



VAKOLA

PPA 1, 03400 VIHTI
90-224 6211
Telefax 90-224 6210

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

VAKOLAN TUTKIMUSSELOSTUS NRO 44

LAURI TUUNANEN — JORMA KARHUNEN

ALIPAINVILMÄVAIHTO KOTIELÄINSUOJISSA

FAN POWERED EXTRACTION AND NATURAL
VENTILATION IN ANIMAL HOUSES

VIHTI 1986

ISSN 0782-0054

VAKOLAN TUTKIMUSSELOSTUS NRO 44

LAURI TUUNANEN — JORMA KARHUNEN

ALIPAINELMANVAIHTO
KOTIELÄINSUOJISSA

FAN POWERED EXTRACTION AND NATURAL
VENTILATION IN ANIMAL HOUSES

VIHTI 1986

SISÄLLYSLUETTELO

	sivu
ALKULAUSE	I
TIIIVISTELMÄ	III
SAMMANFATTNING	V
CONCLUSION	VI
1. YLEISTÄ	1
1.1 Ilmanvaihdon merkitys	1
1.2 Ilmanvaihtotarve	2
1.3 Ilmanvaihdon toimintaperiaatteet	4
1.3.1 Laimennusperiaatteella toimiva ilmanvaihto	5
1.4 Tuloaukon toiminnan teoria	7
2. Ilmanvaihtojärjestelmät	9
2.1 Painovoimainen ilmanvaihto	9
2.2 Koneellinen ilmanvaihto	10
3. Alipaineilmanvaihto	11
3.1 Painovoimaisen ilmanvaihdon mitoitus	11
3.2 Koneellisen ilmanvaihdon mitoitus	15
3.3 Alipaineilmanvaihtolaitteistot	19
3.3.1 Poistohormi ja tavalliset tuloaukot	19
3.3.2 Poistohormi ja sekoituspuhaltimella varustettu tulohormi	20
3.3.3 Seinäilmanvaihtolaite	22
3.4 Koneellisen alipaineilmanvaihdon tuloilma- laitteet	23
3.4.1 Seinälle asetettavat tuloaukot	24
3.4.2 Kattoon asetettavat tuloaukot	24

3.5	Eri tyyppisten laitteiden toiminta	25
3.5.1	Maatalousilmastoinnin automaattinen raitisilmaventtiili	28
3.5.2	Karjasuon Mikko raitisilmaventtiili	29
3.5.3	Funki FP-700 tuloaukko	31
3.5.4	Alfa-Ventic kiertoilmalaite	32
3.5.5	"Itkuputki" tuloilmalaite	35
3.5.6	Trional seinäilmanvaihtolaite	36
3.6	Ilmanvaihdon suunnittelu ja toteutus	38
3.6.1	Yleistä	38
3.6.2	Ilmanvaihtolaitteiden mitoitus	38
3.6.3	Poistohormi	39
3.6.4	Tuloaukot	41
3.6.5	Puhaltimet ja säätölaitteet	48
3.6.6	Ilmanvaihtolaitteiden toiminnan seuranta	53
4.	Tuulen vaikutus tuloaukkojen toimintaan	55
4.1	Koejärjestely ja mittalaitteet	
4.2	Kokeiltavat laitteet	58
4.3	Mittaustulokset	60
4.4	Johtopäätökset	61
5.	Mittaustulosten arviointi ja mittauksista saadut kokemukset	62
5.1	Mittausjärjestely ja rakennus, jossa mittaukset tehtiin	62
5.2	Mittaustulosten arviointi	64
	LÄHDELUETTELO	65

ALKULAUSE

Eläinsuojien ilmanvaihdossa esiintyvien puutteiden ja virheellisyyksien takia katsottiin tarpeelliseksi selvittää, kuinka hyvin erilaiset ilmanvaihtolaitteet toimivat eläinsuojissa. Osana tutkimusta päätettiin laatia ilmanvaihdon suunnitteluopas.

Maatilahallitus myönsi maatilatalouden kehittämisrahas ton tutkimusmäärärahoista 234 400 mk käytettäväksi noin kaksi vuotta kestävään tutkimukseen, jonka tarkoituksena on erilaisten ilmanjakojärjestelmien toimintaedellytysten selvittäminen. Tarkoituksena on myös selvittää tuulen vaikutusta ilmanvaihdon toimintaan ja sen ehkäisemismahdollisuuksia. Tutkimus suoritettiin asentamalla laboratorioon erilaisia tuloilmalaitteita ja mittaamalla ilman virtausnopeudet ja lämpötilat huoneessa. Tutkittavat laitteet saatiin laitevalmistajilta ja myyjiltä. Tutkimuslaboratorion tuhouduttua tulipalossa tutkimusta ei voitu suorittaa suunnitelmien mukaan. Tutkimustulosten pohjalta tehtiin alipaineilmanvaihdon suunnitteluopas.

