

VAKOLA

Tiedote

52/92



Jorma Karhunen

**Kaasut ja pöly eläinsuojien
ilmanvaihdossa**

VAKOLA

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

Postiosoite PPA 1
03400 VIHTI

Postal address PPA 1
SF-03400 VIHTI
FINLAND

Puhelin (90) 224 6211
Telephone int. + 358 0 224 6211

Telefax (90) 224 6210
Telefax int. + 358 0 224 6210

TIIVISTELMÄ

Karjasuojien eläintiheys on niin suuri, että rakennuksen vuotojen kautta tapahtuva ilman vaihtuminen ei riitä. Tarvitaan ilmanvaihtojärjestelmä poistamaan eläinten ja pieneliöitten tuottama kosteus ja haitalliset kaasut, sekä kesällä liiallinen lämpö. Tuotannon kannalta tärkeät olosuhdetekijät ovat lämpötila, kosteus, pölyn ja haitallisten kaasujen pitoisuus sekä vetoisuus. Eläinsuojaa lämmittämällä voidaan talviaikainenkin ilmanvaihto suurentaa riittävän suureksi poistamaan kaasut. Taloudellisempaa olisi kuitenkin vähentää kaasujen syntymistä kuin poistaa jo syntyneitä. Viime aikoina eläinsuojien ilmanvaihtoa on alettu parantaa myös pölyä suodattamalla ja tuloilmaa jäähdyttämällä, jolloin voidaan jo puhua ilmastoinnista. Laskelmien mukaan lihasikojen kasvu ulkolämpötilan ollessa 30 °C nopeutuu noin 60 %, kun ilma jäähdytetään vettä sumuttamalla, verrattuna tilanteeseen, jossa sisä- ja ulkolämpötilan välinen ero pidetään yksinomaan ilmanvaihdon avulla enintään 2 °C:n suuruisena /3/.

SISÄLLYSLUETTELO

TIIVISTELMÄ

1.	KAASUT	4
1.1	Kaasujen muodostuminen ja vaikutus	4
1.2	Kaasunmuodostuksen vähentäminen	5
1.2.1	Tarkoituksenmukainen ruokinta	5
1.2.2	Karsinoitten järjestely	5
1.2.3	Eläinten totuttaminen siisteyteen	6
1.2.4	Lämpötilan alentaminen	7
1.2.5	Tuloilman suuntaaminen	8
1.2.6	Lannan käsittely	10
1.3	Kaasujen leviämisen estäminen	11
1.4	Kaasujen laimentaminen ja suodatus	12
2.	PÖLY JA PIENELIÖT	15
2.1	Pölyn muodostuminen ja vaikutus	15
2.2	Pölynmuodostuksen vähentäminen	16
2.3	Pölyn leviämisen estäminen	16
2.4	Pölyn laimentaminen	17
2.5	Pölyn suodatus	17
3.	ILMAN LAADUN SEURANTA	19

1. KAASUT

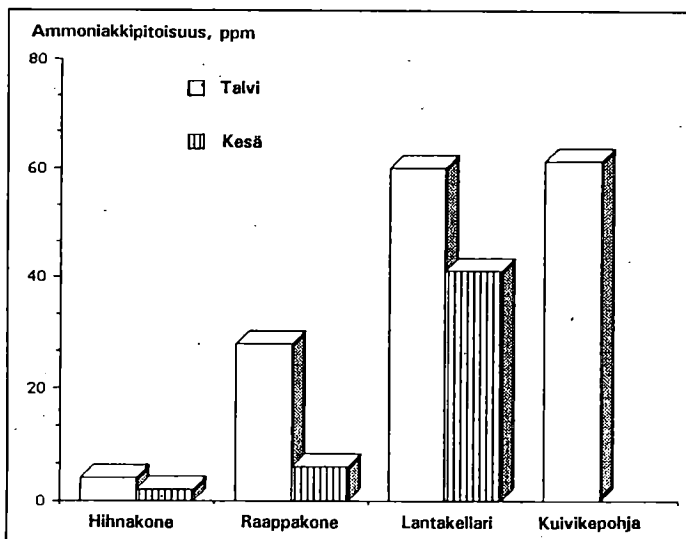
1.1 Kaasujen muodostuminen ja vaikutus

Eläinten ja happea aineenvaihdunnassaan käyttävien pieneliöitten hengityksen päätuotteina muodostuu vettä, hiilidioksidia (CO_2) ja lämpöä. Ammoniakia (NH_3) syntyy nopeasti virtsan ureasta ja hitaammin lannan kuiva-aineen hajotessa. Ilmattomassa tilassa elävät (anaerobiset) pieneliöt tuottavat lantaa ja rehunjätteitä hajottaessaan lisäksi metaania (CH_4) ja pahanhajuisia, hapettomia tai vähähappisia haihtuvia yhdisteitä, kuten myrkyllistä rikkivetyä (H_2S) ja syaanivetyä (HCN). Metaania muodostuu myös lehmien pötsitoiminnassa. Haisevia lantakaasuja ja -höyryjä on pystytty erottamaan noin 80 eri lajia.

Ylimääräistä kosteutta haihtuu, jos lattiat ovat kosteat tai märän lannan likaamia. Pihatoissa lasketaan vesihöyryn tuotannon olevan 10...30 % suurempaa kuin parsinavetoissa /9/. Likaisten eläinten ja kostean lattian johdosta sikalan kaasujen tuotanto saattaa kasvaa seuraavasti /26 s. 59/:

- vesihöyry	1,3...1,4	-kertaiseksi,
- hiilidioksidi	1,6...1,8	" ,
- ammoniakki	2...3	" ja
- haju	3...3,8	".

Hajua voidaan siten pitää hyvänä likaisuuden ja ilmanvaihtotarpeen mittana, vaikka se ei yleensä olekaan suoraan verrannollinen jonkin kaasun, esimerkiksi ammoniakkin määrään. Kaasujen tuotanto lisääntyy edelleen, jos lanta varastoidaan eläinsuojassa. Ammoniakkipitoisuus oli pienin sellaisessa munituskanalassa, josta lanta poistettiin usein, kuva 1. Kuivikepohjakanalassa ammoniakkin kehittyminen saattaa olla yhtä suurta kuin lantakellari-kanalassa. Sen sijaan elävien sienten ja bakteerien määrä kuivikepohjakanalan ilmassa oli vain 1/4...1/10 lantakellari-kanalan arvoista, mutta suunnilleen yhtä suuri kuin lantakoneilla varustetuissa kanaloissa.



Kuva 1.

Ammoniakkipitoisuudet munitus-kanaloissa, joissa on erilaiset lannanpoistomenetelmät (GUSTAFSSON & MÄRTENSSON 1990).

Ilman suhteellisen kosteuden tulisi olla 60...80 %. Kosteassa ilmassa lisääntyvät erilaiset pieneliöt, jolloin hengityselinsairauksien ja utaretulehduksen vaara kasvaa. Liian kuivassa taas viihtyvät muutamat sairautta aiheuttavat virukset ja pölyn muodostuminen lisääntyy. /7/. Kosteaa ilmaa myös lahottaa puu-, ja ruostuttaa rautarakenteet.

Hiilidioksidi ja metaani ovat hajuttomia ja myrkyttömiä, mutta tukahduttavia. Lantakourussa tai lantasaäiliössä lannan pinnalla oleva metaani ja ilman seos saattaa myös räjähtää.

Ammoniakki ärsyttää limakalvoja, minkä vuoksi se pienentää eläinten vastustuskykyä sairauksia vastaan. Pienetkin pitoisuudet (2...22 ppm) lisäävät sikojen sairastavuutta merkittävästi, jos ilmassa on lisäksi samanaikaisesti taudinaiheuttajia ja pölyä. Kaasujen yhteisvaikutus pienensi eräässä kokeessa lihasikojen kasvua ja rehuhyötysuhdetta 11,5 %, kun siirryttiin minimi-ilmanvaihtoon, jolloin hiilidioksidipitoisuus suureni 1 000:sta 3 500:aan ppm, ammoniakkipitoisuus 0:sta 30:een ppm ja rikkivety pitoisuus 0:sta 5:een ppm. /13/.

Rikkivety johtaa runsaasti esiintyessään nopeasti kuolemaan ja aiheuttaa jo pieninä pitoisuuksina kroonisia, oireiltaan epäselviä myrkytystiloja. Rikkivetyä irtoaa lietelannasta jatkuvasti vähäisiä määriä lannan valuessa lietekanavissa olevien kynnyksien yli ja runsaasti lietteen sekoituksen aikana. Jos navetan johonkin kohtaan tulee rikkivetyä, siinä paikassa olevat lehmät lypsävät huonosti, lahtuvat, aristelevat jalkojaan ja niiden karvapeite on kiilloton sekä nuhruisempi kuin muilla. /7/.

