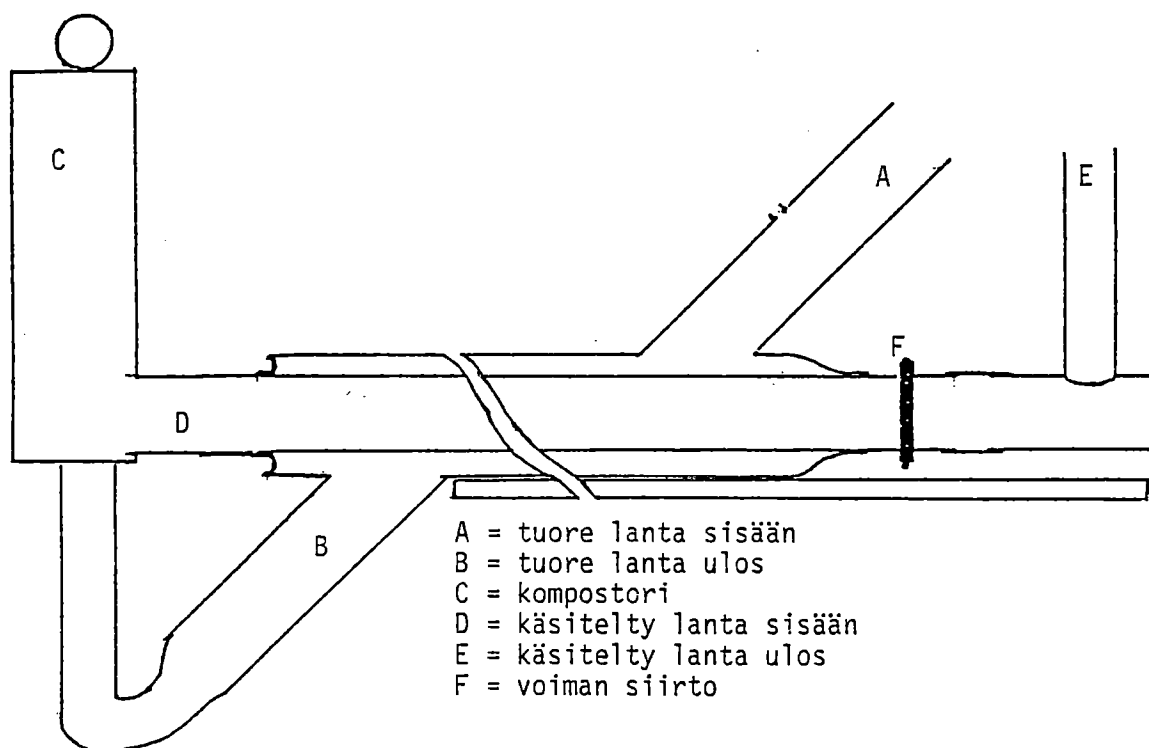
Kuva 39. Tanskalainen poistoilman lämmönvaihdin

käytännön syiden takia olevan 2-8%. Yli 12%:ssa lannassa ilmastus ei tahdo enää onnistua riittävän tehokkaasti kulutettuun sähköenergiaan nähden. Hyvin laihassa lannassa taas ei ole enää tarpeeksi palavaa ainesta. Käytännössä lietelannan kuiva-ainepitoisuus on luokkaa 8-10%. Laimentaminen nopeuttaa kompostoitumista, mutta käytännön syistä sitä ei voitane tehdä.

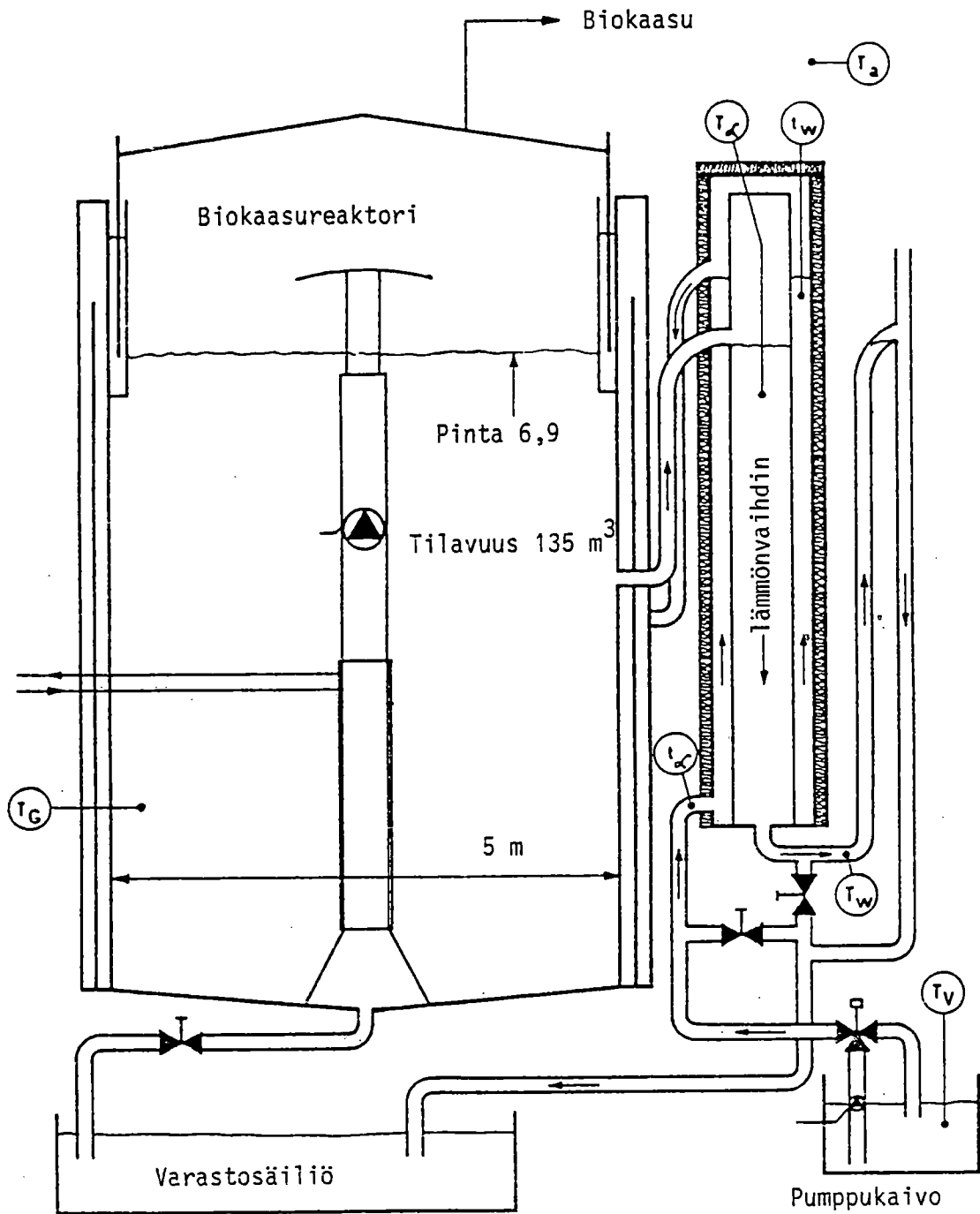
Lämmönvaihtimen materiaalille asetetaan suuret vaatimukset, sillä poistoilma on lämmintä, kosteaa (suhteellinen kosteus 100%) ja sisältää haitallisia ruostuttavia kaasuja, joista tärkein on ammoniakki. Sen sijaan poistoilmassa ei ole kovinkaan paljon kiinteitä hiukkasia. Kestäviä materiaaleja ovat yleisimmät muovit (PEH, PEL, PVC), lasi ja haponkestävä teräs. Eräät alumiiniseokset, joita on käytetty esimerkiksi eläinsuojien ilmastointi- ja lämmönsiirtolaitteissa saattavat kestää pitkäänkin. Puhdas alumiini ei ole kestävä materiaali. Sinkityt ja kupariosat eivät kestä kauan ko. olosuhteissa.

3.3.3 Poistuvan lannan lämmönvaihtimet

Lämmöntalteenottoa kompostista poistuvasta lannasta on selvitetty muun muassa Tanskassa ja Sveitsissä. Kuvassa 40 on tanskalainen pyörivä lanta/lantalämmönvaihdin ja kuvassa 41 sveitsiläinen lanta/lantalämmönvaihdin. Nämä lämmönvaihtimet eivät ole teknisesti ja hintaansa nähden täysin tyydyttäviä ratkaisuja. Ongelmana on saada lämmönvaihdin toimimaan lähes huollotta ja myös kestävästi ilman, että hinta kohoaisi hyötyyn nähden korkeaksi. Lanta/lantalämmönvaihtimien hinnat alkavat 10 000 mk:sta. Erillinen lanta/lantalämmönvaihdin tulee helposti kalliiksi, koska se vaatii täytön tai tyhjennyksen tai hyvän sekoituksen. Jos sekoitusta ei ole vaaditaan kohtalainen lämmönsiirtopinta, jonka tulee kestää ja pysyä puhtaana.



Kuva 40. Tanskalainen pyörivä lanta/lanta-lämmönvaihdin
/Hau 82/.



Kuva 41. Sveitsiläinen lanta/lanta-lämmönvaihdin /Eg 83/.

3.3.4 Lämpöpumpun käyttö lämmön talteenotossa

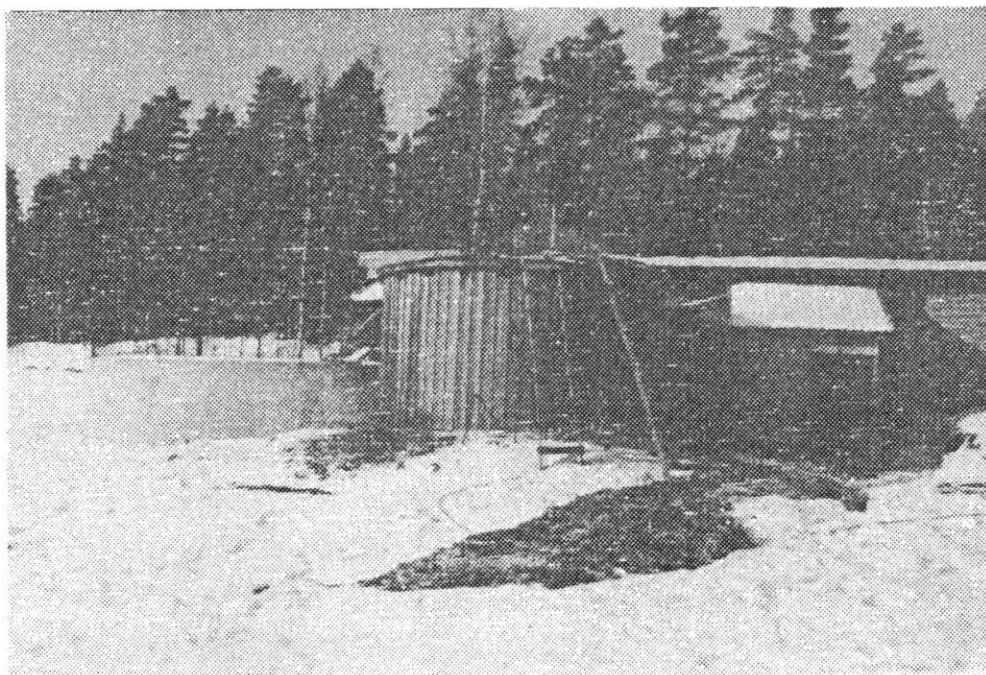
Yhtenä mahdollisuutena on käyttää lämpöpumppua lämmöntalteenotossa. Tällöin voidaan joko pyrkiä ottamaan lämpöä talteen poistoilmasta tai poistuvasta lannasta tai pyrkiä kohottamaan säiliöstä tulevan lämpimän veden lämpötilatasoa. Edellisessä tapauksessa ongelmat ovat samat kuin lämmönvaihtimilla tapahtuvassa lämmöntalteenotossa, vaikkakin ne voidaan ehkä helpommin ohittaa ja silti säilyttää riittävä teho. Pääoma- ja käyttökustannukset kuitenkin kasvavat ja laitteistosta tulee helpommin haavoittuva sen monimutkaisuuden tähden. Jälkimmäisessä tapauksessa on todettava, että lämpöpumpulla päästään noin 50 °C:n lämpötilatasoon, joka ei ole kovin paljon korkeampi kuin yksinkertaisella laitteistolla ilman lämpöpumppua. Lähtöajatuksena on siksi toistaiseksi pidettävä sitä, että ellei matalalämpötilaisella +40°C:lle lämmölle ole paljon käyttöä, ei ole syytä investoida myöskään lämpöpumppuun. Jos lämpöpumppua käytetään, sen hinta ei saa olla korkea eli laitteiston täytyy olla yksinkertainen ja varmatoiminen.

3.4 Lietelannan vaahtoaminen

3.4.1 Vaahdon kehittyminen

Lietelanta vaahtoa ilmastusmenetelmistä riippumatta. Vaahdon määrään ja laatuun vaikuttaa ilmastusmenetelmä, mutta myös kiintoainepitoisuus ja lannan laatu yleensä sekä käsittelylämpötila.

Lannan vaahtoaminen voi olla niin runsasta, että säiliö käytännöllisesti katsoen tyhjenee lyhyessä ajassa, ellei vaahtoa palauteta takaisin liotelannaksi. Kuvan 42 tapauksessa ei käytetty vaahtonhävitintä. Yhden yön aikana vaahtoa voi syntyä 6-8 m³ - liotelannaksi laskettuna. Riippuen vaahton tiheydestä se vastaa 15-100 kuutiometriä lantavaahtoa.



Kuva 42. Ensimmäinen "onnistunut" koe Vihdissä

On syytä todeta, ettei lanta juuri vaahtoa, jos kompostoituminen on hidasta. Putki-ilmastimilla suoritettuna noin 2 kk kokeilun aikana vaahto ei kertaakaan ollut lähelläkään tulla ulos säiliöstä, mutta niinpä ei myöskään kompostin lämpötila noussut. Lämpötilan kohoaminen on selvä merkki hyvästä kompostoitumisesta.

Vaahtoaminen on vähäistä käynnistysvaiheessa, mutta kiihtyy lämpötilan noustessa yli 30°C :n. Ilmastimen synnyttämien kuplien koko sekä ilmamäärä vaikuttavat alussa vaahtomäärään. Vaahto on aluksi yleensä suurikuplaista ja jos vaahtotila on kyllin suuri, kuplat rikkoutuvat itseksensä. Vaahtoaminen on suunnilleen yhtä runsasta välillä $40-50^{\circ}\text{C}$ (korkeammista lämpötiloista ei saatu riittävästi kokemuksia) ja voimakkainta lämpötilan nousuvaiheessa vähentyen lämpötilan alkaessa laskea. Ohut lanta tai vedellä laimennettu lanta vaahtoa runsaammin kuin paksu lanta. Vaahtomäärä vaihtelee $40-500\text{ kg/m}^3$ välillä ollen yleensä alle 50 kg/m^3 . Vaahtomäärään vaikuttaa ennen kaikkea käytetty vaahtohävitämismenetelmä.

Kompostoinnissa syntyvä lantavaahto on hyvin pysyvää. Ympäristössä se säilyy viikkoja lähes muuttumattomana, ellei voimakas sade hävitä sitä. Säiliössä lantavaahto vie moninkertaisen tilan lantaan verrattuna. Lantavaahdon pinta kuivuu nopeasti, sisus hyvin hitaasti. Vaahdon hävittämiseksi on kokeiltu erilaisia menetelmiä. Koska vaahdon määrään ja laatuun vaikuttaa ilmastintyyppi, olisi tiedettävä olosuhteet, joissa kutakin menetelmää on kokeiltu, jotta voitaisiin olla varmoja sen tehokkuudesta.

3.4.2 Vaahdonestoaineet

Vihdissä tehdyssä tutkimuksessa kokeiltiin yli kymmentä erityyppistä vaahdonestoainetta. Vaahdonestoaineen vaahdonmuodostusta ehkäisevä vaikutus perustuu sen ainesosien kykyyn pienentää pintajännitystä. Kokeiluissa löydettiin kolme ainetta, joilla oli selvästi havaittava vaikutus vaahtoamiseen. Näistä yksi oli selvästi toisia tehokkaampi annostelumäärän, -välin ja vaikutus nopeuden perusteella. Sen kokeilua jatkettiin noin puolen vuoden ajan.

Kokeiluissa todettiin, että pitempään käytettäessä ja korkeissa lämpötiloissa annostusta oli vähitellen lisätävä. Vaahto muuttui hyvin pienikuplaiseksi ja juoksevaksi ja sen tiheys kasvoi arvoon 500 kg/m^3 . Tällaisen vaahdon pitäminen säiliössä vaati loppuvaiheessa yli 5 l vaahdonestoainetta vuorokaudessa, kun annostus alkuvaiheessa oli alle 100 ml/vrk.

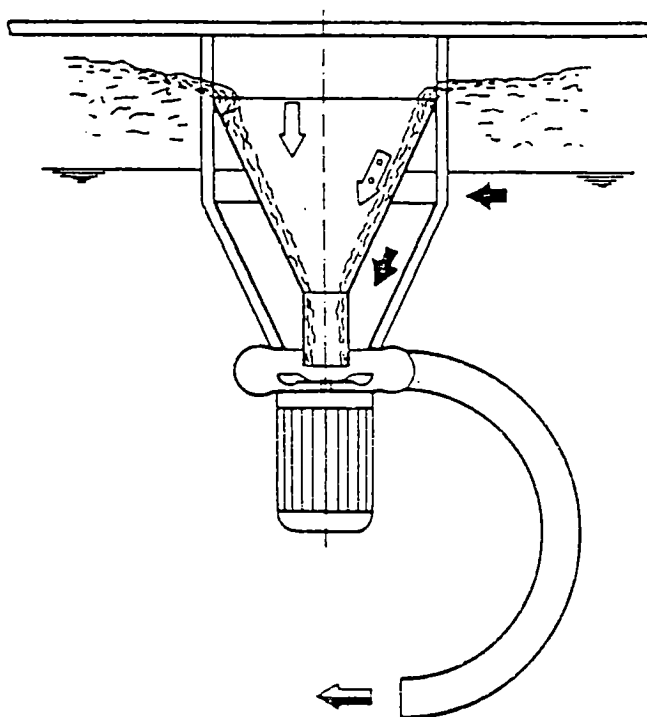
Mikäli vaahdonestoaineita tilapäisesti käytetään, niiden on oltava elintarviketeollisuudessa yleisesti käytettyjä tyyppisiä tai muuten myrkyttömiksi todettuja. Kompostoitumisprosessiin ei millään kokeilluista vaahdonestoaineista todettu olevan vaikutusta.