Tutkimuksen valvojakunnan puheenjohtaja oli toiminnanjohtaja Gunnar Wickström ja jäsenenä agronomi Pekka Ahtiainen, professori Osmo Kara, vt. professori Aarne Pehkonen, insinööri Tapio Takkinen ja professori Erkki Äikäs. Tutkimuksen aikana valvojakunnan jäseniksi tulivat Tapio Takkisen tilalle rakennusmestari Juhani Halonen ja Erkki Äikäksen tilalle DI Mikko Nyman.

Tutkimuksen johtajana oli Valtion maatalousteknologian tutkimuslaitokselta DI Jorma Karhunen ja tutkijana DI Lauri Tuunanen.

Valtion maatalousteknologian tutkimuslaitos kiittää maatalahallitusta ja kaikkian muita tutkimukseen osallistuneita.

Vihdissä 10.05.1986

VALTION MAATALOUSTEKNOLOGIAN TUTKIMUSLAITOS

TIIVISTELMÄ

Suurimmassa osassa suomalaisista kotieläinsuojista ilmanvaihto toimii alipaineperiaatteella. Ilmanvaihdon toiminta riippuu mitä suurimmassa määrin tuloilmalaitteista. Tuloilmalaitteet ja eläintilassa vallitseva alipaine määräävät alipaineilmanvaihdon ilmanjaon onnistumisen.

VAKOLAssa tutkittiin viiden erilaisen alipaineilmanvaihtoon tarkoitetun tuloilmanlaitteen toimintaa laboratorio-oloissa. Laboratoriossa oli 60 lämpötilan ja ilman virtausnopeuden mittauspistettä kolmella eri korkeudella: 0.1 m lattias-
ta, 1.5 m lattiasta ja 0.1 m katosta. Lämpötila mitattiin termoelementtilangoilla, jotka oli yhdistetty tiedonkeruulaitteeseen. Virtausnopeus mitattiin samoista pisteistä termoanemometrillä.

Tehtyjen mittausten perusteella voidaan sanoa, että tutkituista laitteista kiertoilmapuhaltimella varustettu kattoon asetettava tuloilmalaite toimi parhaiten. Kiertoilmapuhallin sekoittaa tehokkaasti tuloilman ja sisäilman aiheut-

tamatta kuitenkaan vetoa. Tutkimuksessa mukana olleilla kolmella tuloaukolla saavutettiin kesäaikaan hyvä ilman jako, mutta talviaikana niiden toiminta ei ollut yhtä hyvä kuin edellä mainitun tuloilmalaitteen.

Termoelementtien ja tiedonkeruulaitteen käyttö vaikuttaa varsin onnistuneelta lämpötilan mittausmenetelmältä, koska mittaus tapahtuu kaikissa pisteissä lähes yhtäaikaisesti eikä mittaaaja häiritse mittausta. Virtausnopeuden mittaaminen termoaanemometrillä ei sen sijaan onnistu kovin hyvin, koska virtausnopeudet ovat pieniä ja mittaaaja häiritsee koko ajan mittausta.

SAMMANFATTNING

Undertrycksventilation är det vanligaste ventilationssystemet i finska djurstallar. Ventilationens funktion beror mycket på luftintaget. Vid undertrycksventilation bestäms ventilationens luftdistribution av luftintag och undertrycket i djurstallet.

Funktionen av fem olika luftintag studerades i VAKOLA. Luftintakens funktion studerades i laborieförhållanden. Temperatur och lufthastighet mättes i sammanlagt 60 mätpunkter på tre höjdnivåer: 0.1 m och 1.5 m över golvytan och 0.1 m under takytan. Temperaturmätning utfördes med termoelement kopplade till data logger. Lufthastigheten mättes med termoelement i samma punkter.

Enligt mättningsresultaten kan konstateras att alla luftintag fungerade bra under sommarförhållanden men i vinterförhållanden var radialintag med circulationsfläkt bäst.

CONCLUSION

The most common ventilation systems in Finnish animal houses are fan powered extraction and natural ventilation. Functioning of the ventilation depends greatly on ventilation inlets. The pressure difference between inside and outside of the animal house and ventilation inlets determines the quality of air distribution.