1.2 Kaasunmuodostuksen vähentäminen

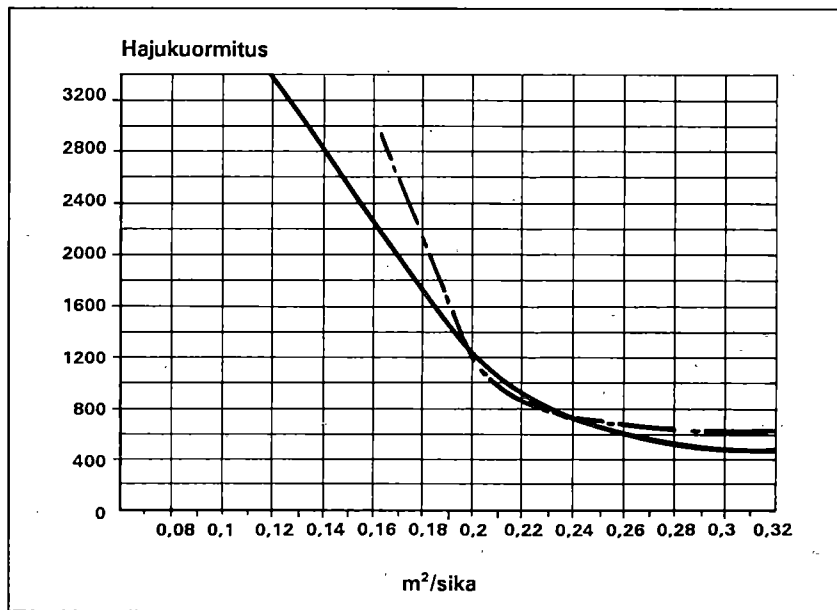
1.2.1 Tarkoituksenmukainen ruokinta

Kun lanta on vähäravinteista, se tuottaa myös vähän kaasuja. Täysikasvuinen sika sisältää 2,0...2,2 kg typpeä ja 0,44 kg fosforia; ruokinnassa annettu ylimäärä poistuu lannassa. Lannan tyyppien pienentämiseksi alkukasvatusrehu saa sisältää enintään 17 % ja loppulihotusrehu (yli 60 kg painaville eläimille) enintään 14 % raaka-alkuaista. On myös rehun lisäaineita, jotka vähentävät ureaasi-entsyymien muodostumista ja ohentavat ravinnon paremmin sulavaksi. Erittävän fosforin määrää voidaan pienentää esimerkiksi 1,18 kg:sta 0,83 kg:aan rehun fosforimäärää - vähentämällä ja edelleen 0,61 kg:aan lisäämällä fytaasi-entsyymiä, joka tekee kasveissa olevan fytiinifosforin sian mahassa liukenevaksi. /1/.

1.2.2 Karsinoitten järjestely

Kaasujen muodostuminen lisääntyy nopeasti ja rehun hyväksikäyttö heikkenee karsinakoon suuretessa. MISSFELDin mukaan 8...12 lihasikaa karsinassa on sopivin määrä. Kuivikkeettomassa hoitomuodossa leveät karsinat ovat yleensä puhtaampia ja hajuttomampia kuin kapeat karsinat. Koko karsinan levyinen lanta-

käytävä jota ei, ole erotettu makuualueesta väliseinällä, on parempi kuin makuupaikasta erotettu tai puolen makuualueen levyinen lantakäytävä ilman erottavaa seinää. Hajukuormitus lisääntyy nopeasti, jos lanta-alue on liian pieni, kuva 2. Leveissä karsinoissa ovat mitoitukseltaan onnistuneimmiksi osoittautuneet karsinat, joissa makuualueella on varattu 0,4...0,5 m² sikaa kohti ja lantakäytävää 0,25 m² sikaa kohti, jos lantakäytävä on koko karsinan levyinen. Yli 100 elopainokiloa painavat siat tarvitsevat yli 0,5 m²:n makuualueen. Kapeissa karsinoissa makuualueen pitäisi olla suurempi. MISSFELDin käyttämä hajukuormitusluku on hapen ja haisevan ilman seossuhde hajukynnyksellä (kohta 3, hajun mittaus) kerrottuna ilmanvaihdon määrällä, eli (O₂/haiseva ilma) x poistoilman määrä m³ tunnissa sikaa kohti. /18/.



Kuva 2. Hajukuormitusluku lantakäytävän pinta-alan funktiona (MISSFELD 1974).
 ----- = leveä karsina, -.-.- = kapea karsina

1.2.3 Eläinten totuttaminen siisteyteen

Lihaskojen kasvatuksessa hajunmuodostusta voidaan vähentää totuttamalla porsaat alusta alkaen oikeaan karsinan järjestykseen. MISSFELDin mukaan ne pitää ottaa karsinoihin vatsat tyhjinä, jotta eivät heti likaisi koko karsinaansa. Kuivalle makuualueelle sirotellaan rehua ja lantakäytävä kostutetaan, jotta eläimet erottavat makuu- ja lanta-alueen toisistaan. Jos porsaat ovat kerran tottuneet siihen, että ne ulostavat makuupaikalleen, niin ne pitävät tämän tavan lihotuksen loppuun saakka. Ensimmäisinä päivinä on sen vuoksi hyvä puhdistaa makuupaikka heti, kun eläimet ovat ulostaneet väärään paikkaan. /18/.

1.2.4 Lämpötilan alentaminen

Eloperäistä ainesta hajoittavan pieneliötoiminnan nopeus kaksinkertaistuu jokaista lämpötilan kohoamisen noin 10 astetta kohden. Lähes saman suuruista saattaa olla myös vesihöyryn tai muiden kaasujen kehittymien eläinsuojassa, kuva 3. Talvella lämpötila olisi pidettävä hoitotöiden ja toisaalta rehun kulutuksen huomioonottaen mahdollisimman alhaisena. Esimerkiksi ammoniakkin kehittyminen on vähäistä lannan lämpötilan ollessa alle 10 °C.

Kesällä ilmanvaihto mitoitetaan yleensä niin, että sisäilman lämpötila nousee lämpimällä säällä (21 °C) enintään 3...4 astetta ulkoilman lämpötilaa korkeammaksi. Lämmön siirtymistä eläimistä pois tehostaa nopeutettu ilman liike. Tuloilma pitää silloin ohjata karsinoihin. Jos sitten halutaan pienentää edellä mainittua lämpötilaeroa, pitää jäähdyttää, jotta ilmanvaihdon tarve ei kasvaisi kohtuuttoman suureksi. Eräässä kokeessa tuloilmaa jäähdytettiin suihkuttamalla kylmää kaivovettä lämmönvaihtimen poistupuolelle, jolloin tuloilman lämpötila aleni 5 °C /2/.

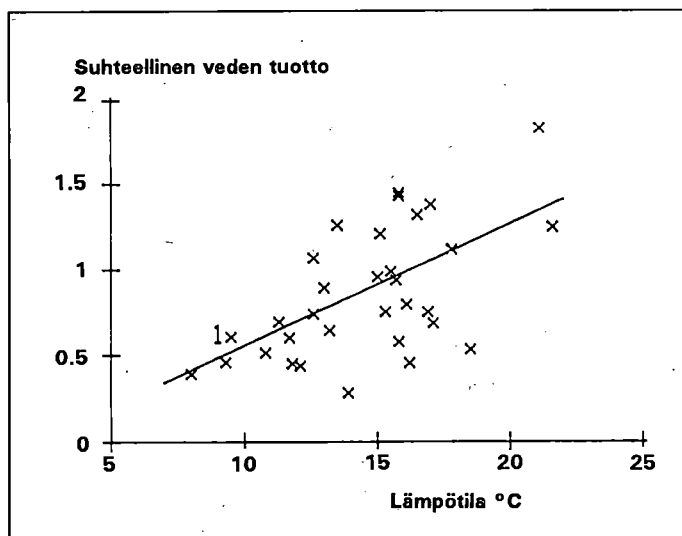
Kuva 3.

VAKOLAn lämmönvaihdintutkimuksen /10/ yhteydessä mitattu vesihöyryn kehittyminen sikalan eri lämpötiloissa.

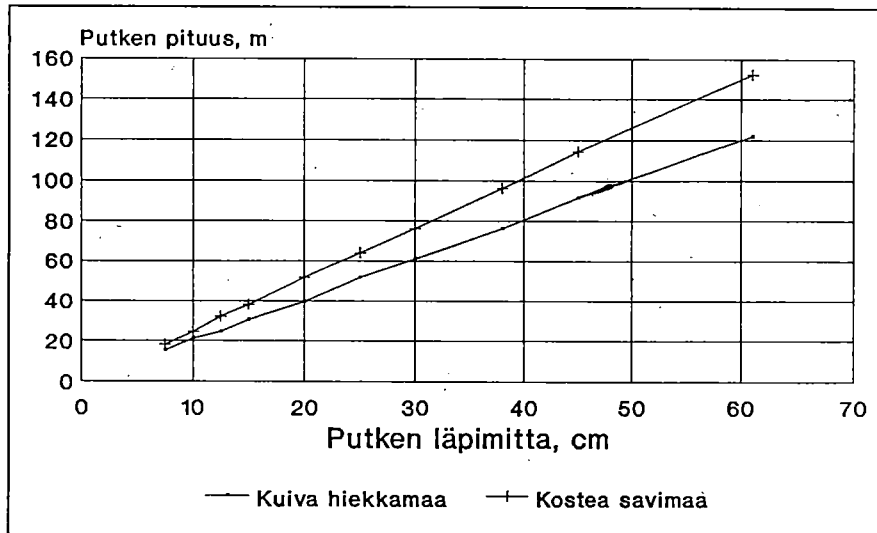
Tuloilmaa voidaan viilentää myös haihduttamalla siihen vettä. Ilman lämpötila alenee noin 2 astetta, kun ilmaan suihkutetaan niin paljon vettä, että sen suhteellinen kosteus suurenee

10 %-yksikköä. Ulkoilma on kuumana päivänä yleensä niin kuivaa (noin 40 %), että sitä voidaan vielä kostuttaa. Eräässä tapauksessa vesisuuttimet asennettiin lantakäytävän päälle. Lämpötilan säätimen ohjaama suihkutusaika oli veden säästämiseksi rajoitettu aikareleellä 1...2 minuuttiin ja suihkutusten väliaika suurennettu 12... 20 minuuttiin. Sikalan omistaja laski saaneensa laitteisiin sijoittamansa 4500 mk takaisin jo ensimmäisenä kesänä /20/. Veden pitää tulla suuttimista mahdollisimman hienona sumuna. Hyvin korkeapaineiset suuttimet ovat aiheuttaneet eläimiä häiritsevää ääntä.