3.4.3 Mekaaniset vaahdonhävittimet

Vaahdon palauttaminen nesteeksi imulla

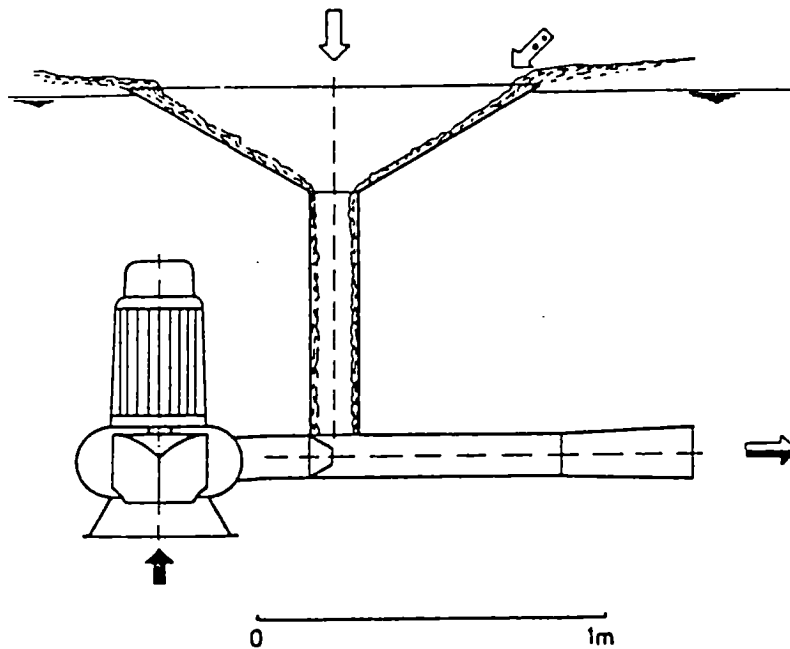
Itseimevissä upotettavissa pohja- tai väli-ilmastimissa voidaan vaahto imeä samaa tietä kuin ilma ja sekoittaa se nesteeseen, jolloin vaahdon hävittäminen itse asiassa perustuu ilman kierrätykseen. Ilmastin imee sitä vähemmän ilmaa mitä enemmän vaahtoa sillä on imettävänä. Koska vain osa ilmasta jää vaahtokupliin, takaa se riittävän kaasuvaihdon. Vaahdon hävittäminen tällä tavalla alentaa ilmastimen tehokkuutta (OC-arvoa), vaikka hapen hyväksikäyttöaste suurenee. Samalla poistoilmahäviöt pienenevät.

Kuvassa 43 on eräs sovellutus vaahdon nesteeseen palautusmenetelmästä. Lisää esimerkkejä on luvussa 2, Ilmastimet. Vaahdon kulkua voidaan ejektorii-ilmastuksessa edistää kartiolla. On kuitenkin otettava huomioon, että vaahdon ominaisuudet: juoksevuus ja valumiskulma saattavat vaihdella, joten kartiosta ei saa tehdä liian loivaa, kuten kuvassa 44.



Kuva 43.

Vaahdon hävittäminen itseimevällä ilmastimella

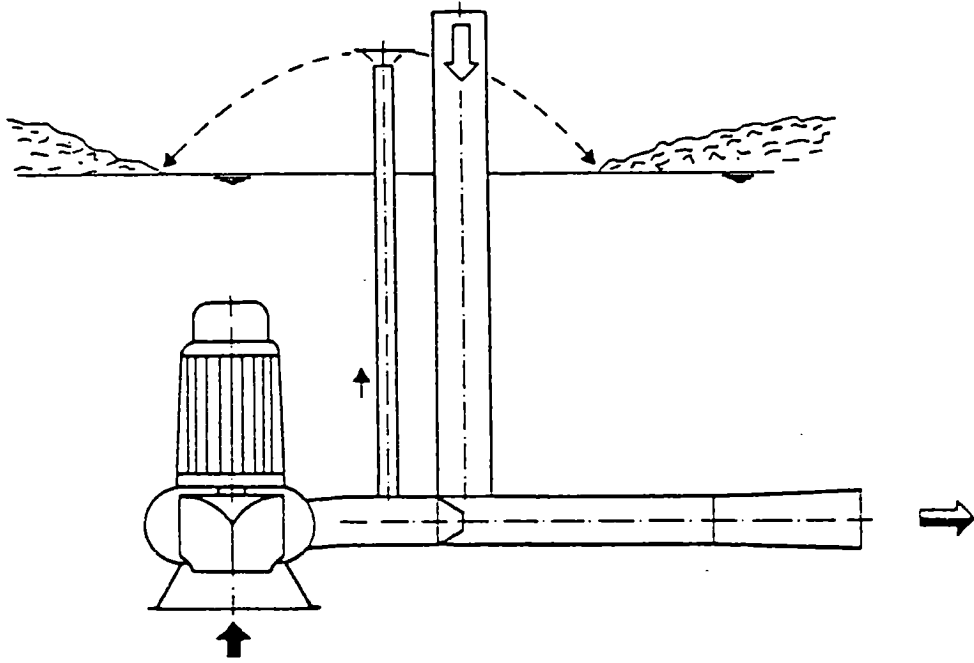


Kuva 44. Ejektori-ilmastajaan tehty vaahdon kulkua edistävä kartio /Baa 78/.

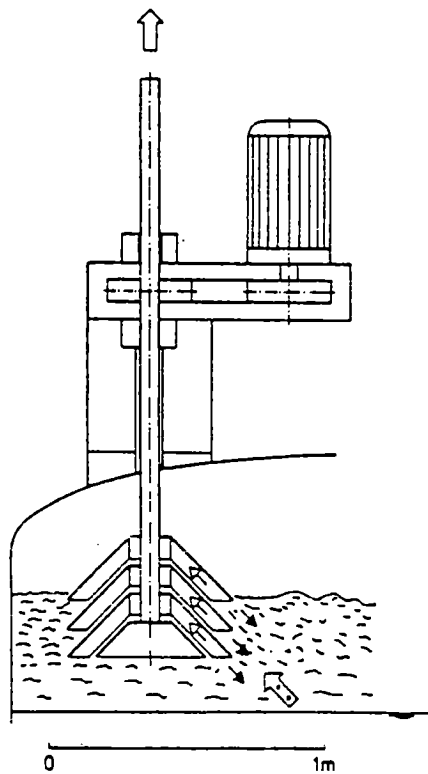
Ejektori-ilmastin pitää vaahdon pinnan kurissa, jos se on säiliön ainoa ilmastin. Vihdissä suoritetussa kokeilussa ejektorin ilmamäärä putosi kuitenkin lähes puoleen, kun se joutui imemään vaahtoa jatkuvassa käytössä. Maatalousteknologian tutkimuslaitoksella tehdyn ejektorin ilmamäärä oli jatkuvassa käytössä noin $20 \text{ m}^3/\text{h}$. Jos ilmamäärä putoaa puoleen niin teoriassakin on mahdollista päästä vain lämpökertoimeen 2 tuotetun kompostilämmön suhteen.

Vaahtokuplien mekaaninen rikkominen

Vahto voidaan hävittää mekaanisesti myös rikkomalla kuplat niin sanotulla vaahtoveitsellä, kuva 11, nestesuihkun pisaroiden avulla, kuva 45, kitkan ja keskipakoisvoiman vaikutuksesta, kuva 46.

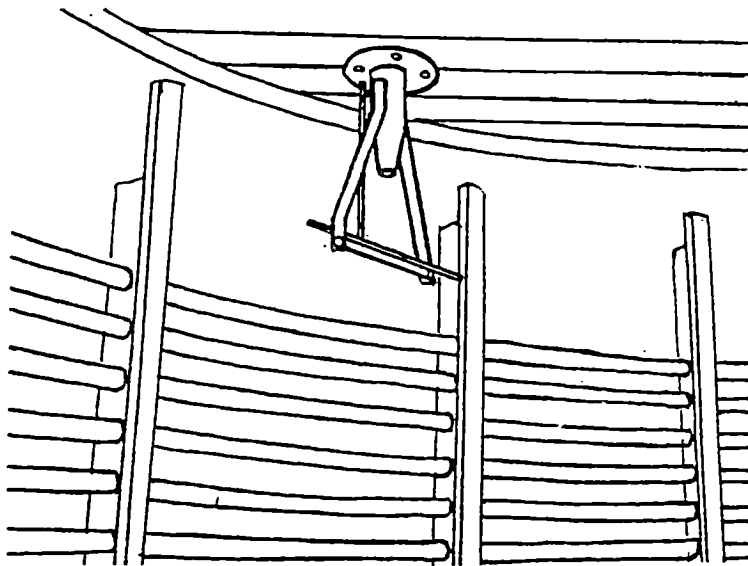


Kuva 45. Vaahdon hävittäminen lantasuihkun avulla /Baa 78/.

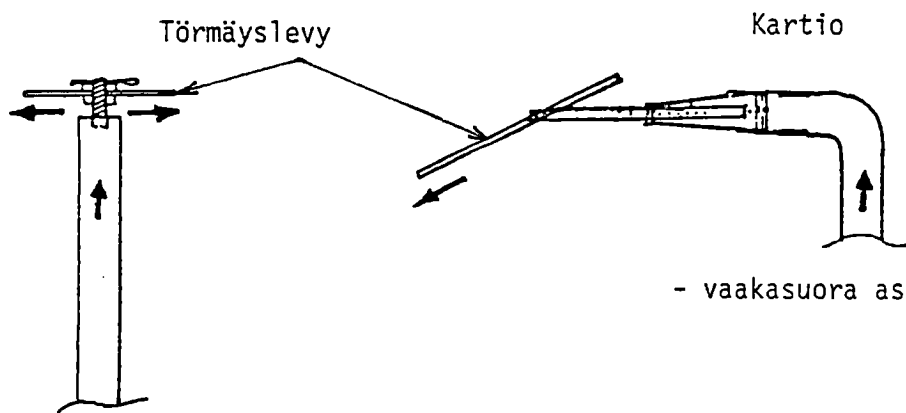


Kuva 46. Kitkaan ja keskipakoisvoimaan perustuva vaahdonhävittäjä /Baa 78/.

Kuvan 45 periaatetta kokeiltiin Vihdissä useilla eri tavoilla. Sekoituspumpuna toimivan lietepumpun lantasuihku ohjattiin vaahdon päälle ylimääräisellä putkella. Putken toiseen päähän asennettiin törmäyslevy, joka levitti lantasuihkun laajalle alalle vaahdon päälle. Suihkun vaikutusta yritettiin tehostaa myös putken päässä olevalla kartiolla. Kuvassa 47 on esitetty eri versioita kokeilluista tavoista.



- vaahdon hävittämiseksi tehty kartio ja törmäyslevy säiliön kattoon asennettuna

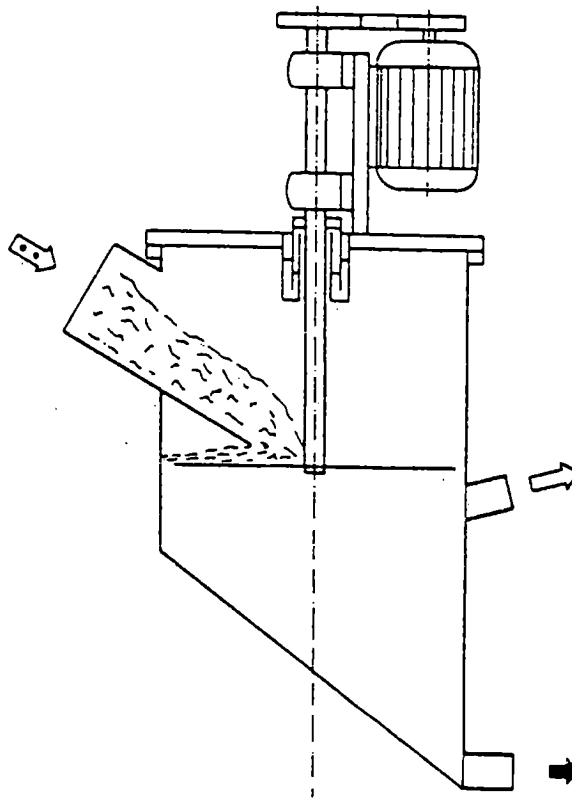


- pystysuora asennus

- vaakasuora asennus

Kuva 47. Vaahdon hävittäminen lantasuihkun ja törmäyslevyn avulla

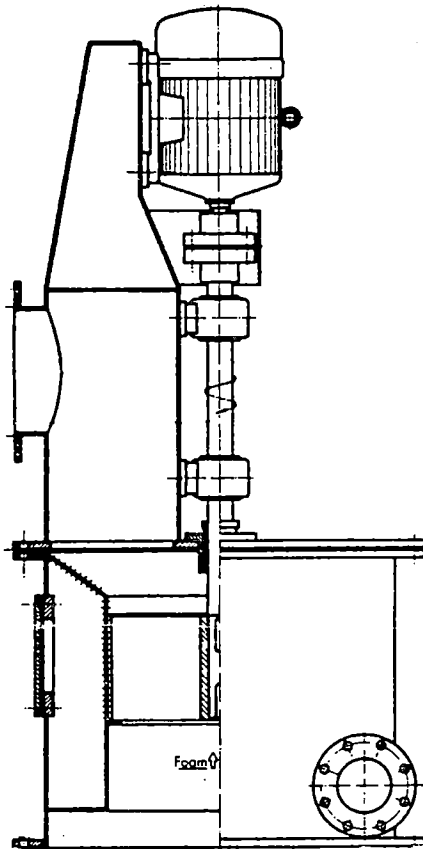
Samalla kun sekoituspumppu toimi sekoittimena se hävitti vaahtoa. Menetelmä toimi aluksi hyvin, mutta noin kuukauden kokeilun jälkeen todettiin, ettei sen teho ollut riittävä, jotta ilmastus olisi voitu pitää jatkuvasti päällä. Vaahdon tiheys kasvoi, kun kuplakoko pieneni. Lopulta vaahto tulvi yli eli kokeilussa kävi samoin kuin vaahdon estoaineiden kanssa. Vaahdonhävitin kulutti aluksi keskimäärin 1 kW sähkötehoa, kokeilun lopussa sähkönkulutus oli yli nelinkertainen.



Kuva 48. Pyörivä levyvaahdonhävitin / Baa 78/.

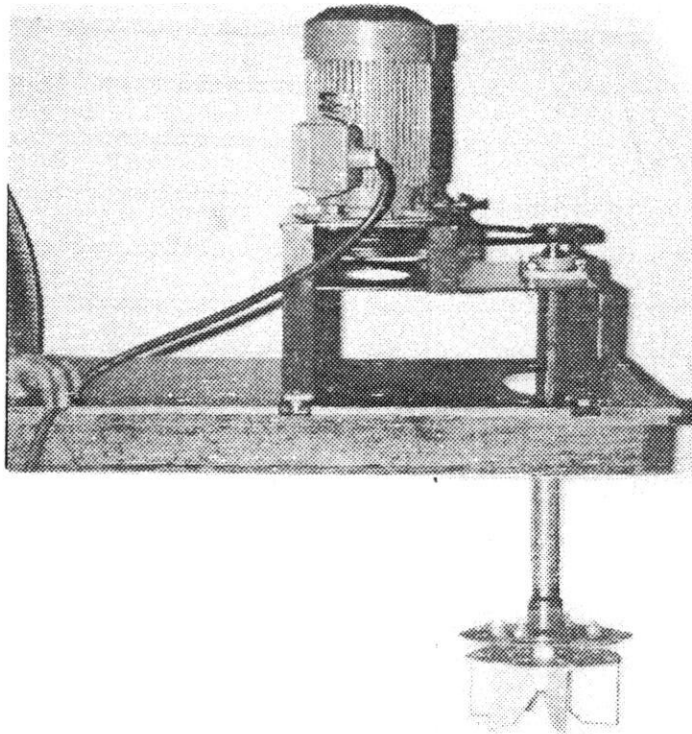
Kuvan 48 vaahdonhävitintä on kokeiltu Saksan Liittotasavallassa. Periaate on hyvin yksinkertainen; vaahto valuu noin 1000 kierrosta minuutissa pyörivän levyn päälle ja paiskautuu keskipakoisvoiman vaikutuksesta vaahdonhävittimen vaippaan. Paine- ja kitkavoimien vaikutuksesta vaahtokuplat rikkoutuvat. Sikäläisten kokemusten mukaan laite toimii hyvin kaikenlaisessa vaahdossa.

Vaahdonhävittimen valintaan vaikuttaa eniten ilmastin ja ilmamäärä. Sitä varten olisi tiedettävä olosuhteet, joissa vaahdon hävitin toimii. Hinnan ohella yksinkertainen rakenne, huollettavuus ja ennen kaikkea energiankulutus ovat tärkeitä tekijöitä.



Kuva 49. Kotimainen vaahdonhävitin, Rauma-Repola

Kuvan 49 vaahdonhävittintä käytetään muun muassa selluloosateollisuudessa. Sen toimintaperiaate on lähes sama kuin kuvassa 48. Pienimmät, 10 kW moottoreilla varustetut, mallit ovat kuitenkin liian suuria käytettäväksi lietalannan kompostoinnissa syntyvän vaahdon hävittämiseen.



Kuva 50. Koevaahdonhävitin

Maatalousteknologian tutkimuslaitoksella kehitettiin kuvan 50 mukainen vaahdonhävitin, joka on teholtaan osoittautunut riittäväksi sekä Vihdissä että Pukkilassa. Vaahdonhävittäjänä toimii keskipakoispuhaltimen siipi, joka pyöriessään imee vaahtoa alhaalta ja rikkoo kuplat heittäen nesteytyneen lannan ympäri säiliötä. Vaahdonhävittimen keskimääräinen sähkönkulutus on ollut 600 W.

3.5 Sekoitus

Sekoituksella on eri tutkijoiden mukaan kompostoitumista edistävä vaikutus. Paksujen nesteiden sekoittaminen on ongelmallista lähinnä siksi, että tyydyttävän sekoituksen aikaansaamiseksi joudutaan käyttämään runsaasti energiaa ja itse sekoituslaitteen on oltava teholtaan suurehko. Sekoittaminen tulee siksi helposti kalliiksi sekä investointi- että käyttökustannuksiltaan.

Sekoituksen suoranaista vaikutusta kompostoitumiseen on vaikea tutkia, koska kompostoitumisen lopputulos riippuu monista tekijöistä. Lietelantaa kompostoitaessa ongelmana on usein lietteen paksuuntuminen säiliön pohjalle, jos riittävää sekoitusta ei ole tai asiaa ei ole muulla tavoin ratkaistu. Sekoitus parantaa kompostoitumisedellytyksiä tuomalla pohjalle laskeutunutta paksumpaa lantaa ilmastusvyöhykkeeseen, jonka ulkopuolelle pohjakerros helposti jää, sekä tehostamalla hapen liukenemistä. Sekoituksen aikana nesteiden ja kaasukuplien välinen rajapinta uudistuu tehokkaasti, mikä parantaa hapen liukenemistä. Lisäksi kaasukuplien kontaktiaika pitenee niiden joutuesssa kulkemaan nestevirtauksen mukana muuhunkin suuntaan kuin ylöspäin. Täydellistä sekoitusta, jossa lanta olisi täysin homogeenista, ei saada aikaan kuin suotuisissa olosuhteissa, jossa säiliön muoto on lähellä optimaalista ja laitteen sekoitusteho riittävä. Tällöinkin täydellinen sekoitustila on vain ajoittaista, koska suuren tehontarpeen takia sekoitus ei voi olla jatkuvaa ja liettelanta kerrostuu nopeasti. Ilmastimet sekoittavat (itsestään) myös lantaa. Tapauksissa, joissa ilmastimen sekoitusteho on vähäinen, kuten paineilma- ja pintailma- ilmastimissa, on joko hankittava erillinen sekoitin tai huolehdittava muulla tavoin siitä, ettei lanta paksuunnu ja kerrostu liiaksi pohjalle.