The function of five different inlets for fan powered extraction were studied in VAKOLA. They were studied in a laboratory where air temperature and velocity were measured at totally 60 points on three levels: 0.1 m and 1.5 m above floor and 0.1 m under ceiling. Temperatures were measured with thermocouples which were connected to a data logger. Air velocities were measured with thermoanemometer.

According to the measurements it can be stated that all inlets functioned properly during summertime ventilation. In winter ventilation the radial inlet with mixing fan was the best functioning system.

1. Yleistä

1.1 Ilmanvaihdon merkitys

Ilmanvaihdon tehtävä on eläinsuojan ilman laadun pitäminen eläinten, ihmisten, eläinsuojan rakenteiden ja siellä käytettävien laitteiden kannalta riittävän hyvänä. Ilmanvaihdon avulla poistetaan eläinsuojasta liika lämpö, kosteus ja haitalliset kaasut.

Hyvä eläinsuojan ilman laatu on tärkeä, niin eläinten ja ihmisten kuin rakenteiden ja eläinsuojassa käytettävien laitteidenkin kannalta. Ihmisen kannalta ilman laatu on lähinnä työskentelyviihtyvyyteen vaikuttava tekijä, joskin ilman laadun parantuessa myös työturvallisuus paranee. Eläimille ilman laatu merkitsee enemmän, koska ne joutuvat olemaan eläinsuojassa lähes koko elinaikansa. Hyvä ilman laatu antaa edellytykset korkean tuotoksen ja hyvän terveydetilan ylläpitämiseen. Ilman laatu vaikuttaa eläinsuojassa käytettävien rakenteiden ja laitteiden kestävyys. Huono ilma, nopeuttaa metallien ja muiden materiaalien syöpymistä ja haurastumista sekä puumateriaalien lahoamista. Haitallisimpia rakenteiden kannalta ovat kosteus ja ammoniakki.

1.2 Ilmanvaihtotarve

Ilmanvaihdon mitoitus perustuu ilmanvaihtotarpeeseen, joka määräytyy ulkoilman lämpötilan ja suhteellisen kosteuden, rakennuksen lämpöeristyksen sekä eläinsuojassa muodostuvan lämmön, kosteuden ja haitallisten kaasujen perusteella. Taulukossa 1 on esitetty erilaisille eläimille suositeltuja talviajan mitoituslämpötiloja ja suhteellisia kosteuksia sekä minimi- ja maksimi-ilmanvaihtotarpeen lukuarvoja eläintä kohti laskettuna. Maksimi-ilmanvaihtoa laskettaessa on käytetty ulko- ja sisäilman välisenä lämpötilaerona 4 °C.

Taulukko 1. Ilmanvaihdon mitoitusarvoja /1/

Eläin	m kg	t_s °C	ψ_s %	ϕ_e W	g_s g/h	\dot{V}_m m ³ /h	\dot{V}_M m ³ /h
lihotussika	30	18	80	127	67	7	45
	50	16	80	176	85	9	61
	70	16	80	215	102	11	74
	90	16	80	248	120	13	86
joutilas emakko 60 d tiine	100	14	80	180	68	8	68
	150	14	80	237	89	11	90
	200	14	80	290	109	14	110
imettävä emakko pikkuporsas	200	16	80	627	397	32	243
	10	20	70	61	31	3	25
	20	20	70	97	49	5	38
lypsylehmä 15 kg/d maitoa	400	12	85	893	403	48	301
	500	12	85	986	445	53	333
	600	12	85	1074	485	58	362
vasikka nuorkarja	50	12	85	120	63	8	37
	150	12	85	329	172	22	100
	300	12	85	585	306	39	178
	400	12	85	732	383	48	223
hevonen(kilpa) hevonen(työ)	500	14	75	651	245	33	256
	500	10	80	671	221	34	256
lammas	10	10	80	39	17	2	13
	40	10	80	109	47	7	36
	60	10	80	148	74	9	49
	100	10	80	217	94	14	72
kana, muniva	1.5	18	70	10	4	0.5	4
	2.0	18	70	12	5	0.6	5
	2.5	18	70	14	6	0.7	6
broileri	.05	33	60	1.0	.5	0.1	0.2
	0.2	27	65	3	1.5	0.2	0.5
	0.6	20	70	7	3.4	0.4	1.2
	1.0	20	70	10	5.0	0.5	1.8

jossa m eläimen massa, kg \dot{V}_m minimi-ilmanvaihto, m³/h
 t_s sisälämpötila, °C \dot{V}_M maksimi-ilmanvaihto, m³/h
 ψ_s sisäilman suht. kosteus, %
 ϕ_s eläimen lämmönmuodostus, W
 g_s kosteudenkehitys eläintä kohti, g/h