Noin 40 metrin pituinen maaputkilämmönvaihdin lämmitti talvella ja jäähdytti kesällä tuloilmaa niin, että sikalan lämpötila pysyi koko vuoden välillä 17-21 °C /4/. Tällöin sikojen lihotusaika satakiloisiksi lyheni kolme viikkoa. VAKOLAn lämmönvaihdintutkimuksessa yksi 47 metrin pituinen ja 20 cm läpimittainen maaputki tuotti jäähdytystehoa 1,9 kW, kun ulkoilman ja maan välinen lämpö-



tilaero oli 18 °C, eli esimerkiksi ulkona 25 °C ja maa putken syvyydessä 7 °C /10/. Maaputken mitoitusohjeita on julkaistu useissa maissa. Lihaskalaan saatetaan suositella esimerkiksi 20 cm:n läpimittaista ja 10...20 metrin pituista putkistoa, kun se mitoitetaan talviaikaisen lämmitystarpeen mukaan. Emakkosikaloihin riittävän lämmitystehon antaa vastaavasti 20 cm:n läpimittainen ja 20...50 metrin pituinen putki, joka silloin myös kesällä jäähdyyttää tehokkaammin /10/. Myös läpimitan suurentuessa putkesta on tehtävä pitempi, jos halutaan lämmönvaihtotehon säilyvän samana, kuva 4.



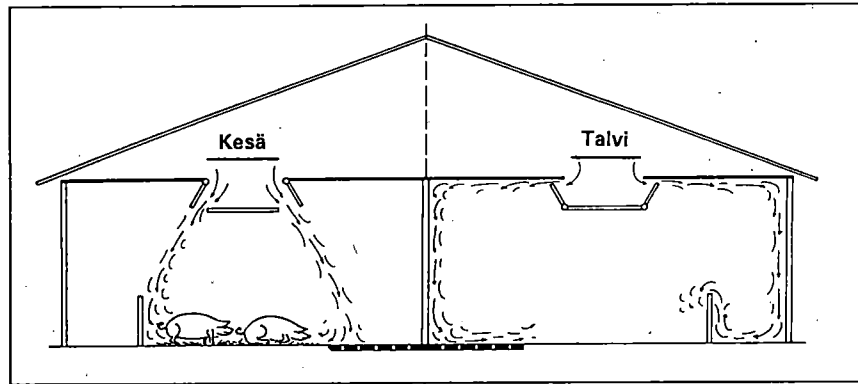
Kuva 4. Maaputken pituus, kun putken läpimitta muuttuu (GOETSCH & MUEHLING 1983).

1.2.5 Tuloilman suuntaaminen

Ilmanvaihtolaitteella voidaan ohjata eläinten käyttäytymistä niin, että ne pysyvät puhtaina. Esimerkiksi karsinassa irrallaan olevien lihasikojen ohjaus perustuu tietoon, että kylmällä säällä siat ulostavat karsinan viileimpään paikkaan. Kuumalla ne haihdutusjäähdyttävät ihoaan tahrimalla itsensä kosteaan lantaan. Talvella kylmä tuloilma on siis ohjattava niin, että lantakäytävä on karsinan viilein osa. Kuumalla säällä tuloilma täytyy tarvittaessa voida suunnata makuualueelle, kuva 5. Tavanomaisessa järjestelmässä ilmanvaihdon määrää säädetään muutamalla puhaltimen nopeutta, jolloin tuloilman heittokuvio muuttuu yöllä toiseksi kuin päivällä, kuva 6. Se aiheuttaa sikalassa lanta-alueen vastaavan siirtymisen ja sopii siten vain esimerkiksi kuivikepohjasikalaan, jossa sikojen toivotaan ulostavan joka puolelle karsinaa.

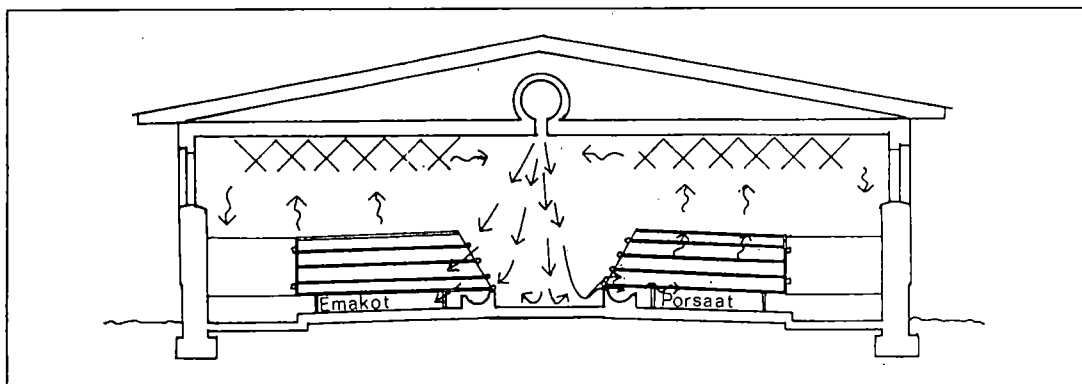
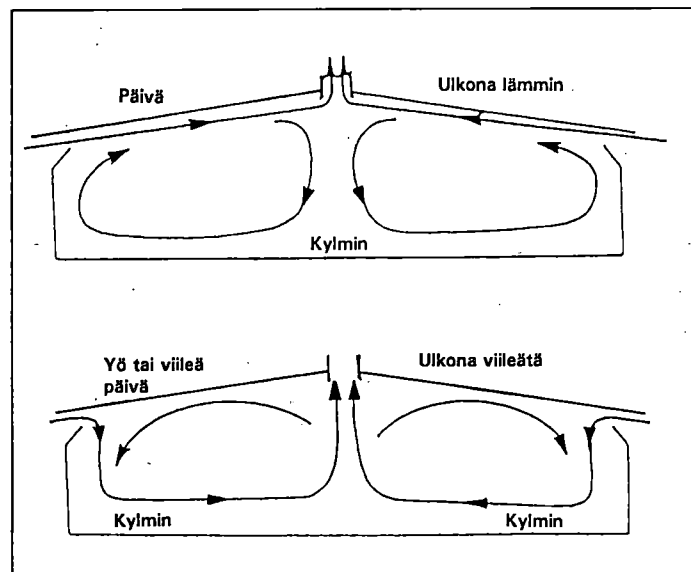
Tavanomaiseen lihasikalaan sopii paremmin järjestelmä, jossa ilmamäärää säädetään ensisijaisesti muuttamalla tuloaukkojen kokoa. Aukon pienentyessä tuloilman nopeus suurenee ja ilman heittokuvio pysyy mahdollisimman samana. Ilma laskeutuu likimain samaan paikkaan, vaikka vaihdettava ilmamäärä muuttuu. Jokaiselle karsinalle tulisi olla sopivasti sijoitettu ja yksilöllisesti säädettävä ja suunnat-

Kuva 5.
Kesäkäyttöön so-
pivan tuloilma-
laitteen muunta-
minen talvikäyt-
töön.



tava tuloaukko, niin että ilma voidaan ohjata lantakäytävälle tai karsinaan. Emak-
kosikalassa emakko ei karsinan kapeuden vuoksi yleensä pääse ulostamaan minne
haluaa. Kun tuloilma on esilämmitettyä, se voidaan tuoda ruokintakäytävän puo-
lelta, kuten kuvassa 7. Kuvassa nuolet kuvaavat ilman rakennukseen nähden poikit-
taista, ja ristiviivoitus vastaavasti pitkittäistä liikettä.

Kuva 6.
Ilman virtauksen muuttuminen
yksinomaan ilmamäärää säädet-
täessä.



Kuva 7. Esilämmitetty ilma puhalletaan emakkosikalaa suunnattavista suuttimista joko
lattian kautta tai suoraan karsinaan /2/.

1.2.6 Lannan käsittely

Lietelannan tyypestä haihtuu eläinsuojan ilmanvaihtoon esimerkiksi 13 %, lantasaaliöstä haihtuu 8 %, eli yhteensä ennen lannan levitystä noin 20 %. Lannan ja virtsan mahdollisimman varhainen erottaminen saattaisi vähentää ammoniakkin haihtumista naudan- ja sianlannasta, koska suurin osa ureasta on virtsassa, kun taas lannassa on urean hajoamista edistävää ureaasi-entsyymiä. Lannan peittämien alueitten olisi oltava mahdollisimman pieniä. Ammoniakin erittyminen loppuu happamuuden ollessa alle pH 6.