Vihdin tapauksessa, jossa ilmastimina ovat paineilma- ilmastimet, käytettiin liettelantapumppua sekoittamiseen. Noin kuukauden pituisen koejakson aikana sekoituksella ei todettu kuitenkaan olevan selvää vaikutusta kompostoitumiseen. Koejakson aikana säiliötä sekoitettiin 5,5 kW lantapumpulla kolmen tunnin välein 15 min kerrallaan. Keskimääräinen sekoitusteho oli 400 W. Koska sekoitus ei ole tällä koesäiliöllä välttämätöntä mistään syystä, siitä luovuttiin. Laskeutumisen takia ilmastimia on nostettu pohjasta. Koska säiliön tyhjennys tapahtuu lietepumpulla, ei pitkäaikaisessakaan käytössä ole ilmennyt vaikeuksia säiliön ilmastamisessa ja tyhjentämisessä. Tyhjentäminen

voidaan tehdä myös ilman lietepumppua säiliön pohjalta. Pohjalla oleva sakea kerros muuttuu kompostoitumisen aikana toisenlaiseksi kuin tuoreessa lannassa. Sitä voidaan pumpata vaikeuksitta, jos kompostoituminen on ollut riittävää. Tuoreen lannan pohjakerros on voimaista tai savimaista, kompostoidussa lannassa kerros on irtonaista ja höytymäistä.

Vihdin kokeissa käytettiin minimi-ilmamäärään verrattuna yli nelinkertaista ilmamäärää.

Jos saatuja tuloksia verrataan laboratorioissa tehtyihin teoreettisluonteisiin tutkimuksiin, voidaan karkeasti todeta, että kehittynyt bruttolämpö oli 90 % maksimista. Mikäli sekoituksella saadaan puuttuvat 10% lämmöstä, se ei vielä tee sekoitusta taloudelliseksi.

Jos sekoitus parantaa tuntuvasti hapen hyväksikäyttöastetta, pienenevät poistoilmahäviöt ja sekoituksen merkitys kasvaa huomattavasti.

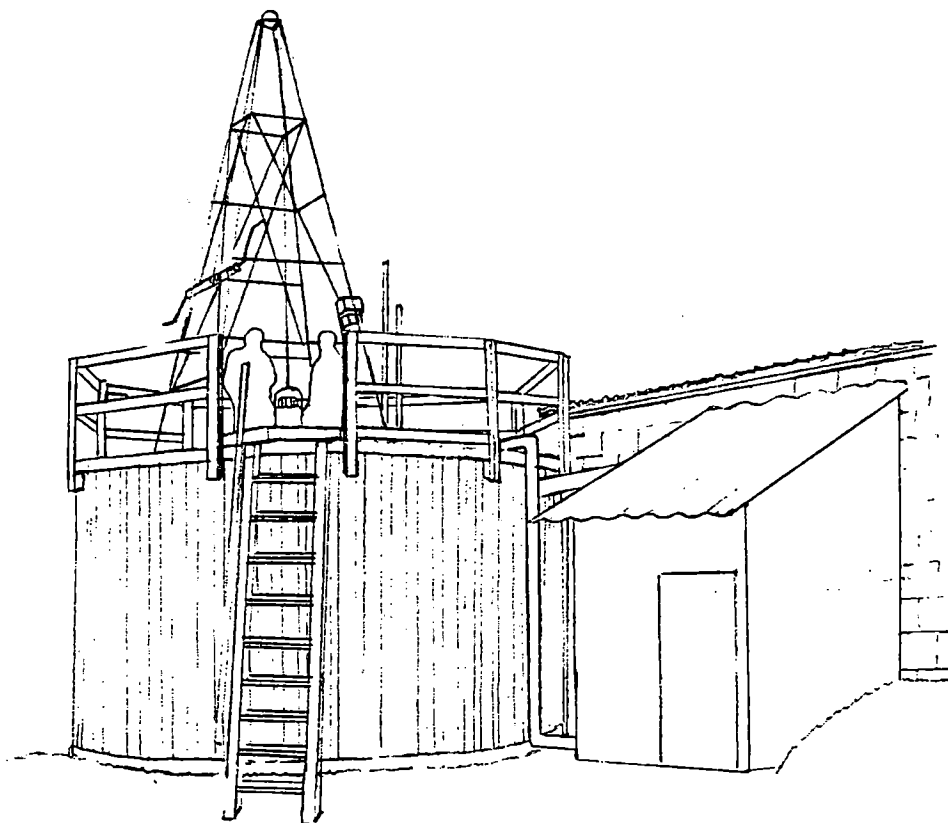
3.6 Mittaustavat

3.6.1 Koelaitteisto

Seuraavassa esityksessä tiedot perustuvat pääosin mv. Mäenpään sikalassa tehtyihin mittauksiin. Pitkäaikaiset mittaukset voitiin tehdä vasta viimeisen puolen vuoden aikana, sillä laitteistoa kehitettiin koko alkuosan tutkimusta. Pahimpana ongelmana oli vaahtoaminen, joka opittiin hallitsemaan tyydyttävästi vasta puolentoista vuoden käytön jälkeen. Oman hankaluutensa mittausten ja laitteiden osalta aiheutti lietelanta, joka tutkimuskohteena on hankala materiaali. Esimerkiksi lietelantamäärien luotettava mittaaminen tuotti päänsärkyä, koska kompostisäiliössä olevalla lannalla ei ole varsinaista pintaa käsittelyn aikana. Näytteiden ottoon oli kiinnitettävä aivan erityistä huomiota lietelannan epähomogeenisuuden takia.

Kompostointilaitteisto, Vihti

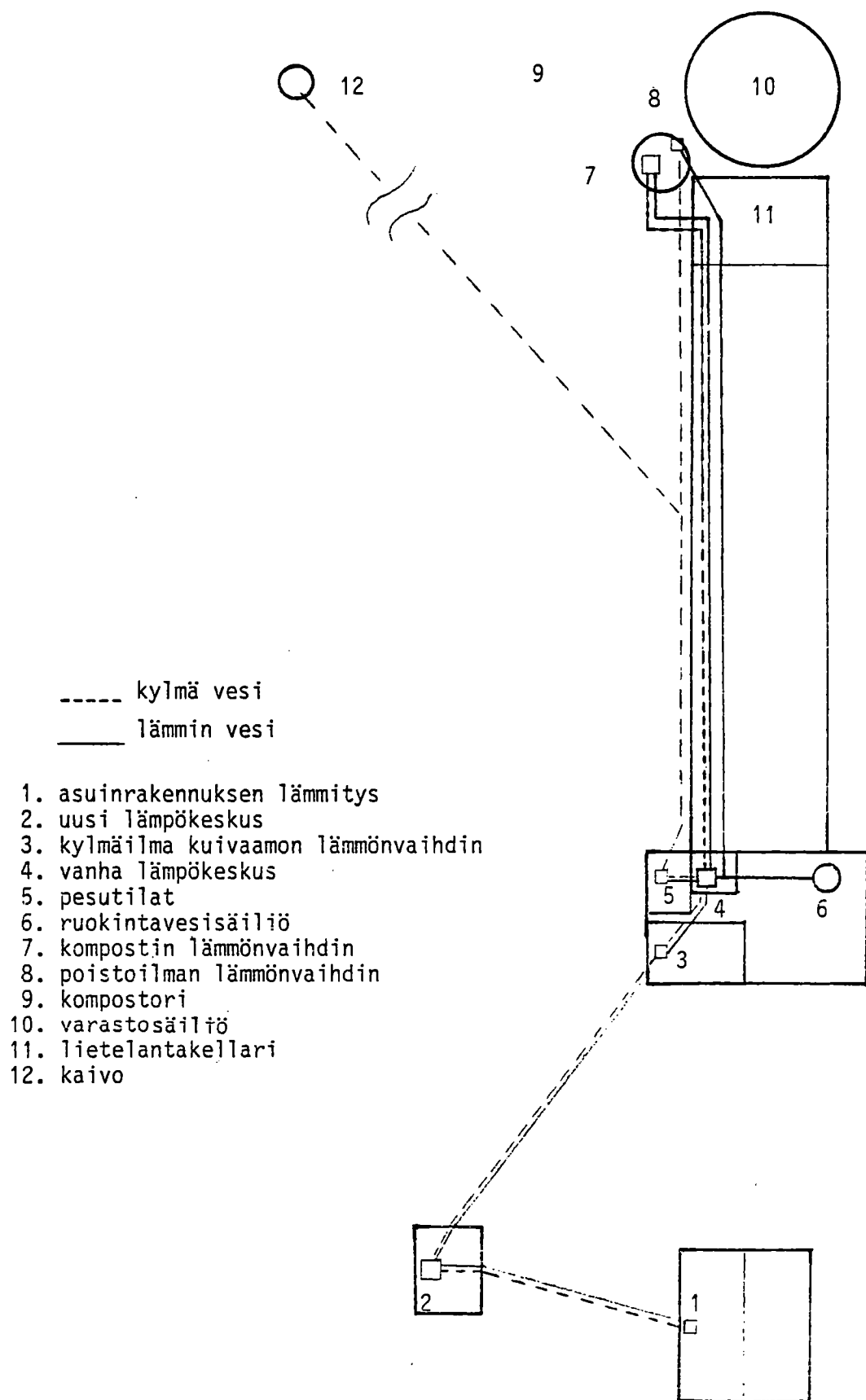
Kokeet tehtiin mv. Mäenpään kompostointisäiliössä Vihtisä, kuva 51.



Kuva 51. Mäenpään säiliö, ulkokuva

Säiliö on bruttotilavuudeltaan 50 m^3 ja siinä voidaan kerrallaan käsitellä 35 m^3 lietelantaa. Säiliön halkaisija on 4,5 m ja sisäkorkeus 2,9 m. Lietepinnan korkeus on 2,2 m säiliön ollessa täysi.

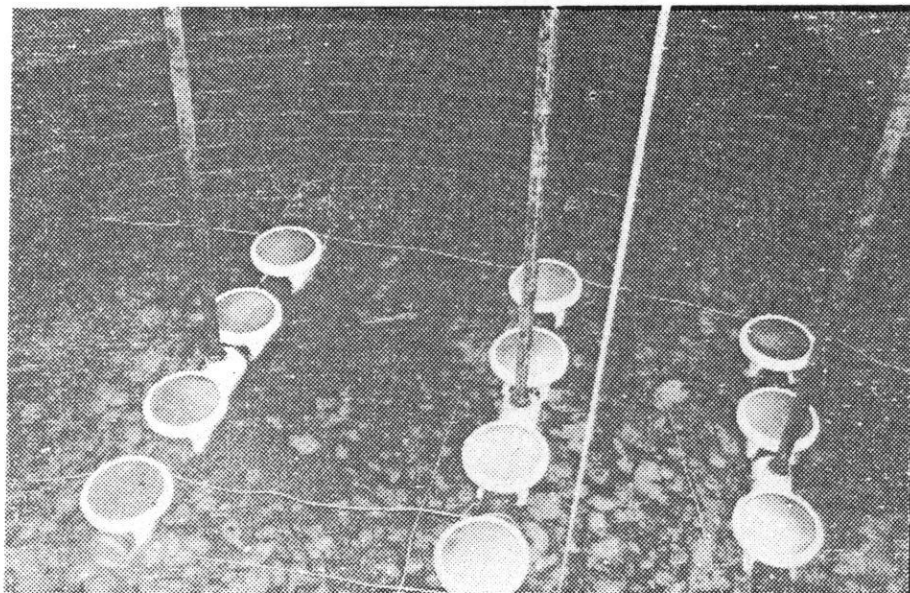
Kuvasta 52 ilmenee säiliön, lämmönsiirtoputkiston ja laitteiden sijainti sikalan tuotantorakennukseen ja tilan omiin lämpökeskuksiin nähden.



Kuva 52.

Kompostointilaitteiston ja lämmitysjärjestelmien sijainti, mv. Mäenpää Vihti

Kompostointilaitteisiin kuuluvat Nokian lautasilmastimet, paineilmaputkisto ja kompressori (Rootin puhallin), vaahdonhävitin, pintakytkin, lantapumppu nostotelineineen sekoitusta ja tyhjennystä varten sekä lämmönvaihtimet. Säiliöstä lämpö siirretään vesikierukan ja sikalan läpi kulkevan siirtoputkiston avulla käyttökohteisiin. Ruokintavesi tulee suoraan kaivosta ja kulkee poistoilman lämmönvaihtimen kautta lämmentyneenä ruokintavesisäiliöön. Kuvassa 53 nähdään kompostisäiliön sisällä olevat lautasilmastimet asennettuna.



Kuva 53.

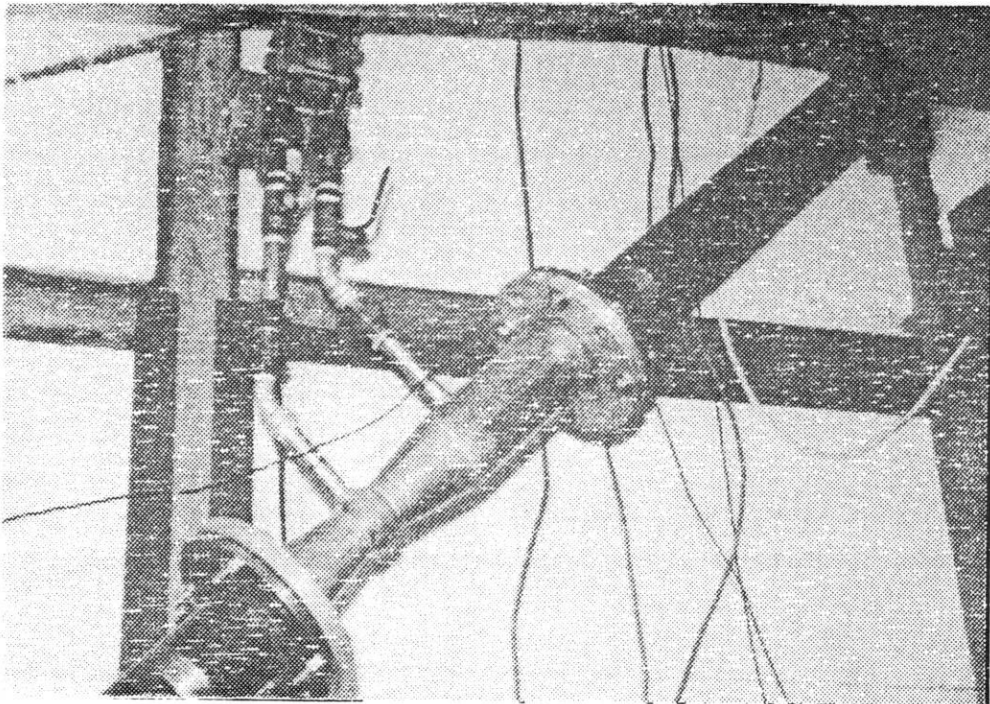
Lautasilmastimet käyttövalmiina

3.6.2 Lämpötilamittaukset

Lämpötiloja seurattiin Honeywell Versaprint-piirturilla ja tilapäisesti liuenneen hapen mittaukseen (YSI) tarkoitettuna anturin lämpötilaelementillä. Säiliön lämpötilan lisäksi mitattiin ulkoilman ja säiliöön menevän ja poistuvan ilman lämpötila, säiliöstä lähtevän ja palaavan veden lämpötila sekä tulevan lannan lämpötila pistokokein näytteestä.

Säiliössä oli vain yksi termoelementti säiliön lämpötilan mittaamiseksi noin metrin korkeudella pohjasta ja metrin päässä säiliön seinästä. Termoelementin korkeutta muuttamalla seurattiin lämpötilakerrostuneisuutta aika ajoin. Säiliön pinnan ja pohjan lämpötilaero oli niin pieni, ettei useampia termoelementtejä katsottu tarpeelliseksi, kun elementin korkeudeksi asetettiin yksi metri pohjasta.

3.6.3 Ilmamäärän mittaus



Kuva 54. Mittalaitteistoa; Venturiputki

Ilmamäärää seurattiin venturi-putkimittauksella.

Venturin paine-ero muutettiin sähköiseksi viestiksi, joka luettiin jännitepiirturilta. Ilmamäärän mittauksen luotettavuutta seurattiin mittaamalla ilmamäärä kahdella eri termoanemometrillä ja mittaamalla Venturi-putken paine-ero uimurimanometrillä.

3.6.4 Lietelannan määrän mittaus

Lietelannan määrän mittaamiseksi tai oikeammin arvioimiseksi oli käytettävä useampia menetelmiä, koska mikään niistä ei ollut yksinään riittävän luotettava.

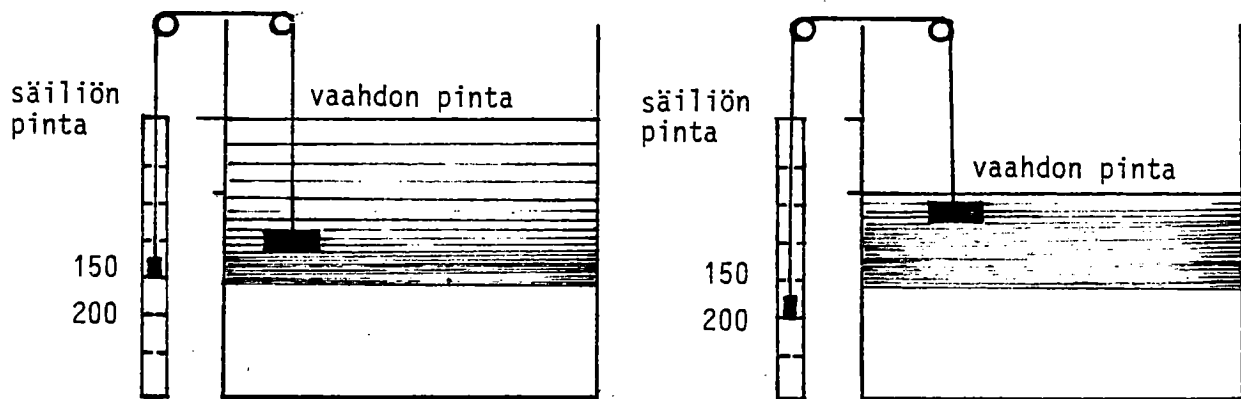
Seuraavia menetelmiä käytettiin:

- kohomittaus
- pumppausaikaan perustuva arviointi
- lämpötiloihin perustuva arviointi
- näytteenottoon perustuva arviointi
- vastapaineeseen perustuva arviointi

Lietepinnan mittaaminen koholla onnistuu käynnistysvaiheessa ja kompostoinnin alkupäivinä, mutta se muuttuu vähitellen epäluotettavaksi, sillä lantavaahdon tiheys kasvaa ja säiliössä ei lopulta ole selvää pintaa. Esimerkkinä on kuvan 55 tilanne eräästä käyttötilanteesta, jossa käytettiin kohoa, jonka tiheys oli $0,5 \text{ kg/dm}^3$.