1.3 Ilmanvaihdon toimintaperiaate

Puhuttaessa ilmanvaihdon toimintaperiaatteesta tarkoitetaan sitä, millä tavoin ilmavirtaukset käyttäytyvät rakennuksen sisällä. Ilmanvaihdon toimintaperiaatteita on kaksi, laminaarivirtaus- ja laimennusperiaate.

Laminaarivirtausperiaatteessa puhdas ilma työntää likaista ilmaa edellään. Puhdas ilma ei saa sekoittua likaiseen ilmaan. Koko rakennus ikäänkuin muodostaa putken, jossa ilma virtaa tuloaukosta poistoaukkoon. Laminaarivirtausperiaatetta käytetään esimerkiksi leikkaussaleissa ja elektrooniikkaa valmistavissa laitoksissa, joissa ilman puhtausvaatimukset ovat korkeat. Laminaarivirtausperiaate ei sovellu eläinsuojiin, koska se vaatii toimiakseen noin 15 kertaisen ilmanvaihdon eläinsuojissa tyypillisesti tarvittavaan maksimi-ilmanvaihtoon verrattuna.

Laimennusperiaatteella toimivassa ilmanvaihdossa tuloilman ja huoneilman annetaan sekoittua keskenään. Poistoilmassa olevien epäpuhtauksien määrä on osapuilleen sama kuin huonetilassa keskimäärin. Eläinsuojien, asuinrakennusten, konttorien ja useimpien tehdaslaitosten, joissa ilman puhtausvaatimukset eivät ole korkeat, ilmanvaihtolaitteet toimivat laimennusperiaatteella.

1.3.1 Laimennusperiaatteella toimiva ilmanvaihto

On olemassa ainakin kaksi syytä miksi eläinsuojissa käytettävät ilmanvaihtojärjestelmät toimivat laimennusperiaatteella. Ensiksi tuloilmaa ei taloudellisuussyistä yleensä lämmitetä. Lämmittämätön tuloilma on talvella aivan liian kylmää johdettavaksi suoraan eläinten oleskeluvyöhykkeelle. Toiseksi laminaariperiaatetta ei voida käyttää suuresta ilmanvaihtotarpeesta johtuvien liian korkeiden lämmityskustannusten takia.

Tuloilma lämmitetään eläinsuojassa sekoittamalla se lämpimään sisäilmaan. Jotta sekoittuminen tapahtuisi on tuloilma ja sisäilma saatava tekemisiin toistensa kanssa. Tämä tapahtuu saattamalla ilma liikkeeseen. Ilman liike saa aikaan pyörteilyä, jonka seurauksena sekoittuminen tapahtuu. Sekoittumisnopeus riippuu ilman virtausnopeudesta sekä tuloaukon muodosta ja mitoista. Sekoittuminen on sitä tehokkaampaa mitä suurempi ilman virtausnopeus on ja mitä pienempi tuloaukko on. Sekoittumisen kannalta pyöreä reikä on edullisin, koska sekoittumisvyöhyke on aukon pinta-alaan nähden suuri. Alipaineilmanvaihdossa tuloilman virtausnopeus riippuu rakennuksessa vallitsevasta alipaineesta.

1.4 Tuloaukon toiminnan teoria

Kuten aikaisemmin todettiin eläinsuojan ilmanvaihto toimii laimennusperiaatteella. Laimennusperiaatteen käyttöön johtavia syitä ovat:

- tuloilma lämmittämätöntä
- muunlaisen periaatteen toteuttaminen teknisesti vaikeata eläinsuojan olosuhteissa