Lannan ja rehunjätteiden hajotessa syntyvien hajujen torjumiseksi olosuhteet anaerobisten bakteerien toiminnalle on tehtävä epäsuotuisiksi. Siihen suuntaan vaikuttavat kosteuden pienentäminen, lämpötilan alentaminen, bakteerien toiminta-ajan lyhentäminen eli usein tapahtuva lannanpoisto, happamuuden säätö ja hapettavien olosuhteiden aikaansaaminen. Kosteuden pienentämiseen sisältyvät esimerkiksi lantakäytävien pitäminen kuivina järjestämällä niihin tehokas virtsan erotus tai kuivitus, sekä suhteellisen kosteuden pitäminen pienenä ilmanvaihdon avulla. Kaasuhaittoja pienentävät muun muassa:

- kalteva lattia ja virtsan erotus sekä lantakone
- lantakone rakolattian alla tai lannanpoisto usein viemäriin
- runsas kuivitus
- lannan hapotus tai eristäminen ilmasta

Kuivikepohja alkaa kompostoitua ja lämpenee, jos siinä on ilmaa kuivikkeen raoissa. Eläinsuojan lämpötilaa voidaan silloin alentaa. Kompostissa osa lannan tyypestä sitoutuu solumassaan, osa nitrifikoituu, ja osa haihtuu ammoniakkina. Kompostointikokeissa typpihäviö on ollut 10 %:n luokkaa, vaikka lämpötila on ollut 65 °C, jos kuiviketta on ollut paljon, eli hiili-typpisuhde on ollut vähintään 30, taulukko 1.

Taulukko 1. Typpihäviöt kompostoinnissa hiili - typpisuhteen (C/N) vaihdellessa (WEMME LUND & BERTHELSEN 1977, s. 37).

Lähde	C/N	Kompostoitava aine	Tappiot
Baader	< 6:1	Orgaaninen jäte	Tappioita
Gray & Sherman	< 10:1	Ruoho	Suuret tappiot
Poincelot	< 26:1	Orgaaninen jäte	Vähäiset tappiot
Willy & Pearce	37:1	Jäte	Ei tappioita
Cornfield	40:1	Olki	3...14 %:n tappiot

Eräässä tutkimuksessa taulukon 2 mukaan kuivikesikalat olivat hajuttomampia kuin kuivikkeettomat. Kuivike myöskin eristää eläimiä kylmästä lattiasta ja jarruttaa lattialla virtaavaa kylmää ilmaa, niin että se lämpenee paremmin. Sisälämpötilaa voidaan talvella alentaa 4...8 °C verrattuna siihen, että kuiviketta ei olisi. Turvetta käyttäneiden viljelijöiden mukaan sitä ei tulisi levittää eläinten makuualustalle tahraavuutensa vuoksi vaan suoraan lantakouruun, missä virtsa imeytyy turpeeseen. Tahraavuutta vähentää oljen käyttö turpeen ohella.

Taulukko 2. Sikaloiden hajukuormitusarvoja (MISSFELD 1974).

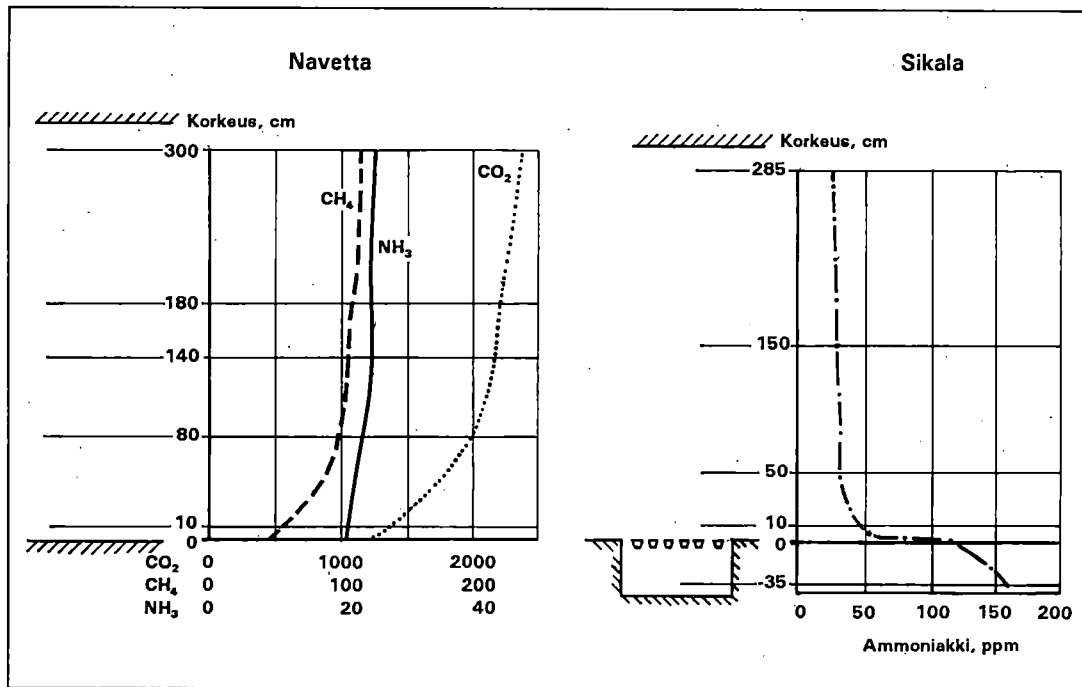
	Hajukuormitusluku		
	Keskiarvo	Paras	Huonoin
Kaikki sikalat	970	169	2771
Kuivikesikalat	750	169	1730
Kuivikkeettomat sikalat	985	214	2771

Lannan hajun vähentämiseksi on ollut tarjolla erilaisia kemiallisesti ja biologisesti vaikuttavia lisäaineita. Vain harvat aineet, kuten entsyymit, ovat olleet tehokkaita. Useiden muiden, kuten hajun peittämisaineiden vaikutus lannan hajuun on ollut vähäinen, tai ne ovat jopa aiheuttaneet pahempaa hajua kuin lanta luonnostaan. Sen sijaan ammoniakkin erittymiseen aineet ovat vaikuttaneet useammassa tapauksessa.

1.3 Kaasujen leviämisen estäminen

Kaasut leviävät diffuusion ja ilman virtausten vaikutuksesta. Kaasujen erilaiset ominaispainot muuttavat ilma-kaasuseoksen ominaispainoa niin vähän, että kaasujen syntymäpaikka ja lämpötilaerot ovat tärkeimmät kaasuja kerrostavat tekijät, kuva 8. Kuvan navetassa raskasta hiilidioksidia on eniten ylhäällä ja sikalassa kevyttä ammoniakkaa on eniten alhaalla. Eläimet lämmittävät ympärillään olevaa ilmaa ja aiheuttavat siihen ylöspäin suuntautuvan liikkeen, jonka nopeus voi olla jopa 0,3 m/s. Ilman nopeus eläinten ympärillä ei laske koskaan aivan nolnaan. Poistoilman ohjaaminen lantakanavien kautta saattaa vähentää eläinsuojan haitallisten kaasujen pitoisuutta, mutta lisää niiden haihtumista ulos, koska lannan lämpeneminen ja ilman virtaus pinnalla lisäävät kaasujen erittymistä.

Kaasujen leviäminen lantasäiliöstä eläinsuojaan estetään rakentamalla lantakouruun vesilukko. Jos vesilukko vuotaa, niin lietesäiliö sekoitetaan tuulisella säällä, eläimet ajetaan makuulta ylös, sekä ilmanvaihto käännetään mahdollisuuksiensa mukaan ylipaineiseksi.



Kuva 8. Lielantanutavetan ja sikalan kaasupitoisuuksia eri korkeuksilla lattiasta (SÄLLVIK, ROBERTSON & van't KLOOSTER 1992)