Koho, jonka tiheys oli $0,5$ lähti vaahdon mukana kellumaan. Lopulta jouduttiin käyttämään kohoa, jonka tiheys oli $0,85$. Tällöin kävi kuitenkin niin, että koho vajosi liian syvälle, jos sen päälle kerrostui kiintoainetta. Kohon käytöstä luovuttiin myöhemmin kokonaan. Lietepumpun tuottoa seuraamalla silloin kun säiliön pinta voitiin luotettavasti mitata saatiin tuntuma pumpun tuotosta. Tällöin

todettiin, että pumpun tuotto oli 0,9-1,1 m³/min. Vain hyvin harvoin pumppausmäärät jäivät tämän alle. Koska tällaisiakin tilanteita sattui, eikä niitä voinut aina ennakoita tietää, tarvittiin lisää vertailumentelmiä. Yksi tällainen saatiin rakentamalla säiliön viereen U-putki-manometri, joka täytettiin vesi-pakkasnesteseoksella. Manometrissa nestepinnan 10 cm nousu vastasi 1,6 m³ lisäystä säiliön lietelantamäärässä.



- tilanne ennen vaahdon hävittimen käyntiä

- tilanne vaahdon hävittimen käynnin jälkeen

Kuva 55. Kohon käyttäytyminen pintamittauksessa vaahdon estolaitteen käynnin mukaan

Käyttökatkosten takia, joita joskus sattui tyhjennyksen ja täytön aikana ja siksi, että vastapaine muuttui myös muista syistä kuin nestepinnan vaihtelujen takia, alettiin säiliön pinta määrittää näytteenoton avulla. Säiliöstä otettiin putkella näyte, joka punnittiin. Säiliön ainemäärä saatiin kertomalla näytteen massa säiliön poikkipinnan ja putken poikkipinnan suhteella. Säiliön pinta saatiin lannan tiheyden avulla, joka määritettiin näytteestä. Lietelannan tiheys vaihteli välillä 1,01-1,04 kg/dm³.

Säiliön lämpötilan muutosta tyhjennyksen ja täytön jälkeen voitaisiin käyttää hyväksi lisäysmäärää laskettaessa, mikäli säiliö saataisiin nopeasti sekoitetuksi täytön jälkeen. Menetelmä edellyttää myös tarkkaa lämpötilojen mittaamista.

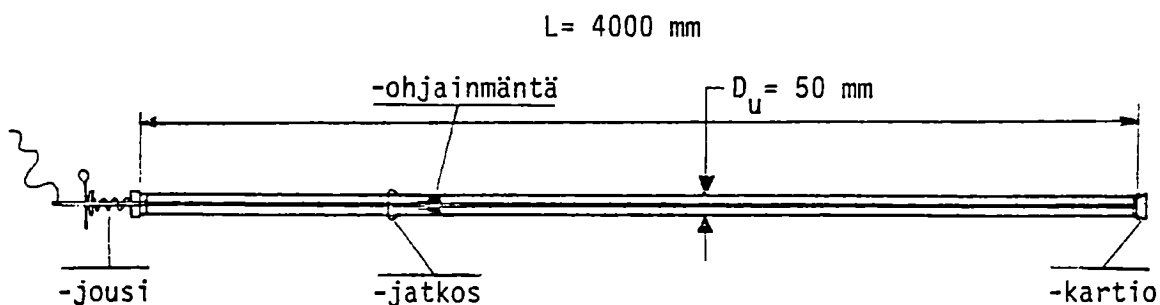
3.6.5 Energiamittaukset

Laitteiston kokonaissähköenergian kulutus mitattiin kilowattituntimittarilla ja yksittäisten laitteiden verkosta ottamia sähkötehoja seurattiin sekuntikelloilla ja kilowattituntimittarilla. Laitteiden käyntiaikaa seurattiin aika-releillä ja -kelloilla.

Säiliöstä vesikierukalla talteenotettu lämpömäärä kirjattiin vuorokauden välein kalorimetristä. Poistoilman lämmönvaihtimella talteensaatu lämpömäärä laskettiin piirturista kiertoveden lämpötilojen ja vesimittarin lukeman avulla. Kompressorin tuottoa ja energiankulutusta eri vastapaineilla seurattiin päivittäin.

3.7 Lietelantanäytteet ja -analyysit

Näytteiden ottamiseksi säiliöstä tehtiin näytteenotin, kuva 56, jolla saatiin lannasta koko lantakerroksen paksuinen näyte.



Kuva 56. Näytteiden ottoa varten tehty näytteenotin

Näyte otettiin 1-3 kertaa viikossa tarpeen mukaan. Näytteistä tehtiin maatalousteknologian tutkimuslaitoksella liitteen 1 mukaisia määrittämiä tarpeen ja resurssien mukaan. Kemiallista hapen kulutusta seurattiin määrittämällä KMnO_4 -kulutus happamassa liuoksessa. KHK-määritykset tehtiin vain kokeilumielessä ja seurannan vuoksi. Näytteitä laimennettiin 1:2000...3000 ennen määrittysten tekoa. Tehdyt KHK-määritykset eivät ole luotettavia ja niiden suorittamisella pyrittiin vain seuraamaan kompostoitumisessa tapahtuvia muutoksia ja selvittämään ko. menetelmän luotettavuutta. Muut kuin liitteessä 1 tehdyt analyysit lannasta tehtiin Viljavuuspalvelussa ja Maanviljelyskemian ja fysiikan laitoksella Jokioisissa. Tulevasta lannasta näyte otettiin lietepumpun painepuolelta täytön alku-, keski- ja loppuvaiheessa noin 10 vuorokauden ajanjaksoina 80 l astiaan, josta otettiin kokeen päättyessä keskimääräinen näyte.

Liuenneen hapen mittaukset YSI-58-(liuenneen hapen) mittarilla eivät onnistuneet lietelannassa riittävän luotettavasti. Mittausten mukaan hapen konsentraatio vaihteli käynnistyksessä lämpötilan ollessa alle 30 °C 1...3 mg/l ja kompostoinnin aikana alle 0,2 mg/l, yleensä se oli alle 0,1 mg/l.

3.8 Lämmöntalteenottokokeet

3.8.1 Vihdin tulokset

Pitkäaikaiset mittaukset tehtiin kahtena ajanjaksona 16.1.-29.3.1985 ja 3.4.-12.5.1985. Lämpötiloja, lämmöntalteenottoa ja sähkönkulutusta esittävät kuvat koejaksoilta ovat liitteessä 2.

Lukuunottamatta kahta laiterikkoutumisesta aiheutunutta käyttökeskeytystä kokeen 1 aikana, voitiin kokeet suorittaa yhtäjaksoisesti. Lämmön talteenottokokeiden päätulokset ovat alla olevassa taulukossa 9.

Taulukko 9. Lämmöntalteenottokokeiden tulokset

| Aika | | 16.1.-29.3 | 3.4.-12.5 | 16.1.-12.5 |
|-------------------------------|--------------------|------------|-----------|------------|
| Koejakso | | 1 | 2 | 1+2 |
| Lämmön talteenotto | kWh | 14360 | 8260 | 22620 |
| Lämpötehot: PEL-putki | kW | 6,8 | 7,3 | 7,0 |
| poistoilma | kW | 2,0 | 2,0 | 2,0 |
| yht. | kW | 8,8 | 9,3 | 9,0 |
| Sähkön kulutus | kWh | 3280 | 1510 | 5000 |
| Sähköteho | kW | 2,0 | 1,7 | 2,0 |
| Lämpökerroin | - | 4,3 | 5,4 | 4,5 |
| Ulkolämpötila | °C | -9,9 | 1,7 | -5,8 |
| Säiliön lämpötila | °C | 39,2 | 43,1 | 40,6 |
| Lähtevän veden lämpötila | °C | 38,1 | 41,4 | 39,3 |
| Palaavan veden lämpötila | °C | 27,9 | 30,6 | 28,8 |
| Keskimääräinen lisäys/vrk | m ³ | 2,30 | 2,66 | 2,43 |
| Keskimääräinen käsittelymäärä | m ³ | 28,7 | 24,8 | 27,3 |
| Viipymä | vrk | 12,5 | 9,3 | 11,2 |
| Kiintoainepitoisuus | % | 9 | 8,9 | 9,0 |
| Ilmamäärä | m ³ /h | 105 | 90 | 100 |
| Nettolämpömäärä | kWh/m ³ | 92 | 84 | 89 |

Koetulosten arviointi

Saavutetut arvot ovat keskimääräisiä arvoja jättämättä mitään koejaksoa pois. Näin olisi voitu tehdä, sillä kokeiden aikana ei pyritty mahdollisimman hyvään tulokseen, vaan selvitettiin myös eri tekijöiden vaikutusta kompositointiin. Kokeen yhteispituus oli 3,5 kk eli 105 vrk.

Tänä aikana lämpöä saatiin talteen 17 630 kWh säiliön vesikierukalla ja 5480 kWh olisi saatu talteen poistoilmasta, jonka lämmöstä vain osa hyödynnettiin. Kokonaislämmönkehitys oli 46000 kWh ja siitä hyödynnettiin 50%.

Sähkön kokonaiskulutus käynnistykset mukaan laskien oli 5002 kWh. Lämpökerroin on siten 4,5. Pelkällä vesikierukalla saavutettiin lämpökertoimeksi 3,5. Keskimääräiset lämpötehot olivat 7 kW vesikierukalla ja 2 kW poistoilman lämmönvaihtimella. Säiliöstä saatavan lämpimän veden keskimääräinen lämpötila jäi alle 40 °C:en. Jotta lämpöä voitaisiin paremmin hyödyntää, pitäisi lämpötilatasoa voida nostaa. Tähän onkin edellytyksiä, sillä talteensaatu lämpöenergia oli vain puolet kehittyneestä lämmöstä, joka on laskettu lisäämällä nettolämpötehoon häviöt. Bruttoteho myös laskettiin lantamäärän perusteella. Alla olevasta tietokoneleistauksesta käy ilmi, että keskimääräinen bruttolämpöteho on ollut 18 kW. Laskennassa on sovellettu Evansin /Ev 82/ koetuloksia bruttolämpötehon laskemiseksi.

| | | | | | |
|------------------------------|---|-----------------------------|-------|--------------------------------|--------------------------------|
| KOMPOSTORIN LÄMPÖTILA, °C | 40.60 | 1 | | | |
| LISÄYS/VRK, m ³ | 2.43 | 2 | | | |
| LISÄYSTEN LUKUM./VRK | 1.00 | 3 | | | |
| LIETEMÄÄRÄ, m ³ | 27.35 | 4 | | | |
| LANNAN TULOLÄMPÖTILA, °C | 14.00 | 5 | | | |
| KIINTOAINEPITOISUUS, % | 9.00 | 6 | | | |
| ULKOLÄMPÖTILA, °C | -5.80 | 7 | | | |
| ILMAMÄÄRÄ, m ³ /h | 102.07 | 8 | | | |
| Volatile solids, % | 68.00 | 9 | | | |
| N/C-SUHDE | .15 | 10 | | | |
| k-ARVO, W/m ² °C | .60 | 11 | | | |
| ILMAN LÄMPÖTILA | -5.80 | 12 | | | |
| ILMAN KOSTEUS, % | 80.00 | 13 | | | |
| LIUKENEMISPROSENTTI, % | 21.50 | 14 | | | |
| SÄILIÖN HALKAISIJA, m | 4.50 | 15 | | | |
| SÄILIÖN KORKEUS, m | 2.72 | 16 | | | |
| KÄSITTELYAIKA, vrk | 11.26 | 17 | | | |
| LIUKENEMISPROSENTTI, % | 21.50 | | | | |
| Brutto, kWh/m ³ | 177.78 | Eristys, kWh/m ³ | 19.32 | Lämpäminen, kWh/m ³ | Poistoilma, kWh/m ³ |
| | | | | 33.05 | 56.03 |
| Bruttoteho, kW | 18.00 | Eristyshäviö, kW | 1.96 | Lämpenemishäviö, kW | Poistoilmahäviö, kW |
| | | | | 3.35 | 5.67 |
| NETTO | 69.38kWh/m ³ | | | | |
| NETTO | 7.03kW | | | | |
| SÄILIÖN Min-LÄMPÖTILA | 39.36 | | | | |
| SÄILIÖN Max-LÄMPÖTILA | 41.84 | | | | |
| Hapen kulutus | .22kgO ₂ /h,netto-m ³ | | | | |
| Ilman tarve | 3.73m ³ /h,netto-m ³ | | | | |

Laitteistoa voidaan parantaa niin, että lämpöä kehittyisi 10% kokeessa saatua enemmän. Lämpötilatason nostaminen termofiiliselle alueelle, yli 45°C:een, edellyttää tulevan lannan lämmittämistä ja/tai ilmastuksen tehostamista. Hapen liukenemisprosentti oli kehittyneen lämmön mukaan laskien 21-22%.

Myös säiliön lämpötilan vaihtelut olivat melko suuria, varsinkin kokeessa 1, jossa matalin lämpötila oli noin 30°C. Tähän on vaikuttanut osaltaan riittävän käyttökokemuksen puute. Kokeessa 2 säiliön lämpötila on tasaisempi käyttökokemusten lisääntyttyä. Myöskin säiliön pieni koko aiheuttaa lämpötilavaihtelua lisäysten yhteydessä, mikäli tulevaa lantaa ei lämmitetä.

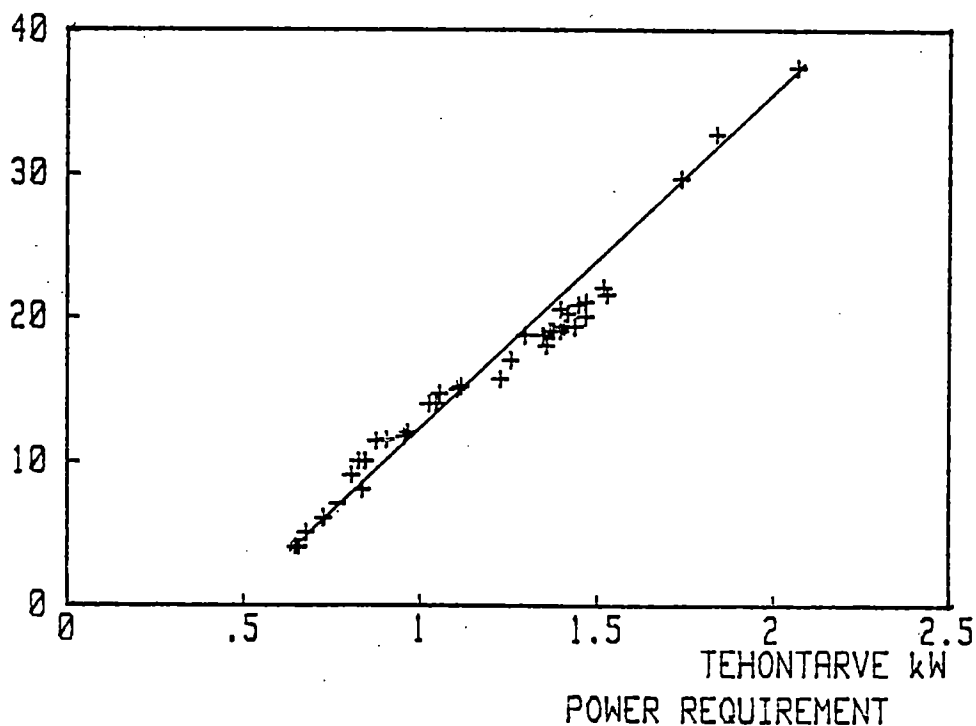
Säiliön eristyksen läpi menevä lämpöhäviöteho on mittaus-
ten mukaan 44 W/°C tai 0,60 W/m²°C. Suhteellisen huono eristysarvo johtunee siitä, että säiliö vaahtosu useamman kerran yli ja eristeisiin pääsi kosteutta. Lisäksi koesäiliön kansi on mittausantureiden läpivientien ja muutosasennusten takia reikäinen, joten haihtumishäviöt lisäävät eristyksen osalle mitattua lämpöhäviötä.

Paineilmalaitteisto on toiminut luotettavasti (lukuunottamatta sähkökatkoja) ja huollon tarve on ollut vähäinen. Itse ilmastimet ovat sen sijaan vaatineet huoltoa noin puolen vuoden välein. Koesäiliössä huolto on ollut vaikeaa, koska ilmastimet ovat kiinteät ja huolto on tehtävä säiliön sisällä. Käytännössä ilmastimien on oltava ylösnostettavia, sillä säiliöön ei saa mennä ilman raitisilmalaitteita ja nostoköyttä hengenvaarallisten kaasujen takia. Säiliön kannella on oltava turvana kaksi henkilöä.

Keskimääräinen kompressorin verkosta ottama sähköteho oli 1,3 kW. Ilmastimien optimiasennussyvyys ja optimi-ilmamäärä kehittyvään lämpöenergiaan nähden jäivät tutkimuksessa selvittämättä. Ilmastimen valmistajan antamien tietojen mukaan /Le 85/ 0C-arvo on suunnilleen vakio normaaleissa

ilmastussyvyyksissä kolmesta viiteen metriin jäteveden ilmastuksessa. Onko näin myös lietelannan ilmastuksessa? Karkeasti lasketaan myös, että liukenemisprosentti kasvaa potenssissa 0,8 upotussyvyyttä kasvatettaessa. Rootin puhaltimen energiankulutus näyttäisi tutkimuksessa tehtyjen mittausten mukaan, kuva 57, olevan suoraan verrannollinen upotussyvyyteen.

VASTAPAININE kPa
STATIC PRESSURE



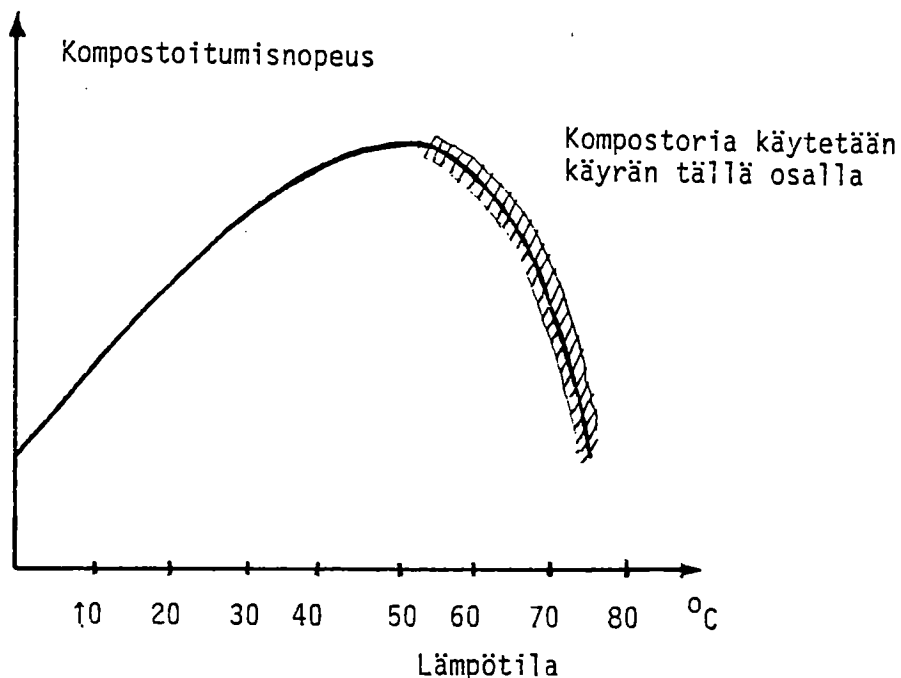
Kuva 57. Kompressorin energiankulutus

Vaikka optimointi jäikin tutkimuksessa suorittamatta, on syytä olettaa, että OC-arvoa (4 kg O₂/kWh) voidaan vielä parantaa. Vihdin tapauksessa voidaan päästä jopa alle kilowatin sähkönkulutukseen lämpötehon pienentymättä.