Kun tuloilma virtaa tuloaukosta eläinsuojaan se alkaa heti sekoittua tuloaukon ympärillä olevaan ilmaan. Tällöin tuloilman virtausnopeus hidastuu ja lämpötila nousee. Sekoitumisnopeus riippuu tuloilman virtausnopeudesta sekä virtausaukon muodosta, mitoista ja sijainnista. Rakomaisella tuloaukolla saadaan virtaavan ilman keskilämpötilaksi x :n etäisyydellä tuloaukosta /2/:

$$t = \frac{t_u - t_s}{0.46 \sqrt{\frac{x}{d}}} + t_s \quad (1)$$

jossa t ilmavirtauksen keskilämpötila etäisyydellä x , °C

t_u ulkolämpötila, °C

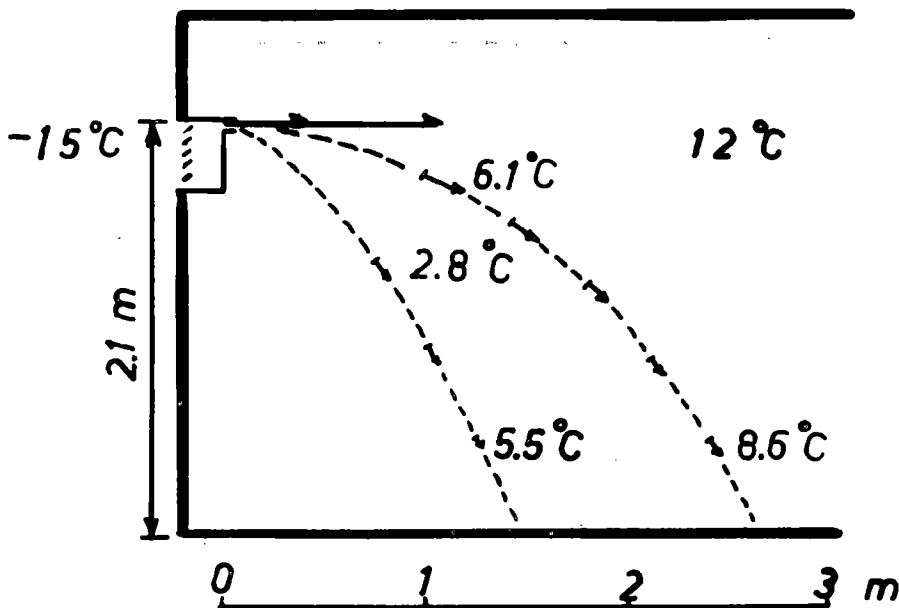
t_s sisälämpötila, °C

x etäisyys tuloaukosta virtauksen suunnassa, m

d rakomaisen tuloaukon raon korkeus, m

Kaavaa (1) voidaan käyttää jos tuloaukkoa ei ole sijoitettu siten, että ilma virtaa lähellä kattoa. Kaavan (1) perusteella voidaan päätellä, että raon korkeuden d kaksinkertaistuksessa saman virtauksen keskilämpötilan t saavuttamiseksi tarvitaan kaksinkertainen etäisyys x .

Koska tuloilma on eläinsuojassa olevaa ilmaa kylmempää, on sen tiheys suurempi. Tuloilma on siis sisäilmaa raskaampaa. Tästä syystä alkaa tuloilmavirtaus kaartua alaspäin. Laskutumisnopeuteen vaikuttavat tuloaukon muoto, mitat ja sijainti sekä tuloilman virtausnopeus ja tulo- ja sisäilman lämpötilaero. Kuvaan 1 on piirretty periaatepiirros siitä, miten ilma virtaa kaukana katosta olevasta rakomaisesta



Kuva 1. Ilman virtaus tuloaukosta kahdella eri tuloaukon asennolla

aukosta kahdella eri tuloaukon säätöläpän asennolla. Ilmämäärä on molemmissa tapauksissa sama. Ulkoilman lämpötilaeroksi on valittu $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$ ja sisäilman lämpötilaksi $12\text{ }^{\circ}\text{C}$. Ilman lähtönopeus on 4.2 m/s silloin, kun $d=10\text{ mm}$ ja 1.7 m/s silloin, kun $d=24.7\text{ mm}$. Kuvasta 1 voi nähdä, miten tuloaukon pienemmässä asennossa ilma lämpiää huomattavasti nopeammin, vaikka ilman lähtönopeus tuloaukosta on yli kaksinkertainen aukon suurempaan asentoon verrattuna. Virtausnopeuksissa eläinten oleskeluvyöhykkeellä ei ole suurta eroa.

Jos tuloaukko sijoitetaan lähelle kattoa ja ilma virtaa tuloaukosta katon suuntaisesti on tulo- ja sisäilman sekoittuminen hitaampaa, koska sekoittuminen tapahtuu vain virtauksen alapuolelta. Vastaavasti myös virtauksen laskeutuminen hidastuu. Ilman virratessa lähellä kattoa se ikäänkuin imeytyy katon pintaan, kyseessä on ns. Coanda-ilmiö. Ilmanvaihdon toiminnan kannalta laskeutumisenopeuden hidastuminen on sekoittumisnopeuden hidastumista huomattavasti tärkeämpi. Virtauksen imeytymistä kattoon voidaan käyttää hyväksi, kun halutaan, että ilma virtaa mahdollisimman kauas tuloaukosta.