1.4. Kaasujen laimentaminen ja suodatus

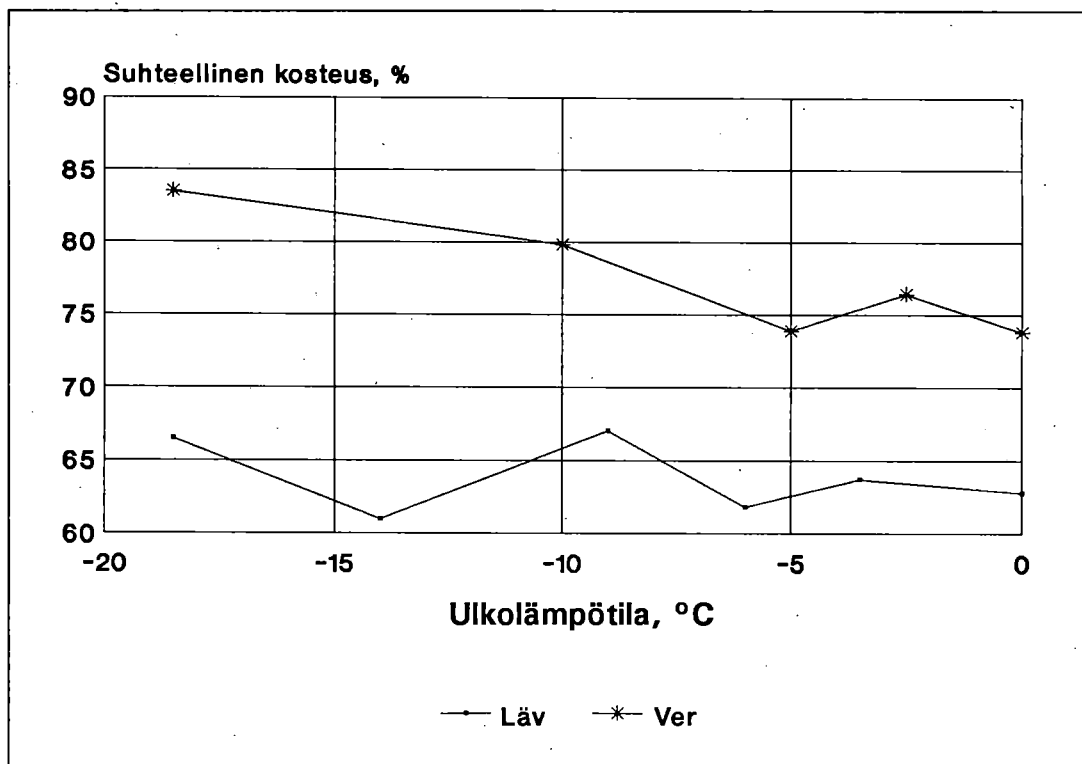
Ilmanvaihdon lisääminen laimentaa kaasuja, mutta myös kuivattaa eläinsuojan pintoja ja pienentää siten kaasuja muodostavaa bakteeritoimintaa. Talviaikainen ilmanvaihto mitoitetaan tavallisesti kosteuden poiston, ja kesäaikainen lämmön poiston mukaan. Kesällä ilmanvaihto on 6...7-kertainen talviaikaiseen verrattuna. Kosteuden poiston mukaan mitoitettun ilmanvaihdon on havaittu normaalitapauksessa poistavan myös muut kaasut. Lämmittämällä voidaan talvella mahdollistaa suurempi ilmanvaihto. Lämmitysenergia onkin monessa ilmanvaihdossa suurin kustannuserä. Puhtaissa eläinsuojissa kulutus saattaa olla laskelmien mukainen. Likaisen karjasuojan esimerkiksi 35 %:n suuruinen vesihöyryn tuotannon lisäys kuitenkin saattaa kasvattaa lämmityksen huipputehon tarpeen kaksinkertaiseksi ja saattaa lisätä vuotuisen energian kulutuksen 7-kertaiseksi, koska joudutaan lämmittämään leudollakin säällä. Ilmanvaihtolaitteen tyypistä riippumatta rakennus kannattaa suunnitella ja rakentaa mitä suurimmalla huolella. Kahdessa kolmasosassa VAKOLAN vuoden 1988 pihattotutkimuksessa tutkituista pihatoista oli kosteusongelmia eli lämmön puutetta /8/. Epäonnistumisia oli sattunut muun muassa eristyksen teossa, kosteuden tuotannon arvioinnissa ja ilmanvaihtolaitteen käytössä. Käyttövirheistä päästään eroon vaatimalla myyjältä laitteen käytön opastus tai testaamalla laite neuvojalla, joka antaa samalla opastuksen. Energian tarpeen ollessa suuri lämmönvaihdin tai huokoinen katto saattaa olla edullinen tuloilman lämmitystapa.

Lämmönvaihtimen käytön katsotaan yleensä olevan kannattava, jos se ottaa niin paljon lämpöä talteen, että lämmönvaihtimen hankintahinta säästyy 2...4 vuodessa. Lämmönvaihdin pienentää vetoisuutta talvella, koska se lämmittää tuloilmaa. Lisäksi ilmanvaihto voidaan pitää koko kylmän ajan normaalia suurempana. Kokeissa lämmönvaihdin on saattanut parantaa ilmanvaihtoa entiseen verrattuna niin, että eläinten kasvu on nopeutunut /4,14/. Tämä parannus yhdistettynä energian säästöön on saattanut maksaa lämmönvaihtimen hinnan jo ensimmäisen vuoden aikana. Energiankulutuslaskelmissa alipaineilmanvaihtolaitteiden omaksi kulu-
tukseksi eläinpaikkaa kohden vuodessa voidaan olettaa:

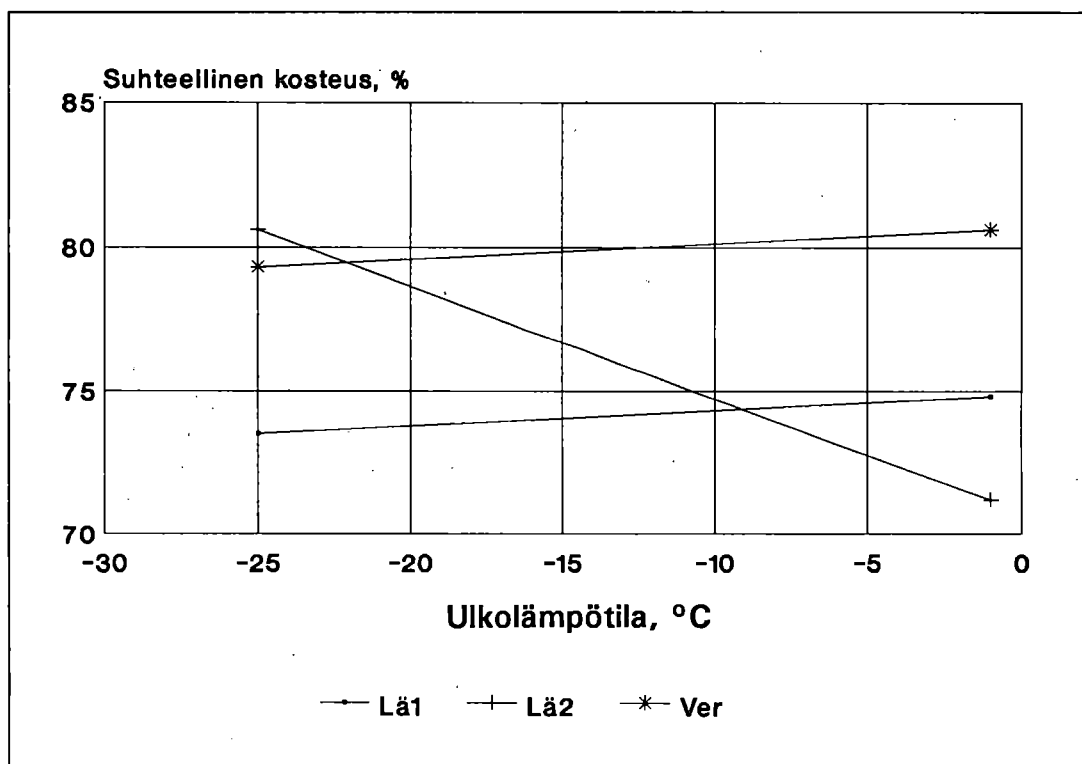
- lypsylehmä nuorkarjoiheen	=	180	kWh/vuosi
- lihakarja	=	80	"
- lihasika	=	20	"
- emakko	=	70	"
- kana	=	1,5	"
- broileri	=	0,5	"

Luonnollisella vedolla toimiva ilmanvaihto ei kuluta energiaa, jos ilmanvaihto säädetään talvella käsin tai omavoimaisella säätimellä sekä kesällä ovet ja ikkunat avaamalla tehostetaan ilmanvaihtoa. Tasapainelaitteet tai tulopuolelle asennetulla jakoputkella varustetut alipainelaitteet kuluttavat tavalliseen alipainelaitteeseen verrattuna 1,3...1,8-kertaisen määrän. Jos putkistoa on sekä tulo- että poistupuolella, voidaan odottaa noin kaksinkertaista kulutusta tavalliseen alipaineilmanvaihtoon verrattuna. Lämmönvaihdinlaitteet kuluttavat 1,5...9-kertaisen määrän alipainelaitteisiin verrattuna. Kunkin lämmönvaihtimen kulutus voidaan arvioida vertaamalla sen puhaltimien moottoritehoa alipaineilmanvaihtolaitteen puhaltimien moottorien tehoon.

Lämmönvaihtimen hyötysuhteen suuruuteen vaikuttaa lämmönvaihtopinnan ala ja vaihtimen toimintaperiaate. Lämmön lisäksi kosteutta palauttavan vaihtimen hyötysuhde on luonnostaan suurempi kuin pelkkää lämpöä palauttavan. Kosteutta palauttavan vaihtimen hyötysuhteen on oltavakin suurempi, koska tarvittavan kosteudenpoiston saavuttamiseksi ilmanvaihdon on oltava normaalia suurempi. Kosteutta palauttava vaihdin on edullinen, jos eläinsuojaa pitää lämmityskaudella-kin kostuttaa. Energiansäästölaskelmia varten voidaan ilmoittaa lämmönvaihtimen hyötysuhteen sijasta tai lisäksi lämmitysteho, kW. Vertailevissa mittauksissa mitataan samankokoisen tavallisella ilmanvaihdolla varustetun osaston lämmittämi-
seen ja ilmanvaihtoon kulunut energia ja olosuhteet sekä verrataan niitä lämmön-
vaihdinosaston arvoihin. Kahdessa kokeessa lihasikaloiden lämmönvaihdinosastot
olivat kuivempia kuin vertailuosastot, vaikka vertailuosastoissa oli lämmitystehoa
Eestissä 1000 sian osastossa 45 kW ja Suomessa 470 sian osastossa 38 kW, kuvat
9 ja 10. Lämmönvaihdinosastoissa pystyttiin myös säilyttämään lämpötila lähempä-
nä tavoitetta kuin vertailuosastoissa.



Kuva 9. Ilman suhteellinen kosteus lämmönvaihdin- (Läv) ja vertailusikalassa (Ver) Eestissä /14/.



Kuva 10. Ilman suhteellinen kosteus lämmönvaihdin- ja vertailusikaloidissa Suomessa /10/. Lämmönvaihdin Lä1 talteenotti vain lämpöä, kun taas Lä2 palautti myös 53 % kosteutta.