Vaahdon hävittäjää käytettiin jatkuvatoimisena suurimman osan ajasta, jolloin sen keskimääräinen sähkönkulutus oli 600 W. Lyhyen aikaa sitä käytettiin vaahdon pinnan vaihtelujen mukaan ajoittain, jolloin kulutus putosi puoleen. Pintakytkinhäiriöiden takia kokeilua ei jatkettu pitempään, mutta koe osoitti, että vaahdon hävittimen sähkönkulutusta voitaisiin pienentää.

Kompostointilaitteiston kokonaissähkönkulutusta voidaan pienentää noin 1,5 kW:iin, mikä nostaa lämpökertoimen kuuteen.

Berthelsen esittää kuivakompostointikokeistaan saamiensa kokemusten perusteella kuvassa 58, että kompostorin käyttölämpötilan tulisi olla yli 55°C. Tällöin komposti toimisi itsesäätyvänä. Kun lämmönottoa kompostista lisätään, kompostin lämpötila laskee, jolloin mikrobien aktiivisuus lisääntyy ja lämmöntuotto suurenee. Mikäli kompostoria ei kuormiteta liikaa, pysähtyy lämpötilan lasku, kun saavutetaan tasapaino lämmönoton ja lämmönkehityksen välillä.



Kuva 58. Kompostoitumisnopeuden riippuvuus kompostin lämpötilasta /Be 52/.

3.8.3 Lietelannan muuttuminen kompostoinnin aikana

Viljavuuspalvelun ja maanviljelyskemian ja fysiikan laitoksen tekemät lihotussikojen lannan analyysitulokset ovat taulukossa 10. Lannan kuiva-ainepitoisuus vaihteli päivittäin suuresti, joten oli tarpeen kerätä näytteet esimerkiksi 10 vuorokauden ajalta. Tässä mielessä näyte 84 ei ole edustava. Keski-Euroopassa lietalanta yleensä laimennetaan kompostointia varten vedellä niin, että sen kuiva-ainepitoisuus on vain 3...4%. Laimentamiseen ei tämän tutkimuksen kokeissa haluttu ryhtyä, koska se tietää muunmuassa lantasaäiliöiden koon ja lannanlevityskustannusten kasvua, eikä useilla tiloilla olisi siihen riittävästi vettä.

Kompostoitaessa lantaa jatkuvatoimisessa reaktorissa, jonka viipymä oli noin 10 vrk lanta oli muuttunut sellaiseksi kuin taulukossa 11 on esitetty.

Taulukko 10. Sian lannan koostumus
Table 10. Average characteristics of fresh pig manure

| | Näyte - Sample | | | Kirjall.-Ref. | | |
|------------------------------|----------------|--------------|--------------|---------------|-----------------|--------|
| | 83 n = 10 | 84 n = 10 | 85 n = 10 | /Has83/ | /Ke84/ n=108 | /Ev82/ |
| Kuiva-aine kg/m ³ | 83±30 | 51 | 82 | 79,6±5,8 | 92 | 100 |
| TS | | | | | | |
| Org. aine " | - | - | 62 | 62,5±5,2 | - | - |
| VS | | | | | | |
| Hiili " | - | - | 36 | - | - | - |
| C _{tot} | | | | | | |
| Typpi " | 6,5±0,9 | 6,6 | 6,0 | 4,6±0,3 | 4,9 | 6,7 |
| N _{tot} | | | | | | |
| Liuk. typpi " | 5,2±0,4 | 4,9 | - | 1,8±1 | 3,4 | - |
| Amm.-N | | | | | | |
| Fosfori " | 2,0±0,2 | 0,97 | 1,9 | 2,2 | 1,7 | - |
| P | | | | | | |
| Kalium " | 2,8±1,1 | 2,7 | - | 1,9 | 1,8 | - |
| K | | | | | | |
| Kalsium " | 2,8±0,2 | - | - | 2,4 | - | - |
| Ca | | | | | | |
| Magnesium " | 0,8±0,3 | - | - | - | - | - |
| Mg | | | | | | |
| KHK-COD " | - | - | - | 77±7 | - | 133 |
| C:N:P | -:1:0,3 | -:1:0,15 | 6:1:0,32 | - | - | - |
| KHK/ka " | - | - | - | 0,97 | - | 1,33 |
| COD/TS | | | | | | |
| KHK/VS | - | - | - | 1,23 | - | - |
| COD/VS | | | | | | |
| pH | 7,5±0,3 | - | 7,0 | 6,5±0,2 | - | - |

Taulukko 11. Sian lannan koostumus kompostoinnin jälkeen
 Table 11. Average characteristics of composted pig manure

| | | Näyte - Sample | |
|------------------------------|-------------------|----------------|--------------|
| | | 83 n = 10 | 85 n = 10 |
| Kuiva-aine | kg/m ³ | 97 ± 0,9 | 103 |
| TS | | | |
| Orgaaninen aine | " | - | 68 |
| VS | | | |
| Hiilipitoisuus | " | - | 40 |
| C _{tot} | | | |
| Typpipitoisuus | " | 5,3 ± 0,3 | 5,2 |
| N _{tot} | | | |
| Liukoisen typen pitoisuus | " | 3,5 ± 0,4 | - |
| Amm.-N | | | |
| Fosforipitoisuus | " | 2,5 ± 0,2 | 3,3 |
| P | | | |
| Kaliumpitoisuus | " | 2,5 ± 0,2 | - |
| K | | | |
| Kalsiumpitoisuus | " | 4,2 ± 0,5 | - |
| Ca | | | |
| Magnesiumpitoisuus | " | 0,8 ± 0,05 | - |
| Mg | | | |
| pH | | 7,9 ± 0,2 | 8,3 |

Vaikka kuiva-aineen absoluuttinen määrä vähenee on koelaitteiston kompostoitu lanta paksumpaa kuin kompostoimaton. Tämä on seurausta siitä, että haihtuminen on voimakasta. Kompostoinnissa lannan määrä on vähentynyt 33-44% ja kuiva-aine 22-30%.

Selvin muutos on tapahtunut kokonaistypen määrässä, joka on vähentynyt puoleen. Tehokkaalla poistoilman lämmönvaihtimella voidaan vähentää typpihäviöitä. Typpitappio liete-
lannan normaalissa varastoinnissa on noin 25%.

Luotettavaa määritystä kemiallisen hapenkulutuksen muutoksesta ei saatu tehtyä. Evansin /Ev 82/ mukaan KHK:n vähentyminen on noin 40% luokkaa ja biologisen hapenkulutuksen 80% luokkaa, kun käsittelyaika on 10 vrk.

Lietelannan kouriintuntuvimmat muutokset tapahtuvat kerroksessa, joka yleensä laskeutuu säiliön pohjalle. Kompostoitamattoman lietteen pohjakerros on savimaista, kun se kompostoidussa on mutamaista, helpommin liikuteltavaa. Tämä voitiin todeta mm. näytteenottimella ja omin jaloin huollon yhteydessä. Näytteenotinta piti painaa kompostoitamaan lietteeseen. Kompostoidun lannan läpi se painui omalla painollaan. Huollon yhteydessä kompostoitumisen havaitsi siitä, että säiliön pohjalla oli helpompi liikkua, jos kompostoituminen oli kunnolla tapahtunut. Tuoreen lietteen pohjakerrokseen saapas jäi kiinni kuin suohon.

Myös selvä hajun väheneminen, joka aiheutuu osaksi hajun muuttumisesta toisenlaiseksi, oli havaittavissa. Kompostoinnin aikana ammoniakkin haju tuntui voimakkaimmin. Dräger-putkilla tehdyt mittaukset osoittivat 8-10 ppm rikkivetypitoisuuksia ja 5 ppm ammoniakkipitoisuuksia 1,2 m säiliön huoltoluukun yläpuolella välittömästi käynnistyksen jälkeen. Seuraavana päivänä ja sen jälkeen rikkivetyä ei voitu todeta. Säiliön sisällä ammoniakkipitoisuus oli useita kymmeniä miljoonaa osaa. Huollon aikana jouduttiin käyttämään ammoniakki-suotimilla varustettuja kaasunaamareita sen jälkeen kun rikkivetyä ei oltu todettu. Huolto tehtiin aina mahdollisimman pian tyhjennyksen jälkeen ja ilmastus oli jatkuvasti päällä ilmastinlevyjen vaihtoa lukuunottamatta.

3.8.4 Pukkilan tulokset

Hydixor-ilmastimen tyyppisen laitteen soveltuvuudesta lietelannan ilmastukseen saatiin jonkin verran kokemuksia Pukkilasta mv. Raidan tilalla. Varsinaiset lämmöntalteenottokokeet jäivät muutaman viikon pituisiksi laitteiston käytössä esiintyneiden häiriöiden takia.

Ongelmia aiheutti vaahdonhävittämisessä tarvittavan pintakytkimen oikuttelu ja ilmastimen toimintahäiriöt. Ilmastin ei toisinaan imenyt ilmaa ollenkaan luultavasti lannan liian korkean kiintoainepitoisuuden ja/tai kerrostumisen takia. Ilmastimen käyttöaikaa säädettiin aikakellolla. Lepoaikana säiliön pintaan kerrostui kuori, joka ilmeisesti aiheutti toimintahäiriöitä. Koska laitteen ilmamäärää ei mitattu jatkuvasti, ei todellisia ilmamääriä tiedetä. Normaali tilanteessa Hydixorin ilmamäärä oli 30 m³/h.

Parin viikon pituisen yhtäjaksoisen kokeilun aikana lämpöenergiaa saatiin hyödynnetyksi vain noin kaksinkertainen määrä käytettyyn sähköenergiaan nähden. Hydixorilla saavutettiin kuitenkin varmasti, vaikkakin hitaasti yli 50°C:n lämpötila ilman lämmöntalteenottoa. Maksimi lämpötila 57°C saavutettiin ilmastimen käytyä jatkuvasti. Toimintahäiriöiden takia lämpökerroin ja 0C-arvo eivät ole vertailukelpoisia esimerkiksi Mäenpään laitteistoon verrattuna. Kuitenkin laitteen suuri sähköteho ilmamäärään nähden antaa lämpökertoimeksi korkeintaan kuusi. Kun otetaan huomioon lämpöhäviöt, jotka pienen ilmamäärän takia tosin jäävät pienemmiksi kuin Vihdin tapauksessa, ei kovin suurta lämpökerrointa voida odottaa. Mikäli hapen liukenemisprosentti on korkea, luokkaa 50-70%, voidaan laitteen käytölle löytää perusteita. Pienten lämpöhäviöiden takia voidaan päästä korkeisiin lämpötiloihin, mikä parantaa lämmön hyödyntämismahdollisuuksia. Laitteen hinta ratkaisee viime kädessä sen hankinnan kannattavuuden. Saatujen kokemusten perusteella laite ei teknisesti vielä täytä lietelannan ilmastuksen vaatimuksia. Näihin vaatimuksiin tekee mieli lisätä hinta-arvion tietäen myös vaahdonhävittämismenetelmä, jota laitteessa itsessään ei ole.

4. KOMPOSTILÄMMÖN HYÖDYNTÄMISMAHDOLLISUUKSIA

Kompostilämmön hyödyntämismahdollisuudet riippuvat kompostin lämpötilatasosta. Toistaiseksi on ollut pakko tyytyä lämpötiloihin, jotka ovat mesofiilisella alueella eli 45°C:n alapuolella. Kolme ja puoli kuukautta kestäneen koejakson aikana Vihdissä keskimääräinen kompostorin lämpötila oli 40,6°C. Säiliön lämpötilaan vaikuttavat enemmän muut tekijät kuin ulkoilman lämpötila, jolla on tietysti oma merkityksensä. Ajoittain säiliön lämpötila pysyttelee termofiilisella alueella 50°C yläpuolella esim. käynnistyttyä aikana. Lämpötilatasoon vaikuttavat säiliöstä talteenotettu lämpömäärä ja häviöt, joihin voidaan vaikuttaa. Maksimilämpötila 65°C saavutettiin ilman lämmöntalteenottoa. Tällä hetkellä lämmön hyödyntäminen esim. asuinrakennuksen lämmityksessä edellyttää matalalämpötilaista lämmitysjärjestelmää, esimerkiksi lattia- tai ilmalämmitystä.

Seuraavaa lämmönhyödyntämismahdollisuuksien tarkastelu perustuu pääasiassa mv. Paavo Raidan tilan esimerkkiin Pukkilassa. Kompostilämpöä voitaisiin käyttää muun muassa seuraaviin kohteisiin:

- sikalan ja sen teknisten tilojen lämmitykseen
- ruokintaveden lämmitykseen
- asunnon lämmitykseen
- viljan kylmäilmakuivauksen lisälämpönä
- kasvihuoneen lämmitykseen

4.1 Sikalan lämmitys

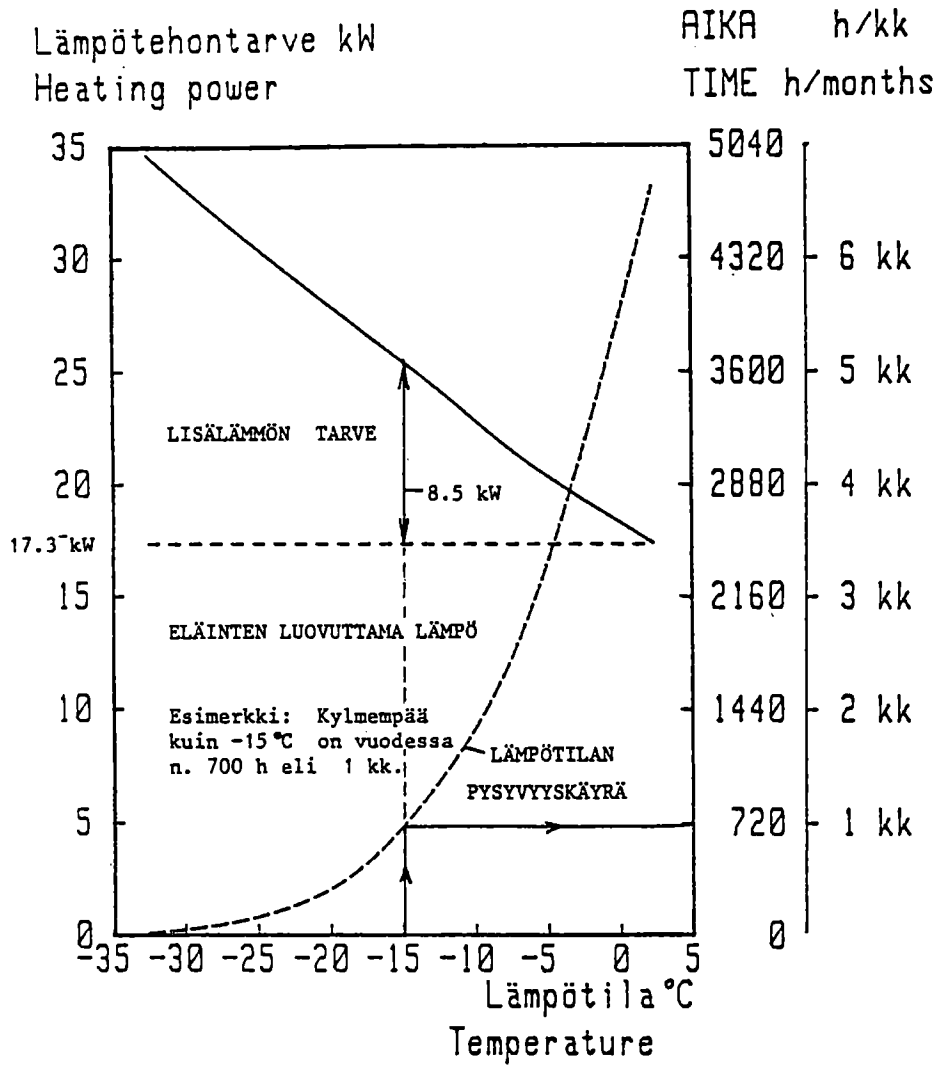
Sikalaa on lämmitettävä kylmänä kautena, jos sikalan olosuhteet halutaan pitää mahdollisimman hyvinä. Lihotussikaloissa lisälämmön tarve on luokkaa 30-40 W/m². Taulukossa 12 on eräiden sikaloiden laskettu lämmitystehontarve.

Taulukko 12. Eräiden sikaloiden laskettu lisälämmityksen tehontarve /Py 84/

| Sikala | Eläinpaikat kpl | Laskettu lämmitysteho kW |
|--------|--------------------|-----------------------------|
| A | 160 | 6,5 |
| B | 25+120 | 7,6 |
| C | 240 | 7,3 |
| D | 200 | 7,6 |
| E | 320 | 10,4 |
| F | 440 | 15,1 |
| G | 528 | 16,7 |
| H | 500 | 15,3 |
| I | 240 | 10,6 |
| J | 400 | 14,3 |

Esimerkkitapauksessa (Pukkila) sikalan uudemman osan pinta-ala on n. 210 m², käsittäen tilat 18 emakolle ja 250 porsalle. Sikalan vanhempi osa on pinta-alaltaan 170 m² käsittäen tilat 40 joutilaalle emakolle, parillekymmenelle siitoseläimelle ja muutamille lihasioille. Kuvassa 59 on esitetty lämpötilapysyvyyskäyrä Etelä-Suomessa ja esimerkiksi sikalan uuden osan lämmitystehontarve. Lämmitysenergian kokonaistarve sikalan uudessa osassa on 16 000 kWh/v ja vanhassa osassa 12 500 kWh/v. Sikalan vuotuinen lisälämmöntarve aputilat, 45 m², mukaan lukien on noin 40 000 kWh.

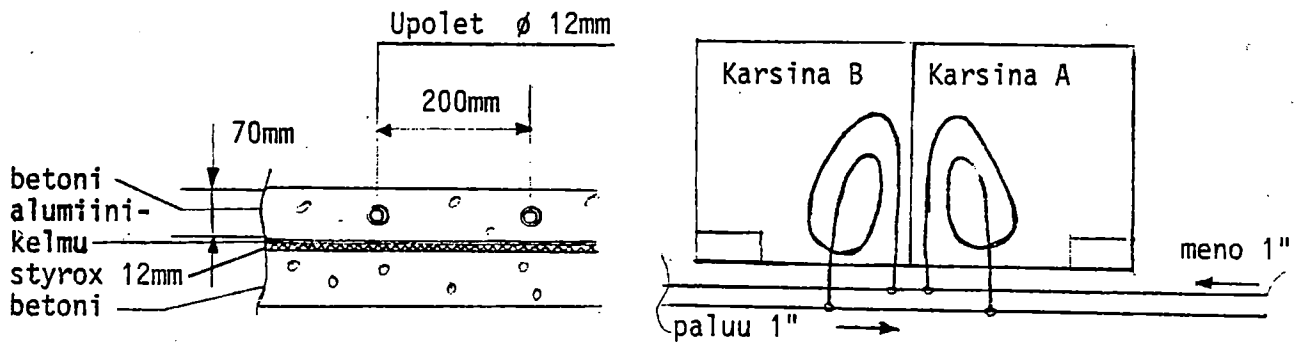
Sikalan peruslämmitys toteutetaan lattilämmityksenä. Jokaisessa emakkopaikassa on pinta-alaltaan noin 1,5 m² suuruisen alue porsaita varten, jossa lattiaan on asennettu 12 mm Upolet-putkea 5 metriä kuvan 60 mukaisesti.



Kuva 59. Lämpötilan ja esimerkksikalalan uuden osan lämmitystehontarpeen pysyvyyskäyrät.

Yhteensä lattialämmityspotkea on 150 m ja 1" siirtoputkea 100 m. Riippuen kiertoveden keskimääräisestä lämpötilasta 30-45°C, porsaspaikkojen lattialämmityksen sikalaan luovuttama lämpöteho vaihtelee arviolta välillä 2,5-6,2 kW. Tämän lisäksi tulee siirtoputkiston lattialämmitysteho, joka on suunnilleen samaa luokkaa. Kokonaislämmitysteho on siten 4-11 kW. Kiertoveden yli 45 °C lämpötilat saattavat paikoitellen nostaa lattian pintalämpötilaa liiaksi, joten lisälämmöntarve, jos sitä pitkinä pakkaskausina syntyy, on katettava muilla keinoilla esimerkiksi ilmalämmityksen avulla.

Sikalan vanhaan osaan on suunniteltu ilmalämmitys samoin kuin teknisiin tiloihin.



Kuva 60. Lattialämmityksen toteutus porsaspaikoilla

4.2 Ruokintaveden lämmitys

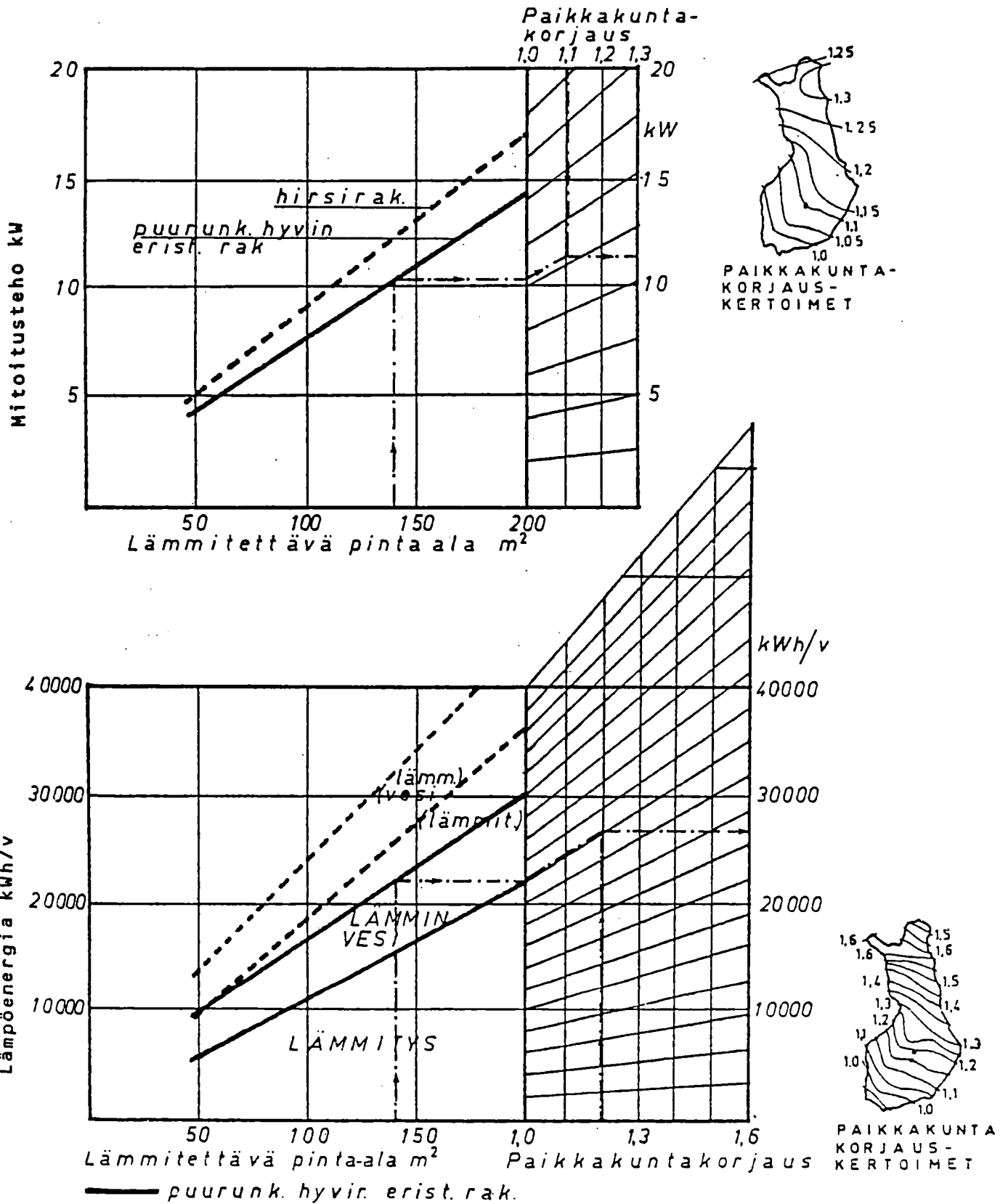
Ruokintavesi lämmitetään 23-25 °C:een ja sen määrä on 1,1-1,4 m³/vrk. Ruokintaveden lämmitykseen kuuluu lämpötehoa keskimäärin 1 kW ja lämpöenergiaa 9000 kW/h vuodessa, kun tulevan veden lämpötila on +7 °C.

4.3 Asuinrakennuksen lämmitys

Asuinrakennus on 2-kerroksinen, huoneistoala 138 m² ja rakennusala 106 m², tilavuus 480 m³.

Kuvan 61 mukaan lämmityksen ja lämpimän veden valmistuksen mitoitusteho on 480 m³ kokoisessa puurakenteisessa talossa 10 kW. Lämmitysenergian tarve on 17 000 kWh vuodessa ilman käyttöveden lämmityksen energiankulutusta.

Lämmitysjärjestelmänä on esimerkkitapauksessa ilmalämmitys.



Kuva 61 . Lämmitystehon mitoitus ja lämmitysenergian tarve /Ka 80/. Esimerkkinä 140 m² asuintalo Keski-Suomessa, pistekatkoviiva.

4.4 Viljan kylmäilmakuivaus lisälämmöllä

Sikalan tuotantorakennuksiin liittyy kylmäilmakuivaamo, joka käsittää kaksi osaa. Laaripinta-alat ovat 22 m² ja 28 m². Vilja kuivataan alkusyksyllä 1-2 kk aikana, jolloin kaikki talteenotettavissa oleva kompostoinnissa syntyvä lämpö voitaisiin käyttää kuivauksessa. Kylmäilmakuivauksessa voidaan kuivausilmaa lämmittää kuivauksen alkuvaiheessa vain pari astetta, etenkin jos vilja on hyvin kosteaa. Jos ajatellaan, että vain pienempää kuivurin osista voidaan aluksi käyttää, voidaan arvioida jonkinlainen alaraja lämpötehoilla kuivauksen alussa;

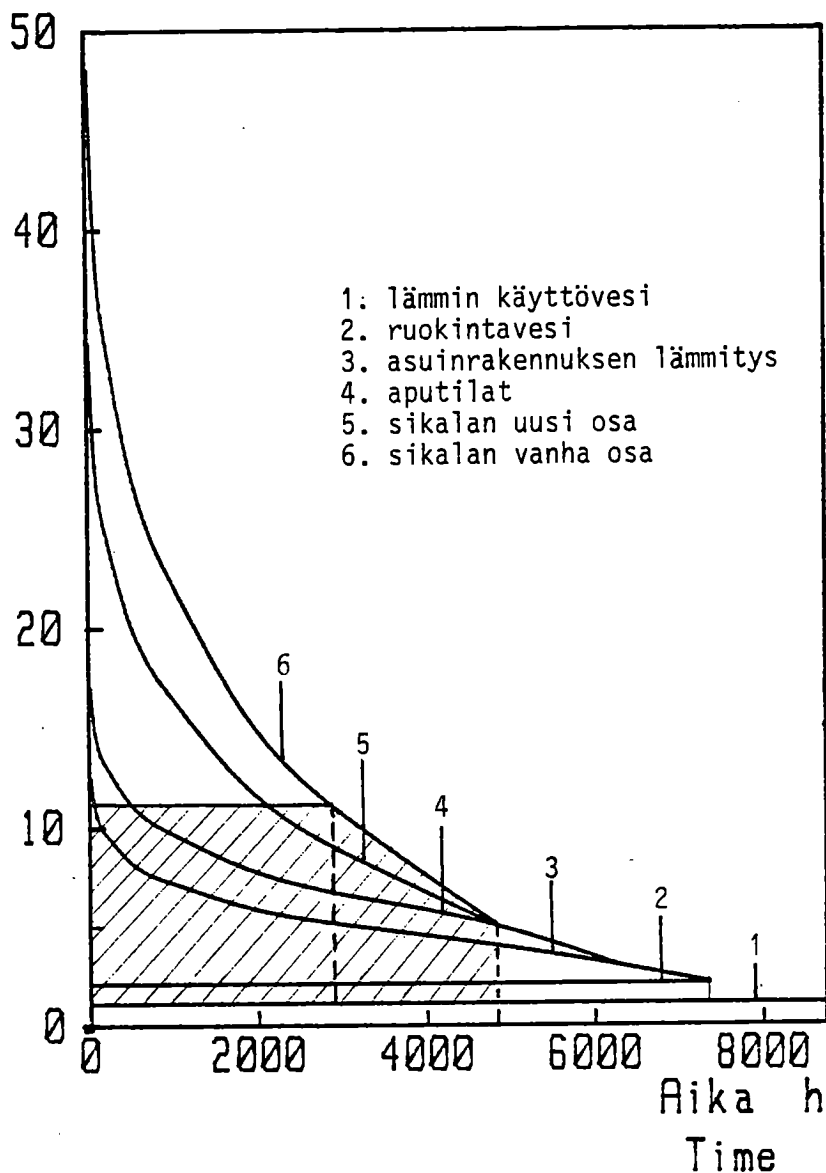
$$\begin{aligned} \emptyset &= 22 \text{ m}^2 \times 550 \text{ m}^3/\text{h}, \text{m}^2 \times 1,23 \text{ kg}/\text{m}^3 \times 1,01 \text{ kJ} \times 2^\circ\text{C} \\ & \qquad \qquad \qquad \text{kg}^\circ\text{C} \\ &= 8,35 \text{ kW} \end{aligned}$$

Vähintään 8 kW lämpöteholle on käyttöä kuivauksen alusta lähtien, joten kuivausaikana kaikki lämpö voidaan käyttää hyödyksi. Jos lämpöä kehittyy enemmän kuin voidaan käyttää, ylimäärä varastoituu kompostointisäiliöön. Kun vuotuinen sato on 60 t lisälämmöntarve on noin 6 000 kWh viljan kosteuden ollessa 28%. Lämpötehon ollessa 10 kW, se vastaa 600 h vuotuista tehollista käyttöaikaa.

Pukkilan esimerkkitapauksessa tilan vuotuinen lämmöntarve on yhteensä noin 70 000 kWh ilman lämpimän talousveden lämmitystarvetta. Lämmitysratkaisujen ansiosta koko lämmöntarve voitaisiin kattaa kompostilämmöllä. Kompostorin lämpöteho ei kuitenkaan tähän riitä, koska lämpötehon tarve vaihtelee, joten vain osa lämmöstä voidaan kattaa kompostoinnissa syntyvällä lämmöllä. Kuvassa 62 on esitetty esimerkkitilan vuotuinen lämpötehotarpeen pysyvyyskäyrä.

Jos kompostorin nettolämpötehoksi arvioidaan 10 kW, voidaan kuvasta 62 arvioida, että hyödynnettävissä olevan kompostilämmön määrä olisi viljankuivaus mukaan laskien noin 50 000 kWh vuodessa (viivoittu alue kuvassa 62).

Lämpöteho kW
Heating power



Kuva 62. Esimerkkitalan lämpötehotarpeen pysyvyyskäyrä.

Koska kompostorin lämmöntuottoa voidaan säätää ilmastusta säätämällä (ilmastimen käyntiaikaa lyhennetään), voidaan osatehoista huolimatta päästä 4-5 luokkaa oleviin lämpöker-toimiin. Kuvassa 62 on ajateltu, että kompostoria kannat-taa käyttää vielä, kun matalalämpötilaisen lämmön tarve on 4 kW.

Tutkimuksen aikana lämpö kulutettiin Vihdissä mv. Mäenpään sikalassa ruokintaveden lämmitykseen ja sikalan läpi kulkevassa eristämättömässä siirtoputkistossa. Siirtoputkiston pituus on noin sata metriä ja se on asennettu toistaiseksi sikalan toiselle seinälle, joka pysyy lämpimän kiertoveden ansiosta kuivana. Huhti-toukokuussa kompostilämpöä hyödynnettiin myös asuinrakennuksen lämmityksessä ja saunaveden lämmittämisessä. Pukkilassa lämpöä ei päästy kunnolla hyödyntämään teknisten vaikeuksien takia, mutta lämpöä käytettiin kuitenkin asuinrakennuksen ilmalämmitykseen loppukevällä 1985.

5. KOMPOSTOINNIN KANNATTAVUUS LÄMMÖN HYÖDYNTÄMISEN KANNALTA

Seuraavassa esityksessä rajoitutaan tarkastelemaan liete-
lannan kompostoinnin kannattavuutta lämmön hyödyntämisen
kannalta.

Lannan hygienian paraneminen, hajuhaittojen vähenemisen ja
ympäristökuormituksen pieneminen sekä käsiteltävyyden para-
neminen ovat taloudellisesti vaikeasti arvioitavissa, vaika
niillä käytännössä voi olla suurikin merkitys. Kompos-
toinnin vaikutus lannan lannoitusarvoon voidaan arvioida
rahallisesti, mutta toistaiseksi ei vaikutusta tunneta
tarpeeksi ja käsitykset ovat osin ristiriitaisia. Siltä
osin kompostointitutkimusta tarvitaan lisää. Kuitenkin
nykyään tila voidaan hyväksyä luonnonmukaiseen viljelyyn,
jos se käyttää lannoitteena kompostoitua lantaa. Viljelys-
tuotteista saadaan tällöin korkeampi hinta.

Kannattavuusarvioinnin perustana pidetään seuraavassa koti-
maassa saatuja tuloksia, joista on laskettu kolmelle eri
yksikkökoolle kompostoinnin investointikustannukset, hyö-
dynnettävissä olevan lämmön määrä ja käyttökustannukset.
Kompostoinnista saavutettava taloudellinen hyöty, jonka on
vastattava kompostoinnin kustannuksia, saadaan olemassa
olevan lämmitysjärjestelmän polttoaineesästä. Komposti-
lämpö ei ole kokonaan korvaava lämmitysvaihtoehto, vaan
sen rinnalla tarvitaan perinteinen lämmitysjärjestelmä.
Tällä hetkellä kompostointilämpöä kannattaa käyttää vain
kohteissa, joissa riittää matalalämpötilainen alle 45 °C
lämpö. Lukuisista lämmitysvaihtoehtoista on helpointa ja
varmintä käyttää polttoaineesta aiheutuvana lämmön osahin-
tana kevyellä polttoöljyllä tuotetun lämmön hintaa, jonka
vaihtelut eri tapauksissa ja eri osissa maata ovat pieniä.

Kompostointisäiliön kustannukset eivät juurikaan riipu sii-
tä, onko säiliö tehty puusta vai betonivaluharkoista. Jos
kokonaiskustannuksissa halutaan säästää on parasta raken-

taa säiliö itse betonista, jolloin oman työn arvo kattaa suuremman osan kustannuksista. Tällöin kuitenkin aikaa rakentamiseen kuluu enemmän. Puinen ja betoninen säiliö ovat käytännössä yhtä kestäviä.

Esimerkkikompostorit

Kompostorin mitoitus lähtee siitä, että keskimääräisen käyttölämpötilan oletetaan olevan mesofiilisella alueella, 40...43 °C. Ilmastimina käytetään pohjailmastimia ja käsittelyaika on viisi tai kymmenen vuorokautta.

Maksimi lämpöteho saadaan hiukan pitemmillä käsittelyajoilla. Yksiköt on mitoitettu lietelantamäärillä 1, 2 ja 3 m³/vrk.

Kompostorilaitteistoon kuuluvat seuraavat osat:

- säiliö pystytettynä ja eristettynä
- lietelantalinjat ja -yhteet
- lämmön talteenottolaitteet ja siirtoputkisto
- sähkölaitteet
- ilmastuslaitteisto
- vaahdonhävitin

Lietelantapumpun hankintaa ei ole otettu kompostointilaitteiston kustannuksiin, koska sen hankinta riippuu ilmastimista ja säiliön rakennusteknisestä ratkaisusta. Vaikka lietepumppu jouduttaisiin hankkimaan, sitä voidaan käyttää tilan normaalissa käytössä, jolloin siitä aiheutuvaa lisämenoa ei voida yksinomaan pitää kompostoinnista aiheutuvana. Taulukossa 13 on eritelty kunkin yksikön kustannukset. Lämmön hyödyntämislaskelmien perusteena on aiemmin esitetty esimerkki, jossa vuotuiseksi käyttöajaksi saatiin 218 vrk. Esimerkissä oli talteenotettavissa olevasta lämmöstä 88% hyödynnetty 218 vrk aikana (vastaa 54% kehittyvästä bruttolämmöstä).

Pienen alle 10 m³ säiliön rakentaminen betonista tai puusta tarvittavine laitteineen tulee sen lämpötehoon nähden suhteettoman kalliiksi. Pienet säiliöt tulisi rakentaa elementeistä kuten valmiista betonirenkaista tai muusta materiaalista esimerkiksi pinnoitetusta teräksestä. Mikäli päivittäinen lantamäärä on alle 1 m³ vuorokaudessa, täytyisi lantaa voida varastoida silloin, kun kompostoria ei käytetä. Tällöin olisi mahdollista saavuttaa suurempi nettoteho lämmön tarpeen aikana. Taulukon 13 investointikustannuksista 17-19% on työkustannuksia. Työn arvo on saatu työmenekkiarvion ja 35-40 mk tuntipalkan mukaan laskien. Materiaalikustannukset on laskettu kesän 1985 vähittäiskauppahintojen mukaan. Mitään materiaalia ei ole saatu "ilmaiseksi". Vaikka työkustannuksia voi kukin itse alentaa, on todettava, ettei kaikkea kompostorin viimeistelyyn tarvittavaa työtä ole voitu arvioida.

Pakollisten töiden lisäksi jää isännälle runsaasti oman tarpeen ja harkinnan varaista työtä. Kompostorien korottomat takaisinmaksuajat ovat taulukon 13 mukaan 3,3-8,3 vuotta, kun käsittelyaika on 10 vrk.