Vesihöyry voidaan tiivistää kylmäkoneen avulla, samoin ammoniakki voidaan suodattaa sisäilmasta pois. Näin tehtäessä ilmanvaihto voitaisiin lähes lopettaa, mutta pulmana on hiilidioksidi, jonka pitoisuus alkaa kohota. Niinpä esimerkiksi kosteudenpoistajaa käytettäessä on seurattava haitallisten kaasujen pitoisuutta.

Eläinten hoitajalla on oltava kaasu- tai raitisilmanaamari, jos hän joutuu työskentelemään lantakanavissa, -säiliöissä tai -vaunuissa. Esimerkiksi ammoniakille ja rikkivedylle erikseen on saatavissa suodattimet. Raitisilmanaamari on turvallisempi, jos enemmän kuin yhtä kaasua on ilmassa samanaikaisesti.

2. PÖLY JA PIENELIÖT

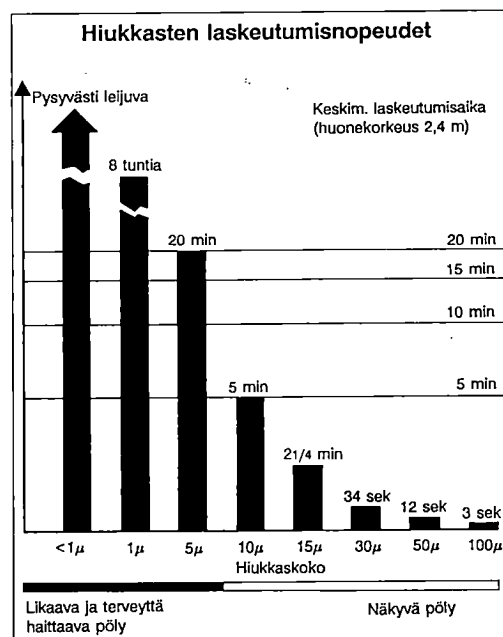
2.1 Pölyn muodostuminen ja vaikutus

Pääosa pölystä on peräisin eläinten ihosta, rehuista, kuivikkeista sekä lannasta. Kokonaispölypitoisuus pienenee eläinten ollessa levossa ja suurenee niiden liikehtiessä sekä ruokinta-aikoina. Hienojakoinen pöly leijaillee ilmassa jatkuvasti ja kiinnittyy pintoihin vain törmätessään niihin, kuva 11. Hienopöly tarkoittaa yleensä pölyä, jonka hiukkaskoko on alle $5 \mu\text{m}$. Pöly pystyy tunkeutumaan sitä syvemmälle keuhkoihin, mitä hienompaa se on. Eläinsuojan pölypitoisuuden ajallinen vaihtelu on suuri. Esimerkiksi sikaloissa pitoisuus voi nousta 3 mg/m^3 :sta 20 mg/m^3 :aan ruokinta-aikoina. Suomessa sianhoitajien hengitysilmassa hoitotöiden aikana oleva kokonaispölypitoisuus oli $7,9 \dots 8,6 \text{ mg/m}^3$ ja orgaanisen pölyn pitoisuus $7,3 \dots 7,7 \text{ mg/m}^3$ /17/. Orgaanisen pölyn haitalliseksi tunnetut pitoisuudet ovat Suomessa 5 mg/m^3 8 tunnin ja 15 mg/m^3 15 minuutin altistusajoina. Ruotsissa sianhoitajien laskettu koko vuotuisen työajan pölyaltistus 12 mg/m^3 ylitti sallitut raja-arvot, jotka ovat 10 mg/m^3 mineraalipölylle ja 5 mg/m^3 orgaaniselle pölylle /16/. Joissakin maissa saattaa yli puolella sianhoitajista ja huomattavalla osalla kananhoitajista olla hengityselinoireita.

Pöly toimii lisäksi haitallisten pieneliöitten ja kaasujen kantajana. Näitten epäpuhtauksien yhteisvaikutus eläinten terveyteen on likimain näiden erillisten vaikutusten summa /13/.

Kuva 11.

Eri kokoisten hiukkasten laskeutumisnopeudet (KIRJALAINEN 1982).



2.2. Pölynmuodostuksen vähentäminen

Rehuista peräisin olevan pölyn muodostukseen voi vaikuttaa rehun laatu. Eräissä laboratorionkokeissa saatiin seuraavat eri rehulaatujen pölyävyysindeksit /17/:

- kylmäilmakuivattu viljajauho	100
- propionihapposäilötty jauho	35
- rakeinen täysrehu	6
- murskattu happosäilötty vilja	alle 0,1

Myös liemiruoan pölyäminen on vähäistä sitä jaettaessa. Käytännössä eri rehulaatujen vaikutus eläinsuojan pölypitoisuuteen on ollut vähäisempää kuin edellä olevan perusteella voisi olettaa. Pölypitoisuus rakeista väkirehua käyttävien pihattojen lypsypaikalla on saattanut olla vain kolmasosan pienempi kuin lypsypaikoilla, joilla jaetaan jauhomaista rehua /11/. Myös liemiruoka on kuivuttuaan pölynnyt, kun eläimet ovat tahrineet sillä nahkansa /13/.

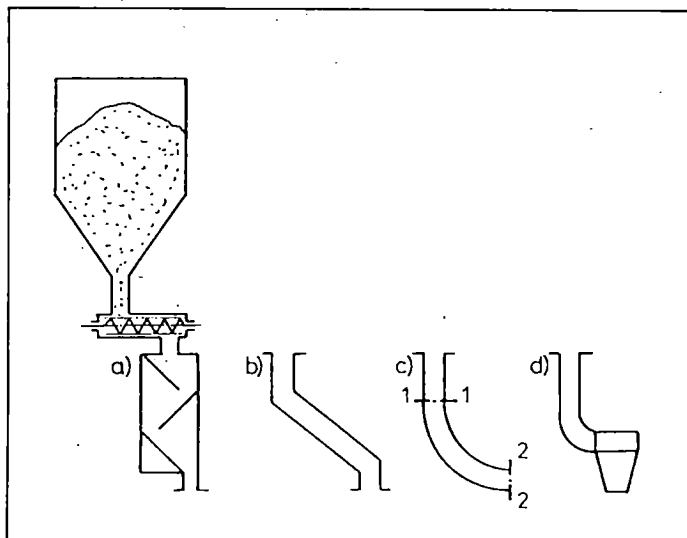
Eläinsuojan ilman kostuttaminen vesisumulla on pienentänyt pölypitoisuutta 50...73 %, ja kostuttaminen kasviöljyllä 50...75 %. /13/. Kostuttaminen on mahdollista, jos eläinsuojan suhteellinen kosteus on alle 80 %, koska rakennuksen vaurioitumisvaaran takia ei voida sallia sitä suurempaa kosteutta.

Olkikuivike on pienentänyt pölypitoisuutta kuivikkeettomaan hoitomuotoon verrattuna, jos olki ei ole ollut homeista /13/.

2.3 Pölyn leviämisen estäminen

Ruokinnan aikana ilmaan pääsevää pölyä voidaan vähentää tuomalla jauhomaiset rehut mahdollisimman matalalta ja hitaasti kaukaloon, kuva 12.

Viikoittainen imurointi pienensi pölypitoisuutta 6 % ja eläinten pesu 10 % /13/. Tuloilma saattaa temmata mukaansa jauhomaista rehua jaettaessa pölyä, jos ilma suuntautuu suurella nopeudella ruokintakouruun. Myös haitallisen vedon estämiseksi ilman nopeus kourun yli voi olla enintään noin 0,5 m/s.



Kuva 12.

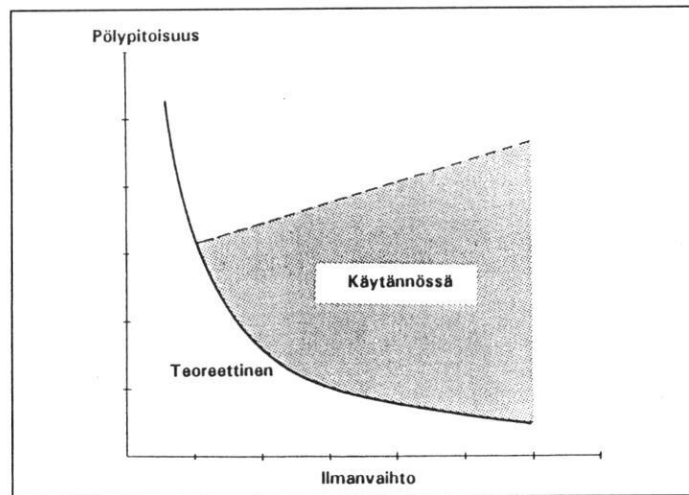
Ruokintalaitteen jakoputken muoto hidastaa putoavan rehun nopeutta.

2.4 Pölyn laimentaminen

Pölypitoisuutta voidaan teoreettisesti pienentää ilmanvaihtoa lisäämällä. Silloin sisäilma kuitenkin kuivuu, mikä puolestaan suurentaa pölyn muodostumista, kuva 13. Eräässä kokeessa pölypitoisuus pysyi samana suhteellisen kosteuden ollessa 40 %...70 % /13/. Tarvittava ilmanvaihdon minimimäärä on kompromissi kosteuden ja kaasujen sekä pölyn suhteen. Monesti pienin pölypitoisuus saavutetaan lähellä suhteellisen kosteuden ylärajaa, eli alueella 70...80 %.