Jos laitteiden käyttöajaksi oletetaan 10 vuotta ja säiliön käyttöajaksi 20 vuotta, antavat investoinnit 6%, 21% ja 29% koron eri yksikkökokoja vastaavasti. Taulukossa 13 lämmön polttoainehintana on pidetty 22 p/kWh, joka vastaa kevyen polttoöljyn hintaa 1,65 mk/l ja kattilavuosihyötysuhdetta 0,75. Sähkön hintana on pidetty 32 p/kWh maataloudessa.

Taulukko 13.

| | | | | | | | |
|-----------------------------------|-------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Vuorokautinen lisäsmäärä | m ³ | 1 | 1 | 2 | 2 | 3 | 3 |
| Säiliön tilavuus | m ³ | 7,1 | 12,6 | 12,6 | 28,2 | 19,6 | 38,5 |
| Säiliön nettotilavuus | m ³ | 5,3 | 9,4 | 9,4 | 21,2 | 14,7 | 29 |
| - sisähalkaisija | m | 1,5 | 2,0 | 2,0 | 3,0 | 2,5 | 3,5 |
| - korkeus | m | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 |
| - lietepinta | m | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| Keskimääräinen vastapaine | kPa | 35 | 35 | 35 | 35 | 35 | 35 |
| Käsittelyaika (viipymä) | vrk | 5 | 10 | 5 | 10 | 5 | 10 |
| Käsittelylämpötila | °C | 40 | 40 | 40 | 40 | 40 | 40 |
| Ilmamäärä, liukenemis- | | | | | | | |
| prosentti 30% | m ³ /h | 32 | 34 | 63 | 68 | 95 | 102 |
| Nettolämpöteho | kW | 3,9 | 4,3 | 7,9 | 9,0 | 12 | 13,5 |
| Lämmöntalteenottoteho | | | | | | | |
| poistoilmasta | kW | 0,6 | 0,7 | 1,4 | 1,5 | 2 | 2,1 |
| Lämpöteho yhteensä | kW | 4,5 | 5,0 | 9,3 | 10,5 | 14 | 15,6 |
| Sähkönkulutus | | | | | | | |
| Kompressorin | kW | 1,0 | 1,02 | 1,33 | 1,39 | 1,7 | 1,78 |
| Vaahdonhävitin | kW | 0,2 | 0,2 | 0,4 | 0,4 | 0,6 | 0,6 |
| Sähkönkulutus yhteensä | kW | 1,2 | 1,22 | 1,73 | 1,79 | 2,3 | 2,38 |
| Kustannukset | | | | | | | |
| Säiliön materiaali | mk | 4920 | 7930 | 7930 | 12950 | 11200 | 16500 |
| - pystytys ja eristys | mk | 1800 | 2360 | 2360 | 3460 | 3000 | 4000 |
| - sähköasennukset | mk | 2970 | 3090 | 3440 | 3840 | 3640 | 4040 |
| yhteensä | mk | 9690 | 13380 | 13730 | 20250 | 17840 | 24540 |
| Laitteet | | | | | | | |
| - lämmöntalteenotto | mk | 6050 | 6720 | 7760 | 8320 | 8600 | 9230 |
| - ilmastuslaitteisto* | mk | 10620 | 11020 | 13520 | 14720 | 15780 | 16540 |
| yhteensä | mk | 16670 | 17740 | 21280 | 23040 | 24380 | 25770 |
| * sisältää asennuksen | | | | | | | |
| yhteensä, | mk | 26360 | 31120 | 35010 | 43290 | 42220 | 50310 |
| josta työn osuus | mk | 5100 | 5950 | 6330 | 7880 | 7400 | 8790 |
| - energia-avustus 20% | mk | 5270 | 6220 | 7000 | 8660 | 8440 | 10060 |
| investoinnin arvo | mk | 21100 | 24900 | 28010 | 34630 | 33780 | 40250 |
| Lämmöntalteenotto vuodessa | | | | | | | |
| (esimerkkiluku 4) | kWh | 22000 | 24450 | 45480 | 51350 | 68460 | 76280 |
| Sähkönkulutus vuodessa | kWh | 5870 | 5970 | 8460 | 8750 | 11250 | 11640 |
| Lämmön hinta (22 p/kWh) | mk | 4840 | 5380 | 10000 | 11300 | 15060 | 16850 |
| Sähkön hinta (32 p/kWh) | mk | 1880 | 1910 | 2710 | 2800 | 3600 | 3720 |
| Huoltokustannukset *** | mk | 480 | 480 | 600 | 600 | 1020 | 1020 |
| Vuotuinen säästö | mk | 2480 | 2990 | 6690 | 7900 | 10440 | 12110 |
| Koroton takaisinmaksuaika | | | | | | | |
| Sisäinen korko ** | % | 8,5 | 8,3 | 4,2 | 4,4 | 3,2 | 3,3 |
| | | 5,8 | 6,6 | 21,4 | 20,4 | 29 | 28,6 |

** Investoinneilla saatavissa oleva korko kymmenen ensimmäisen vuoden aikana, kun laitteiden käyttöajaksi oletetaan 10 vuotta ja säiliön käyttöajaksi 20 vuotta

*** 30% ilmastimen hinnasta

Taulukossa 14 on esitetty investointien korot, jos sähkön ja/tai kevyen polttoöljyn reaali hinnat muuttuvat edellä olevista arvoista.

Taulukko 14.

| Käsittelyaika | vrk | 1 m ³ /vrk | | 2 m ³ /vrk | | 3 m ³ /vrk | |
|---------------------------------|-----|-----------------------|-----|-----------------------|------|-----------------------|------|
| | | 5 | 10 | 5 | 10 | 5 | 10 |
| Sähkön reaali-hinta nousee 5% | % | 5,2 | 6,0 | 21 | 20 | 28,8 | 28,0 |
| Sähkön reaali-hinta nousee 10% | % | 4,4 | 5,6 | 20,4 | 19,6 | 28,2 | 27,4 |
| Lämmön reaali-hinta nousee 5% | % | 7,6 | 8,2 | 23,6 | 22,4 | 31,8 | 30,6 |
| Lämmön reaali-hinta nousee 10% | % | 9,2 | 9,6 | 25,6 | 24,2 | 34,2 | 32,8 |
| Energian reaali-hinta nousee 5% | % | 6,8 | 7,6 | 23,0 | 21,8 | 31,2 | 30,2 |
| Energian reaali-hinta laskee 5% | % | 4,8 | 5,6 | 20,0 | 19,0 | 27,6 | 26,6 |

6. KOMPOSTORIN KEHITTELYMAHDOLLISUUDET JA JATKOTUTKIMUKSEN TARVE

6.1 Kustannusten alentaminen

Kompostorin kustannuksista 25-40% aiheutuu säiliön rakennuskustannuksista. Pienentämällä säiliön kokoa ja rakentamalla säiliö elementeistä tai tekemällä se esimerkiksi pinnoitetusta teräksestä tehtaalla valmiiksi voitaisiin rakennustakustannuksia ilmeisesti pienentää. Säiliön pienentämisestä on seurauksena viipymääjan lyheneminen. Maatalousteknologian tutkimuslaitoksella suoritetussa tutkimuksessa alle 8 vuorokauden viipymä oli liian lyhyt koelaitteistolle, eikä tällä hetkellä vielä tiedetä, kuinka lyhyeksi viipymä voitaisiin saada. Tarvittava ilmamäärä voidaan laskea tietyille lisäykselle ja viipymälle, mutta kompostoinnin käynnistysvaiheessa ja lisäyksen yhteydessä esiintyvän viiveen merkitystä ja kompostointia häiritseviä tekijöitä ei täysin tiedetä. Teoriassa viipymäaika voi olla miten lyhyt tahansa, käytännön olosuhteissa kullekin laitteistolle löytyy alaraja, joka alitettaessa lämmöntuotanto alkaa vähetä ja lämpötila laskea. Kompostorin taloudellinen optimikoko saadaan 3-10 vuorokauden viipymällä, mutta siihen vaikuttavien tekijöiden lukuisuuden takia, joiden kaikkien vaikutusta ei vielä tunneta, tässä tutkimuksessa taloudellista optimia ei laskettu.

Taulukon 4 mukaan karjanlannalla toimivien kompostoriyksiköiden lukumääräisesti suurin lämpötehoalue olisi 4-6 kW. Myös sian ja kanan lietelantayksiköitä olisi melko runsaasti tällä lämpötehoalueella. Tämän johdosta olisi tutkittava tarkemmin bruttotilavuudeltaan 3-10 m³ kompostorien teknisiä ratkaisuja, säiliön rakentamistapoja ja taloudellista kannattavuutta.

6.2 Teknisten ratkaisujen parantaminen

Ilmastus

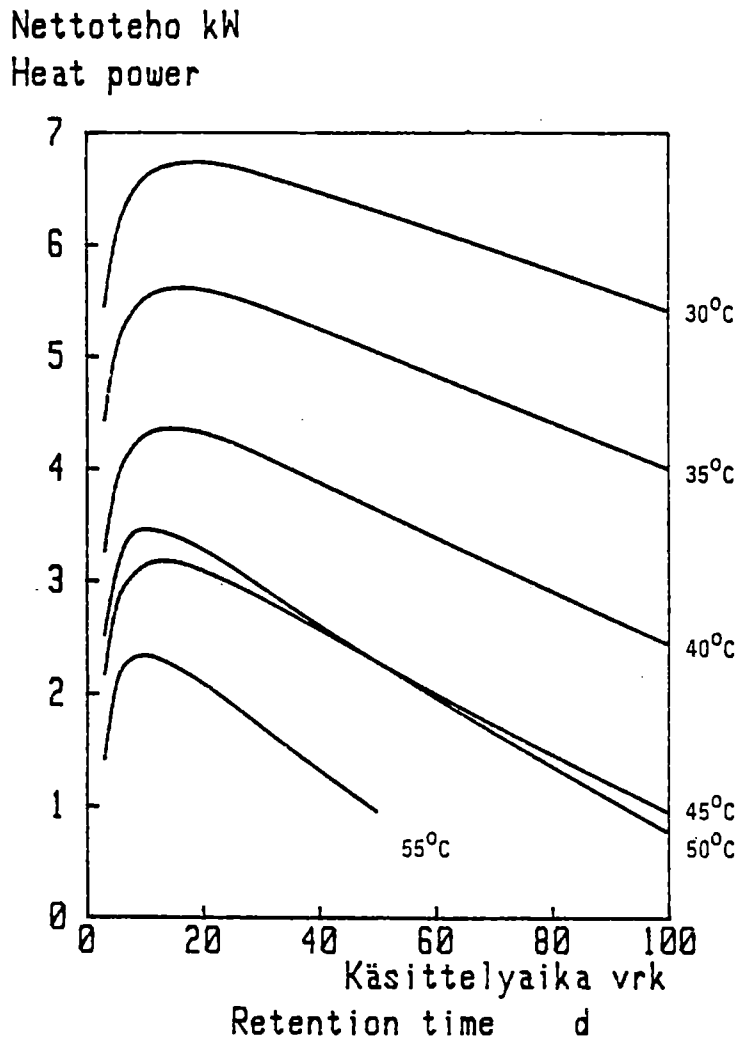
Ilmastuksessa olisi pyrittävä parantamaan hapen hyväksikäyttöastetta. Pohjailmastimia käytettäessä liukenemisprosentti kasvaa verrannollisena upotussyvyyteen.

Koska sähkönkulutuskin kasvaa ja ilmeisesti nopeammin kuin lämmöntuotanto, löytyy ilmastimille taloudellinen upotussyvyys. Ilmastimien lukumäärä voidaan myös taloudellisesti optimoida, alarajan määrää kuitenkin ilmantarve ja vastapaineen noususta aiheutuva sähkönkulutuksen lisääntyminen. Ylärajana on ilmastimen vaatima minimi ilmamäärä, jonka alittaminen lyhentää huoltoväliä. Vihdin koelaitteistolla voitaneen päästä 30% hapen hyväksikäyttöasteeseen.

Lämmöntalteenotto ja lämpötilatason nostaminen

Koelaitteistolla saadaan kehittyvästä lämmöstä noin puolet talteen. Poistuvan lannan lämmön ja poistoilman lämmön tehokkaalla hyödyntämisellä, esimerkiksi tulevan ilman tai tulevan lannan lämmitykseen, voitaisiin kompostorin energiasaantoa lisätä ja lämpötilatasoa nostaa. Kuitenkin lämpötilatason nostaminen termofiiliselle alueelle, esimerkiksi yli 50 °C:n, edellyttää paitsi edellä mainittuja toimenpiteitä myös tehokasta ilmastinta, mikäli kompostorin nettoteho halutaan säilyttää kohtuullisena. Kuvassa 63 on esitetty kompostorista saatava nettolämpöteho eri lämpötiloissa käsittelyajan muuttuessa ilman, että poistoilman tai poistuvan lannan lämpöä hyödynnetään. Kompostorin alku- ja oletusarvot ovat sivulla 105 olevassa tietokoneistauksessa. Kuvan mukaan kullakin lämpötilalla on oma käsittelyaikaoptiminsa, johon vaikuttaa muun muassa lannan laatu, säiliön k-arvo ja ilmastuksen hapen liukenemisprosentti.

Kuvassa 63 vuorokautinen lisäsmäärä on 1 m³. Säiliön lämpötilan ollessa 30 °C voidaan kompostorista ottaa noin kolminkertainen lämpöteho verrattuna tilanteeseen, jossa säiliön lämpötila on 55 °C.



Kuva 63. Kompostorista saatava nettolämpöteho eri lämpötiloissa käsittelyajan muuttuessa, kun lisäys on 1 m³/vrk.

Yhtenä mahdollisuutena lämmön tehokkaaseen talteenottoon ja lämpötilatason nostamiseen voisi olla kaksivaiheinen kompostori, jossa olisi sekä mesofiilinen että termofiilinen osa. Poistuvalla lannalla ja termofiilisen osan poistoilmalla voitaisiin tulevaa lantaa ja ilmaa tehok-

kaasti lämmittää. Lämmitysvesi kulkisi mesofiilisen osan kautta ja kuumenisi lopulliseen lämpötilaansa termofiilissä osassa. Seuraavassa on lopuksi esitetty esimerkin avulla, mikä merkitys edellä olevilla toimenpiteillä voisi olla lämpötilatasoon ja nettolämpötehoon. Esimerkkinä kompostori, jossa lannan viipymäaika on aluksi 10 vrk.

Muut tiedot käyvät ilmi alla olevasta.

Alkuarvot:

| | | | | | |
|-------------------------------|---|--------------------------------|--------------------------------|--|--|
| KOMPOSTORIN LÄMPÖTILA, °C | 40.00 | 1 | | | |
| LISÄYS/VRK, m ³ | 3.00 | 2 | | | |
| LISÄYSTEN LUKUM./VRK | 1.00 | 3 | | | |
| LIETEMÄÄRÄ, m ³ | 28.86 | 4 | | | |
| LANNAN TULOLÄMPÖTILA, °C | 15.00 | 5 | | | |
| KIINTOAINEPITOISUUS, % | 9.00 | 6 | | | |
| ULKOLÄMPÖTILA, °C | -5.00 | 7 | | | |
| ILMAMÄÄRÄ, m ³ /h | 142.09 | 8 | | | |
| Volatile solids, % | 70.00 | 9 | | | |
| N/C-SUHDE | .15 | 10 | | | |
| k-ARVO, W/m ² °C | .50 | 11 | | | |
| ILMAN LÄMPÖTILA | -5.00 | 12 | | | |
| ILMAN KOSTEUS, % | 80.00 | 13 | | | |
| LIUKENEMISPROSENTTI, % | 20.00 | 14 | | | |
| SÄILIÖN HALKAISIJA, m | 3.50 | 15 | | | |
| SÄILIÖN KORKEUS, m | 4.00 | 16 | | | |
| KÄSITTELYAIKA, vrk | 9.62 | 17 | | | |
| SÄILIÖN HALKAISIJA, m | 3.50 | | | | |
| Brutto, kWh/m ³ | Eristys, kWh/m ³ | Lämpäminen, kWh/m ³ | Poistoilma, kWh/m ³ | | |
| 181.98 | 11.38 | 31.31 | 60.52 | | |
| Bruttoteho, kW | Eristyshäviö, kW | Lämpenemishäviö, kW | Poistoilmahäviö, kW | | |
| 22.75 | 1.42 | 3.91 | 7.56 | | |
| NETTO 78.78kWh/m ³ | | | | | |
| NETTO 9.85kW | | | | | |
| SÄILIÖN Min-LÄMPÖTILA | 38.63 | | | | |
| SÄILIÖN Max-LÄMPÖTILA | 41.37 | | | | |
| Hapen kulutus | .27kgO ₂ /h,netto-m ³ | | | | |
| Ilman tarve | 4.92m ³ /h,netto-m ³ | | | | |

Tuleva lanta lämmitetään 25 °C:een.

| | | | | | |
|------------------------------|--------------------------|-----------------------------|-------|--------------------------------|-------|
| KOMPOSTORIN LÄMPÖTILA, °C | 40.00 | 1 | | | |
| LISÄYS/VRK, m ³ | 3.00 | 2 | | | |
| LISÄYSTEN LUKUM./VRK | 1.00 | 3 | | | |
| LIETEMÄÄRÄ, m ³ | 28.86 | 4 | | | |
| LANNAN TULOLÄMPÖTILA, °C | 25.00 | 5 | | | |
| KIINTOAINEPITOISUUS, % | 9.00 | 6 | | | |
| ULKOLÄMPÖTILA, °C | -5.00 | 7 | | | |
| ILMAMÄÄRÄ, m ³ /h | 142.09 | 8 | | | |
| Volatile solids, % | 70.00 | 9 | | | |
| N/C-SUHDE | .15 | 10 | | | |
| k-ARVO, W/m ² °C | .50 | 11 | | | |
| ILMAN LÄMPÖTILA | -5.00 | 12 | | | |
| ILMAN KOSTEUS, % | 80.00 | 13 | | | |
| LIUKENEMISPROSENTTI, % | 20.00 | 14 | | | |
| SÄILIÖN HALKAISIJA, m | 3.50 | 15 | | | |
| SÄILIÖN KORKEUS, m | 4.00 | 16 | | | |
| KÄSITTELYAIKA, vrk | 9.62 | 17 | | | |
| LANNAN TULOLÄMPÖTILA, °C | 25.00 | | | | |
| Brutto, kWh/m ³ | 181.98 | Eristys, kWh/m ³ | 11.38 | Lämpäminen, kWh/m ³ | 18.78 |
| | | | | Poistoilma, kWh/m ³ | 60.41 |
| Bruttoteho, kW | 22.75 | Eristyshäviö, kW | 1.42 | Lämpenemishäviö, kW | 2.35 |
| | | | | Poistoilmahäviö, kW | 7.55 |
| NETTO | 91.41 kWh/m ³ | | | | |
| NETTO | 11.43 kW | | | | |

Tuleva ilma otetaan sikalasta +15°C (tai lämmitetään poistoilmalla), $\varphi = 80\%$.

| | | | | | |
|------------------------------|---------------------------|-----------------------------|-------|--------------------------------|-------|
| KOMPOSTORIN LÄMPÖTILA, °C | 40.00 | 1 | | | |
| LISÄYS/VRK, m ³ | 3.00 | 2 | | | |
| LISÄYSTEN LUKUM./VRK | 1.00 | 3 | | | |
| LIETEMÄÄRÄ, m ³ | 28.86 | 4 | | | |
| LANNAN TULOLÄMPÖTILA, °C | 25.00 | 5 | | | |
| KIINTOAINEPITOISUUS, % | 9.00 | 6 | | | |
| ULKOLÄMPÖTILA, °C | -5.00 | 7 | | | |
| ILMAMÄÄRÄ, m ³ /h | 152.34 | 8 | | | |
| Volatile solids, % | 70.00 | 9 | | | |
| N/C-SUHDE | .15 | 10 | | | |
| k-ARVO, W/m ² °C | .50 | 11 | | | |
| ILMAN LÄMPÖTILA | 15.00 | 12 | | | |
| ILMAN KOSTEUS, % | 80.00 | 13 | | | |
| LIUKENEMISPROSENTTI, % | 20.00 | 14 | | | |
| SÄILIÖN HALKAISIJA, m | 3.50 | 15 | | | |
| SÄILIÖN KORKEUS, m | 4.00 | 16 | | | |
| KÄSITTELYAIKA, vrk | 9.62 | 17 | | | |
| ILMAN LÄMPÖTILA | 15.00 | | | | |
| Brutto, kWh/m ³ | 181.98 | Eristys, kWh/m ³ | 11.38 | Lämpäminen, kWh/m ³ | 18.78 |
| | | | | Poistoilma, kWh/m ³ | 45.98 |
| Bruttoteho, kW | 22.75 | Eristyshäviö, kW | 1.42 | Lämpenemishäviö, kW | 2.35 |
| | | | | Poistoilmahäviö, kW | 5.75 |
| NETTO | 105.84 kWh/m ³ | | | | |
| NETTO | 13.20 kW | | | | |

Säilytetään netto alkuperäisenä, mutta nostetaan lämpötila-
tasoa 40 °C:sta 45 °C:een.

| | | | | | |
|--|--------------------------|-------|-------|-------|--|
| KOMPOSTORIN LÄMPÖTILA, °C | 45.00 | 1 | | | |
| LISÄYS/VRK, m ³ | 3.00 | 2 | | | |
| LISÄYSTEN LUKUM./VRK | 1.00 | 3 | | | |
| LIETEMÄÄRÄ, m ³ | 28.86 | 4 | | | |
| LANNAN TULOLÄMPÖTILA, °C | 25.00 | 5 | | | |
| KIINTOAINEPITOISUUS, % | 9.00 | 6 | | | |
| ULKOLÄMPÖTILA, °C | -5.00 | 7 | | | |
| ILMAMÄÄRÄ, m ³ /h | 117.39 | 8 | | | |
| Volatile solids, % | 70.00 | 9 | | | |
| N/C-SUHDE | .15 | 10 | | | |
| k-ARVO, W/m ² °C | .50 | 11 | | | |
| ILMAN LÄMPÖTILA | 15.00 | 12 | | | |
| ILMAN KOSTEUS, % | 80.00 | 13 | | | |
| LIUKENEMISPROSENTTI, % | 20.00 | 14 | | | |
| SÄILIÖN HALKAISIJA, m | 3.50 | 15 | | | |
| SÄILIÖN KORKEUS, m | 4.00 | 16 | | | |
| KÄSITTELYAIKA, vrk | 9.62 | 17 | | | |
| KOMPOSTORIN LÄMPÖTILA, °C | 45.00 | | | | |
| Brutto, kWh/m ³ Eristys, kWh/m ³ Lämpäminen, kWh/m ³ Poistoilma, kWh/m ³ | 164.78 | 12.64 | 25.05 | 50.41 | |
| Bruttoteho, kW Eristyshäviö, kW Lämpenemishäviö, kW Poistoilmahäviö, kW | 20.60 | 1.58 | 3.13 | 6.30 | |
| NETTO | 76.68 kWh/m ³ | | | | |
| NETTO | 9.59 kW | | | | |

Tehostetaan ilmastusta; liukenemisprosentti nousee 20%:sta
30%:iin.

| | | | | | |
|--|--------------------------|-------|-------|-------|--|
| KOMPOSTORIN LÄMPÖTILA, °C | 45.00 | 1 | | | |
| LISÄYS/VRK, m ³ | 3.00 | 2 | | | |
| LISÄYSTEN LUKUM./VRK | 1.00 | 3 | | | |
| LIETEMÄÄRÄ, m ³ | 28.86 | 4 | | | |
| LANNAN TULOLÄMPÖTILA, °C | 25.00 | 5 | | | |
| KIINTOAINEPITOISUUS, % | 9.00 | 6 | | | |
| ULKOLÄMPÖTILA, °C | -5.00 | 7 | | | |
| ILMAMÄÄRÄ, m ³ /h | 78.26 | 8 | | | |
| Volatile solids, % | 70.00 | 9 | | | |
| N/C-SUHDE | .15 | 10 | | | |
| k-ARVO, W/m ² °C | .50 | 11 | | | |
| ILMAN LÄMPÖTILA | 15.00 | 12 | | | |
| ILMAN KOSTEUS, % | 80.00 | 13 | | | |
| LIUKENEMISPROSENTTI, % | 30.00 | 14 | | | |
| SÄILIÖN HALKAISIJA, m | 3.50 | 15 | | | |
| SÄILIÖN KORKEUS, m | 4.00 | 16 | | | |
| KÄSITTELYAIKA, vrk | 9.62 | 17 | | | |
| LIUKENEMISPROSENTTI, % | 30.00 | | | | |
| Brutto, kWh/m ³ Eristys, kWh/m ³ Lämpäminen, kWh/m ³ Poistoilma, kWh/m ³ | 164.78 | 12.64 | 25.05 | 33.61 | |
| Bruttoteho, kW Eristyshäviö, kW Lämpenemishäviö, kW Poistoilmahäviö, kW | 20.60 | 1.58 | 3.13 | 4.20 | |
| NETTO | 93.49 kWh/m ³ | | | | |
| NETTO | 11.69 kW | | | | |

Pienennetään säiliötä niin, että viipymä lyhenee viiteen vuorokauteen.

| | | | | | | | |
|------------------------------|-------------------------|-----------------------------|------|-----------------------------------|-------|--------------------------------|-------|
| KOMPOSTORIN LÄMPÖTILA, °C | 45.00 | 1 | | | | | |
| LISÄYS/VRK, m ³ | 3.00 | 2 | | | | | |
| LISÄYSTEN LUKUM./VRK | 1.00 | 3 | | | | | |
| LIETEMÄÄRÄ, m ³ | 14.72 | 4 | | | | | |
| LANNAN TULOLÄMPÖTILA, °C | 25.00 | 5 | | | | | |
| KIINTOAINEPITOISUUS, % | 9.00 | 6 | | | | | |
| ULKOLÄMPÖTILA, °C | -5.00 | 7 | | | | | |
| ILMAMÄÄRÄ, m ³ /h | 71.42 | 8 | | | | | |
| Volatile solids, % | 70.00 | 9 | | | | | |
| N/C-SUHDE | .15 | 10 | | | | | |
| k-ARVO, W/m ² °C | .50 | 11 | | | | | |
| ILMAN LÄMPÖTILA | 15.00 | 12 | | | | | |
| ILMAN KOSTEUS, % | 80.00 | 13 | | | | | |
| LIUKENEMISPROSENTTI, % | 30.00 | 14 | | | | | |
| SÄILIÖN HÄLKÄISIJA, m | 2.50 | 15 | | | | | |
| SÄILIÖN KORKEUS, m | 4.00 | 16 | | | | | |
| KÄSITTELYAIKA, vrk | 4.91 | 17 | | | | | |
| SÄILIÖN HÄLKÄISIJA, m | 2.50 | | | | | | |
| Brutto, kWh/m ³ | 147.94 | Eristys, kWh/m ³ | 8.25 | Lämpölämmitys, kWh/m ³ | 26.44 | Poistoilma, kWh/m ³ | 30.88 |
| Bruttoteho, kW | 18.49 | Eristyshäviö, kW | 1.03 | Lämpenemishäviö, kW | 3.30 | Poistoilmahäviö, kW | 3.86 |
| NETTO | 82.37kWh/m ³ | | | | | | |
| NETTO | 10.30kW | | | | | | |

KIRJALLISUUSLUETTELO

- /Baa 78/ Baader, W., Ahlers, R., Foam destruction in slurry aeration.
- /Be 82/ Berthelsen, L., Process Parameters in Composting of Liquid Manure. Seminar on Composting of organic Wastes, Aarhus 8.-9.14.1982, s. 232-244.
- /Bi 83/ Biokaasun määrän ja käyttömahdollisuuksien kartoitus. KTM energiaosasto, sarja D:24, Helsinki, 1983. Ekono Oy.
- /Ch 83/ Chen, Y.R. Kinetic Analysis of Anaerobic Digestion of Pig Manure and its Design Implications. Agricultural Wastes, Vol 8 no 2, 1983, 65-81.
- /Eg 83/ Egger, K., Kaufmann, R., Verbesserung des Energiehaushaltes einer Biogasanlage mit Güllewärmetauscher. Blätter für Landtechnik, Mai 1983, 224, 1-10.
- /Ev 82/ Evans, M.R., Svoboda, I.F. Recovery of heat from aerated liquid manure. Seminar on Composting of organic Wastes, Aarhus, 8-9.11.1982, 133-168.
- /Gi 83/ Ginnivan, M., J., Aerobic Mesophilic and Thermophilic Treatment of Piggery Wastes at Short Retention Times. Transactions of the ASAE, 1983, s. 517-518.
- /Gj 82/ Gjervan, J.O., Aerators for composting of liquid manure. Seminar on Composting of organic Wastes, Aarhus, 8-9.11.1982, 186-208.

- /Gr 74/ Grant, F. Liquid aerobic composting of cattle wastes and evaluation of byproducts. EPA (Environmental Protection Agency) -56012-74-034. May 1974, 7-10.
- /Gö 81/ Göbel, W. Wärme aus belüfteter Schweinegülle. Landtechnik 7/8, August 1981, 345-349.
- /Ha 80/ Haug, R.T. Compost Engineering. Principles and Practice. Ann Arbor Science Publishers inc. 1980. Ann Arbor, Michigan USA, 655 s.
- /Has 83/ Hashimoto, A.G. Thermophilic and Mesophilic Anaerobic Fermentation of Swine Manure. Agric. Wastes Vol 6 No 3, 1983, 175-191.
- /Hau 82/ Hauge, P., Rotating Heat Exchanger. Seminar on Composting of organic Wastes, Aarhus 8.-9.11.1982, 222-231.
- /Hav 81/ Have, H. Energi fra afgrøder. Jordbrugsteknisk institut. Den kgl. veterinær- og landbohøjskole. Medd. no 39. Juni 1981, 102 s.
- /Ho 81/ Holma, M. Esitutkimus lannan hyväksikäytöstä. Suomen itsenäisyyden juhlavuoden 1967 rahasto. Helsinki 1981, 65 s.
- /Ka 80/ Kallio-Mannila, R., Nurmisto, U., Lämmitysjärjestelmien tyypiratkaisut. Työtehoseuran julkaisuja 229, Helsinki, 1980.
- /Ke 84/ Kempainen, E., Paljonko ravinteita karjanlannasta? Maatilan Pirkka n:o 4, 1984, s. 6, 29.
- /Le 85/ Lehto, A., Suullinen tiedonanto, 1985.

- /Maa 85/ Maataloustilastollinen kuukausikatsaus n:o 6
1985. Maatilahallitus, Helsinki.
- /Maa 83/ Maatilaräkisteri 1983. Suomen virallinen tilas-
to Maatilahallitus, Helsinki.
- /Ma 83/ Martin, J.H., Loehr, R., Pilbeam, Th. E.,
Animal Manures as Feedstuffs: Nutrient
Characteristics. Agricultural Wastes Vol 6, No
3, 1983, 131-166.
- /Mu 85/ Muhonen, S. Aerobiprosessi biokaasureaktorin
lämmityksessä. Pro-gradu-tutkielma. Jyväskylän
yliopisto, fysiikan laitos, Espoo 1985, 102 s.
- /Mä 83/ Määttä, R., Pulkkanen, P., Latola, P. Teolli-
suusjätevesien aerobinen ja anaerobinen suoda-
tus I-II. Helsingin teknillinen korkeakoulu,
puunjalostusosasto, ympäristötekniikan labora-
torio Espoo 1983, 69+70 s.
- /Pa 84/ Paatero, J., Lehtokari, M., Kemppainen, E.,
Kompostointi. WSOY, 1984, Juva, 269 s.
- /Pe 84/ Peltola, I. Komposti ei ole tunkio. Teho
4/1984. 44-45 s.
- /Py 84/ Pyykkönen, M., Hanhijoki, I., Nieminen, L.,
Sikalan ilmanvaihtolaitteiden toiminta.
Tutkimustiedote N:o 46, Helsingin yliopisto,
Maatalousteknologian laitos, 1985.
- /Sc 84/ Schuchardt, F. Wärmeentzug bei der Komposti-
erung von Schnittholz. Landbauforschung
Völkenrode. Institut für Technologie. 1984. 34.
Jahrgang, Heft 4, 189-195.

- /Th 83/ Thostrup, P., Berthelsen, L., Komposteringsvarme fra fast staldgødning. Jordbrugsteknisk institut. Den kgl. veterinaer og landbohøjskole. Meddelelse nr 43, 1983, 80 s.
- /Tj 82/ Tjernshaugen, O. Methods for recovery of heat from aerated liquid manure. Department of Building Technology in Agriculture. Agricultural University of Norway. Intern serie 339, 1982.
- /Tj, Gj 83/ Tjernshaugen, O., Gjervan, J.O., 1983, Ås, Norja.

LIETELANTANÄYTE, Mäenpääjn:o 7/ IIpvm, näyte otettu 24/4 klo 8.30pvm, näyte tutkittu 24/4 klo 16.00ESITIEDOT

| | | | |
|-------------------|---------|-------------|---|
| näyteastian paino | täytenä | <u>3860</u> | g |
| | tyhjänä | <u>1950</u> | g |
| | erotus | <u>1910</u> | g |

pinta 10.3 cmtilavuus $181.46 \text{ cm}^2 \cdot (10.3) \text{ cm}$ 1869 cm^3 tiheys paino/tilavuus (1910 / 1869) 1.02 g/cm^3

lietesäiliön ainemäärä

näytteen paino(g) (1910) $\cdot 13.278$ 25 360 kglietteen tilavuus paino/tiheys 24.86 m^3 säiliön pinta tilavuus/poikkipinta 1.56 m
(poikkipinta = 15.9 m^2)KUIVA-AINEPITOISUUS määritetty pvm 24/4näytteenottoastian pinta ennen näytteenottoa 10.3 cm

| | klo <u>11.30</u> | klo <u>16.00</u> | klo <u>17.10</u> |
|-------------------|------------------|------------------|------------------|
| näytteen paino | <u>74.0</u> g | <u>12.4</u> g | <u>12.35</u> g |
| näyteastian paino | <u>6.6</u> g | <u>6.6</u> g | <u>6.6</u> g |
| erotus | <u>67.4</u> g | <u>5.8</u> g | <u>5.75</u> g |

kuiva-ainepitoisuus 8.6 %
=====pH -- pvm _____

KEMIALLINEN HAPEN KULUTUS

pvm 24/4 _____

kellonaika 17.20 _____

näyteastian pinta L 9.9 cm _____ cm _____ cm

KMnO₄-kulutus V 10.4 ml _____ ml _____ ml

laimennussuhde 2400 _____

R= 23730/ L

COD g O₂/l

a = tehokerroin 0.97 * _____ * _____ *

b = veden KMnO₄-- 0.5 ml * _____ ml * _____ ml *

kulutus

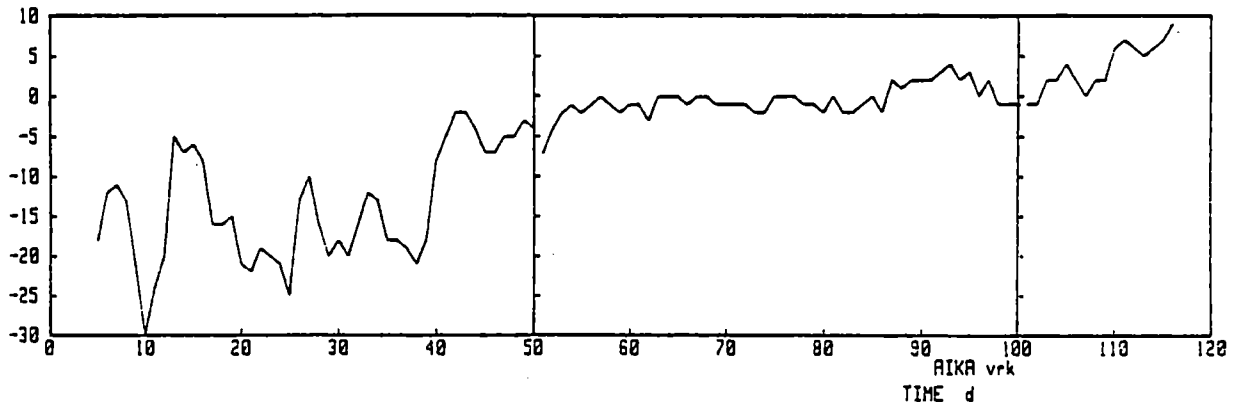
COD g O₂/l 17.3 _____

$$\text{COD} = 0.8 \cdot (a \cdot (V + 20) - 20 - b) \cdot R$$

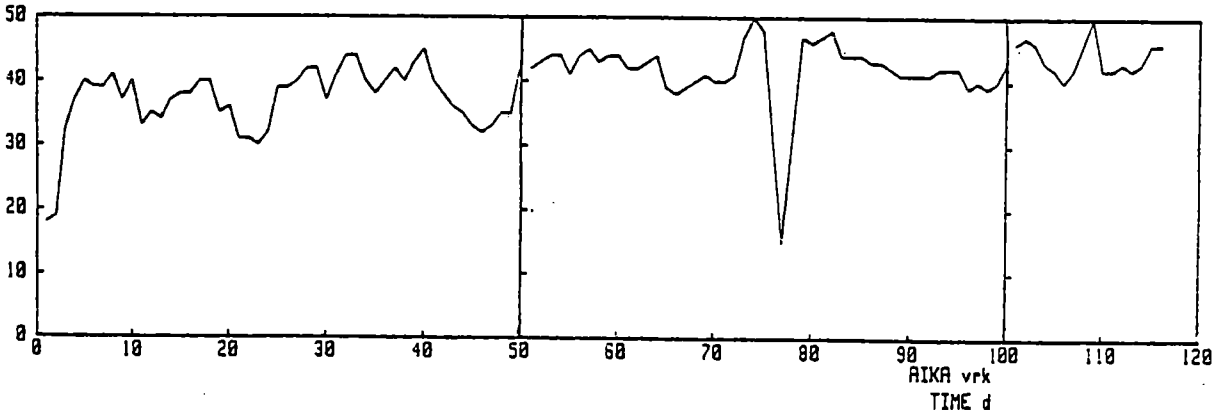
(*määritetty ko. päivänä)

HUOMAUTUKSIA: Oksaalihappo- ja kaliumpermanganaattiliuokset tehty 24/4 -85.

ULKOLÄMPÖTILA °C
OUTSIDE TEMPERATURE



KOMPOSTIN LÄMPÖTILA °C
COMPOST TEMPERATURE



NETTOTEHO kW
NET POWER