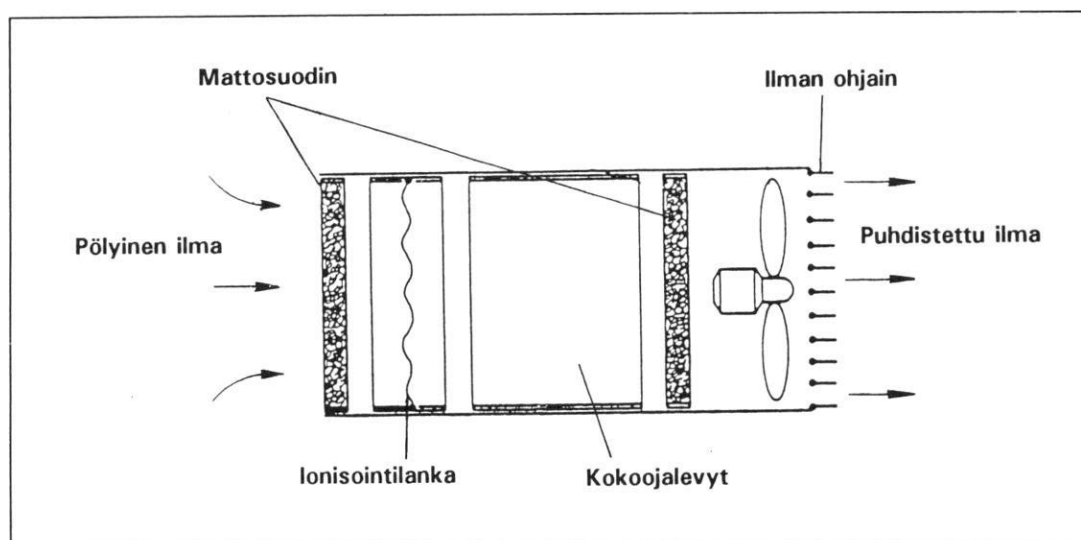
Kuva 13.

Teoreettinen ja käytännössä mahdollinen pölypitoisuus ilmanvaihdon muuttuessa (KOLLMAN ym. 1991).



2.5 Pölyn suodatus

Pölyn vähentäminen mekaanisilla pussi- tai mattosuodattimilla on mahdollista, mutta kallista, suodatin vie ilmakehiä kohden energiaa noin kymmenen kertaa niin paljon kuin sikalan ilmanvaihtopuhallin (0,8...1,0 Wh/m³ ilmaa).



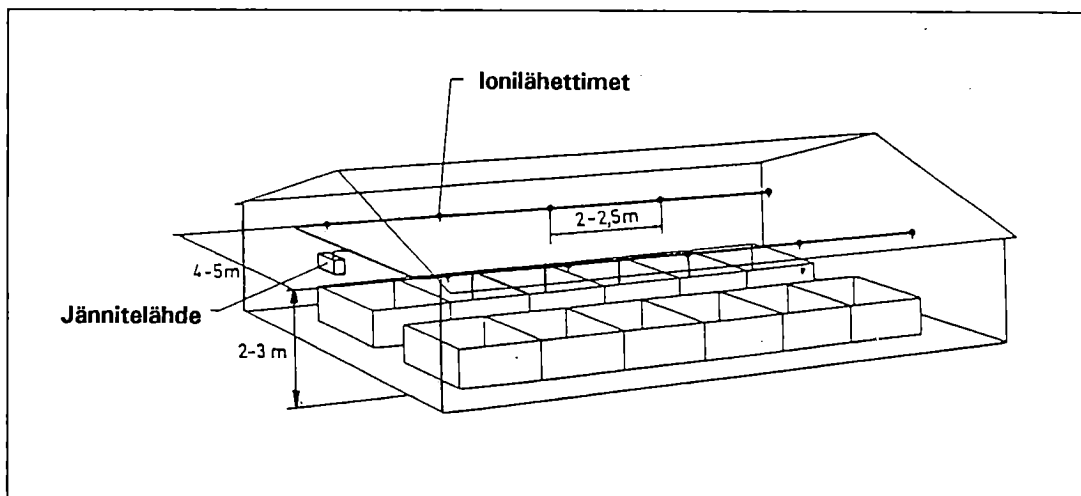
Kuva 14.

Sähkösuodatin.

Sähkösuodattimen ilmanvastus on huomattavasti pienempi kuin mattosuotimen. Sähkösuodattimessa ionisaattori varaa ensin pölyhiukkaset sähköisiksi, jonka jälkeen ne tarttuvat toisenmerkkisellä sähköllä varattuihin kokoojalevyihin, kuva 14. Tanskalaisissa kokeissa sikalan pölypitoisuus on alentunut tällaisen suodattimen ansiosta 43...45 %. Kahden sähkösuodattimen kautta kierrätettiin yhteensä 3 000 m³/h 120 lihasian sikalassa /12/. Erään suosituksen mukaan suodattimien läpi kulkevan ilmamäärän pitäisi olla saman suuruinen kuin varsinainen ilmanvaihtomäärä on.

Englannissa erään lihasikalan sikojen nopeampi kasvu ja rehuhyötysuhteen paraneminen 1,64:stä 1,49:ään säästi työ- ja laitekustannukset huomioonottaen 3,5 mk kasvatettua sikaa kohden. Pölynkeräyslevyt puhdistettiin 2...3 kertaa viikossa. /25/.

Ionisaattori on kuin sähkösuodatin ilman puhallinta ja pölynkeräyslevyjä. Eläinsuojaan ripustetuissa langoissa on parin metrin välein ionilähtettä, joihin johdetaan suurjännite keskusyksiköstä. Pölyn kerääjänä toimivat ilman kanssa kosketukseen joutuvat pinnat, kuva 15. Viimeaikaisissa kokeissa ionisaattorin aikaansaama pölypitoisuuden väheneminen on ollut lihasikalassa 23...26 % ja häkkikanalassa 12...17 %. Lattiakanalassa ionisaattori ei vähentänyt pölypitoisuutta.



Kuva 15. Ionisaattori.

Eläinten hoitaja pystyy suojautumaan pölyltä esimerkiksi moottoroitua henkilökohtaista suojainta käyttäen. Suojaimet ovat yleensä enemmän tai vähemmän hankalia käytössä. Sen vuoksi olisi edullista tehdä ensin eläinsuojassa kaikki mahdollinen siisteyden säilyttämiseksi ja pölyn vähentämiseksi. Taulukossa 3 mainituista keinoista sähkösuodatin ja vedellä sumutus vaikuttavat lupaavilta. Parhaalta näyttää vesisumutus, koska sillä saadaan kaksi etua, pölyn väheneminen ja jäähdytys.

Pölypitoisuutta voidaan vähentää sitä enemmän, mitä kuivempaa ilma lähtötilanteessa on. Suhteellinen kosteus ei kuitenkaan saa nousta yli 80 %:n.

Taulukko 3. Yhdistelmä eri pölynestotoimenpiteiden vaikutuksesta (KOLLMAN ym. 1992).

Menetelmä	Eläinsuoja	Pölyn väheneminen, %	
		Hienopöly	Kokonaispöly
Pölynimurointi 1x/viikko	Sikala	-	0...6
Pintojen pesu 1x/viikko	Sikala	-	10
Pintojen kastelu 2x/tunti	Sikala	0...26	0...15
Ionisaattori	Sikala	26	23
Ionisaattori	Kanala	0	0
Ionisaattori	Kanala	-	12...17
Mattosuodatin	Sikala	-	40...50
Sähkösuodatin	Sikala	43	44
Sumutus vedellä 2x/tunti	Sikala	-	50...73
Sumutus öljyllä	Sikala	-	50...75

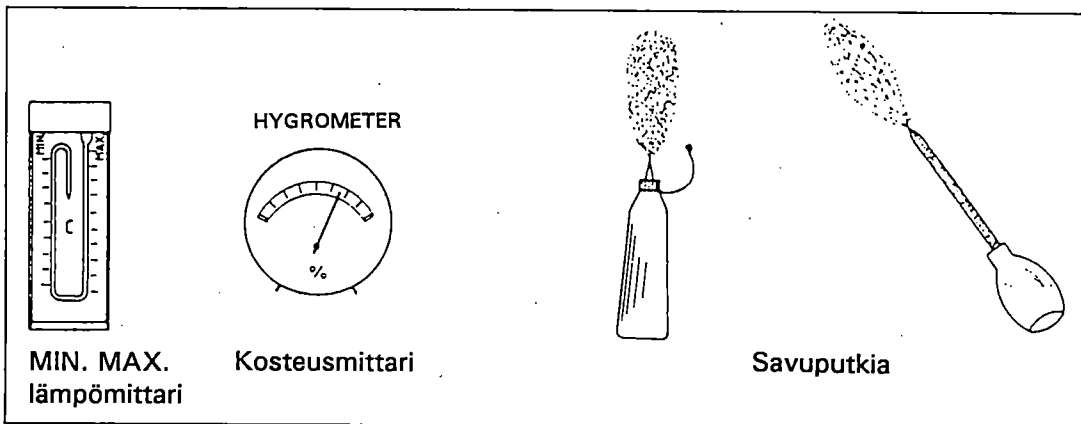
3. ILMAN LAADUN SEURANTA

Lämpötila on eläinten ja ihmisten kannalta tärkein olosuhdetekijä. Suuri kosteus taas vahingoittaa rakennusta. Karjanhoitajan on seurattava lämpötilaa ja suhteellista kosteutta jatkuvasti. Mittarit sijoitetaan tavallisesti huoneen keskelle. Minimi - maksimi- mittarista nähdään lämpötilan vuorokautinen vaihtelu. Suhteellisen kosteuden pitäisi normaalisti olla välillä 60 - 80 %. Huono ilma tuntuu hajuna ja kosteutena, liika lämpö saattaa näkyä eläinten likaisuutena. Näihin mittauksiin on saatava mittareita esimerkiksi optikkoliikkeistä. Näiden lämpömittarien tarkkuus on noin ± 1 °C ja kosteusmittareiden noin ± 5 %-yksikköä. Hiuskosteusmittarin tarkkuuden säilyminen edellyttää, että hiukset esimerkiksi kuukauden välein kostutetaan pitämällä mittaria useita tunteja kostean pyyheliinan sisällä ja säätämällä näyttö silloin noin 95 %:iin.

Ilman liikkeitä voidaan havainnollistaa ja saada vetoisuudesta käsitys ilmanvirtauksen osoitinputkia (esimerkiksi Liitin Oy, Helsinki) käyttäen. Puhaltamalla putkesta pieniä savunpölläyksiä seurataan huoneen ilmavirtoja, kuva 16. Ilman jakaantumisesta ja ilmanvaihdon toiminnasta saa käsityksen myös mittaamalla lämpötiloja eri puolilla eläinsuojaa.

Hiilidioksidi-, ammoniakki-, rikkivety- ja pölypitoisuusmittauksiin on saatava mittaustapua esimerkiksi maaseutukeskuksista ja aluetyöterveyslaitoksilta.

Hajun voimakkuutta pystytään mittaamaan olfaktometrillä melko objektiivisesti, kun mittaajiksi valitaan henkilöitä, joiden saamien hajulukemien välinen hajonta on riittävän pieni. Hajun voimakkuuden mittaaminen perustuu hajukynnyksen määrittämiseen. Haisevaa ilmaa laimennetaan mittarissa puhtaalla ilmalla tai hapella, kunnes saavutetaan pitoisuus, jossa kaasu tai hajuaine voidaan juuri havaita hajuaistilla. Hajun voimakkuuden ilmoittaa hapen ja haisevan ilman seossuhde tämän hajukynnyksen kohdalla.



Kuva 16. Välineitä ilmanvaihdon seurantaan.

KIRJALLISUUTTA

1. BROSTHAUS,G. 1992. Geraten Veredler noch mehr unter Druck?. Top Agrar 3/92;44
2. ENERPAK EPR-3A-50-lämmönvaihdin ja ilmanvaihtolaite. 1979. VAKOLAn koetusselestus numero 995. Helsinki.
3. GATES,R.S., USRY,J.L., NIENABER,J.A., TURNER,L.W. & BRIDGES,T.C. 1991. An optimal misting method for cooling livestock housing. Transactions of the ASAE, Vol.34(5), September-October.
4. GEBHART,F. 1980. Luft, die aus dem Boden kommt. Top Agrar n:o 5; 14-16.
5. GOETSCH,D. & MUEHLING,J. 1983. Evaluation of earth-tube heat exchangers as air tempering systems for swine farrow-nursery housing. ASAE Paper N:o 83-4073. Montana.
6. GUSTAFSSON,G. & MÅRTENSSON,L. 1990. Gaser och damm i fjäders-tallar. Institutionen för lantbrukets byggnadsteknik. Report 68. Lund.
7. KALLELA,K. 1984. Älä unohda lehmää navetan suunnittelussa. Karjatalous 10;32-35.
8. KAPUINEN,P. & KARHUNEN,J. 1988. Pienten pihatoiden ilmanvaihdon erityisvaatimukset. VAKOLAn tiedote 51. Vihti.
9. KAPUINEN,P. & KARHUNEN,J. 1989. Kosteiden pintojen kosteudentuotanto navetoissa. VAKOLAn tutkimusselestus 56. Vihti.
10. KARHUNEN,J., MYKKÄNEN,U., NIEMINEN,L., WIKSTEN,R & SALONIEMI,H. 1983. Lämmönvaihtimet eläinsuojien ilmastoinnissa. VAKOLAn tutkimusselestus 36; 14 -17. Vihti.
11. KARHUNEN,J.,PYYKKÖNEN,M.,MYKKÄNEN,U.,NIEMINEN,L.& SALONIEMI,H. 1979. Pihattotutkimus 1976...1978. VAKOLAn tiedote 29. Eripainos Koneviesti n:o 8...13.
12. KIRJALAINEN,T., MÄKELÄ,P., & TOSSAVAINEN,A. 1982. Elixair-ilmanpuhdistimen tehokkuus. Elixair Oy ja Työterveyslaitos. Mikkeli.
13. KOLLMAN,I., SÄLLVIK,K., ROBERTSON,J, PEDERSEN,S. & van't KLOOSTER,K. ym. 1991-1992. CIGR-working group on "Aerial environment in animal housing". Väliaportti. Padua - Rennes.

14. KÄRPPÄ-lämmönvaihtimen koestusselostus. 1986. Eestin SNT Agroteolisuusyhtymä, Eestin karjanhoidon ja eläinlääketieteellinen tutkimuskeskus. Tartto.
15. LAINE,A. 1990. Moottoroidut hengityksensuojaimet maataloudessa. Työtehoseuran maataloustiedote 383.
16. LARSSON, K. 1990. En lantbrukares årliga exponering för damm. JTI-Teknik för lantbruket 22.
17. LOUHELAINEN,K., VILHUNEN,P., TERHO,E.O., KANGAS,J., HUSMAN,K.& KALLIÖKOSKI,P. 1987. Lypsykarjan ja sikojen hoitotöiden pölyt ja pölyaltistumisen vähentäminen. Työterveyslaitos. Helsinki.
18. MISSFELD,B. 1974. Geruchsminderung durch Haltungsverfahren. KTBL-Schrift 183:1 - 145.
19. MÅRTENSSON,L. 1991. Kemisk och fysikalisk miljö i lantbrukets driftsbyggnader. Institutionen för lantbrukets byggnadsteknik. Specialmeddelande 187. Lund.
20. MÄÄTTÄ,R., PULKKANEN,P. & LATOLA,P. 1983. Teollisuusjätevesien aerobinen ja anaerobinen suodatus I-II. Teknillinen korkeakoulu, Puunjalostusosasto, Ympäristötekniikan laboratorio. Espoo.
21. Saubere Liegefläche, besseres Stallklima. 1990. Top Agrar, Top Spezial7/90;17.
22. THOSTRUP,P. & BERTHELTSEN,L. 1983. Komposteringsvarme fra fast stalgødning. Jordbrugsteknisk Institut. Den kgl. veterinær og landbohøjskole. Meddelelse 43. 80 p.
23. WEMMELUND,N. & BERTHELTSEN,L. 1977. Udnyttelse af komposteringsvarme fra stalgødning. Jordbrugsteknisk Institut. Den kgl. veterinær og landbohøjskole. Meddelelse 28. 146 p.
24. Bedre udnyttelse af foderet og mindre lugt-gener. Effektivt Landbrug nr 7/92;12.
25. HIGGINSON,S. 1985. Clear the decks! Pig Farming. November.
26. HILLIGER,H.G., KALICH,J., SMIDT,D. & WOLFERMANN,H-F. 1982. Stallklima und Geruchsbelastigung, Teil II. KTBL-Schrift 272. Münster-Hiltrup.

VAKOLAN TIEDOTTEITA

- 34/83 AHOKAS, J., Pyörätraktorit. 1983.
- 35/83 MÄKELÄ, O., Viljankuivausopas. 1983.
- 36/83 Pohjoismaiset tilasäiliön pesulaitteet. 1983.
- 37/85 WARTIOVAARA, L., Astianpesukoneet. 1985.
- 38/86 AHOKAS, J., MIKKOLA, H., Traktori ja polttoaineen kulutus. 1986.
- 39/87 MÄKELÄ, J., LAUROLA, H., Leikkuupuimurin kulkukyky upottavissa oloissa. 1989.
- 40/87 LAUROLA, H., Leikkuupuimureiden teknisiä mittoja. 1987.
- 41/87 PUUMALA, M., Jauhatus työn järjestelyjä ja kustannuksia. 1987.
- 42/88 AARNIO, K., KARHUNEN, J., Lannanpoistolaitteiden toimivuus ja kestävyys. 1988.
- 43/88 MANNI, J., Käytännön ohjeita konevaraston hankintaa suunnittelevalle. 1988.
- 44/89 Pohjoismaiset lypsykone- ja laiteohjeet. 1989.
- 45/89 Säilörehun korjuu pyöröpaalaimella. 1989.
- 45 S/89 NYSAND, M., Rundbalsensilering. 1989.
- 46/90 MANNI, J., KAPUINEN, P., Kevytsora lietesäiliön katteena. 1990.
- 47/90 KARHUNEN, J., Lietelannan kompostointi. 1990.
- 48/90 LEPPÄNEN, K., NYSAND, M., Turvallinen ja nopea työkoneiden kytkentä. 1990.
- 49/91 LEHTINIEMI, T., PUUMALA, M., Betonit ja muovit navetan lattiamateriaaleina. 1991.
- 50/91 MANNI, J., Pölyn ja roskien talteenotto lämminilmakuivaamossa. 1991.
- 51/92 VIROLAINEN, V., Viherkesannon perustaminen ja hoito. 1992
- 52/92 KARHUNEN, J., Kaasut ja pöly eläinsuojien ilmanvaihdossa. 1992