2. Ilmanvaihtojärjestelmät

Ilmanvaihdon toiminnan kannalta on aivan sama miten ilman liike saadaan aikaan, kunhan ilma liikkuu toivotulla tavalla. Perinteisesti on kuitenkin totuttu jakamaan ilmanvaihtojärjestelmät sen mukaan, miten ilman liike saadaan aikaan. Seuraavassa on esitetty lyhyt kuvaus eläinsuojien ilmanvaihdossa käytettävistä ilmanvaihtojärjestelmistä.

2.1 Painovoimainen ilmanvaihto

Painovoimaisessa eli luonnollisessa ilmanvaihdossa ilman liike saadaan aikaan ns. savupiippuilmion avulla. Lämmin sisäilma, joka on ulkoilmaa kevyempää, virtaa poistohormia pitkin ulos ja aikaansaa rakennukseen alipaineen. Rakennuksen sisälle muodostuva alipaine on riippuvainen sisä- ja ulkoilman välisestä lämpötilaerosta ja poistohormin yläpään ja tuloaukkojen välisestä korkeuserosta. Alipaine on verrattain pieni. Suurimmillaan se on talvella, silloinkin alle 20 Pa. Koska muodostuva alipaine on pieni on tuloaukkojen ja poistohormin oltava avaria, jotta ilmanvaihto saataisiin kesälläkin ilmanvaihtotarvetta vastaavaksi.

2.2 Koneellinen ilmanvaihto

Koneellinen ilmanvaihto voidaan jakaa ali-, tasa- ja yli-
paineilmanvaihtoon. Nimitys riippuu siitä, miten ilman liik-
keen aikaansaavat puhaltimet on sijoitettu tulo- ja poisto-
aukkoihin nähden.

Alipainejärjestelmässä puhallin on poistokanavassa. Puhallin
vie ilmaa ulos eläinsuojasta aiheuttaen sinne alipaineen.
Tuloilma virtaa eläinsuojaan alipaineen vaikutuksesta.

Tasapainejärjestelmässä sekä tulo- että poistopuolella on
puhallin. Tulo- ja poistopuhaltimien tilavuusvirrat on sovi-
tettu siten, että rakennuksen sisällä vallitsee osapuil-
leen sama paine kuin ulkona.

Ylipaineilmanvaihdossa puhallin on tulopuolelle. Rakennuk-
seen muodostuu ylipaine, jonka seurauksena poistoilma virtaa
ulos. Ylipaineilmanvaihtoa ei Suomessa käytetä kuin korkein-
taan kesällä, koska pelätään kostean ilman tunkeutuvan ra-
kenteisiin ja aiheuttavan kosteusvaurioita.

3. Alipaineilmanvaihto

3.1 Painovoimainen ilmanvaihto

Painovoimaiseen ilmanvaihtoon kuuluvia laitteita ovat poistohormi, tuloaukot ja säätölaitteisto. Poistohormin ja tuloaukkojen mitoitus perustuu ilmanvaihtotarpeen, painovoimaisesti aikaansaattavan paine-eron ja ilmanvaihtolaitteista aiheutuvien painehäviöiden huomioon ottamiseen. Mitoitus tapahtuu taulukosta 1 saatavien ilmanvaihtotarpeen lukuarvojen sekä kaavojen (2) ja (3) avulla. Kaavalla (2) lasketaan painovoimaisesti aikaansaattava paine-ero ja kaavalla (3) ilmanvaihtolaitteista aiheutuva painehäviö.

$$\Delta p = (\rho_u - \rho_s) gh \quad (2)$$

jossa	Δp	saavutettava paine-ero, Pa
	ρ_u	ulkoilman tiheys, kg/m ³
	ρ_s	sisäilman tiheys, kg/m ³
	g	maan vetovoiman kiihtyvyys, 9.81 m/s ²
	h	tulo- ja poistoaukkojen korkeusero, m

$$P_h = (\xi_1 + \xi_2) \frac{1}{2} \rho v_h^2 + \xi_3 \frac{1}{2} \rho v_t^2 \quad (3)$$

jossa	P_h	laitteiden painehäviö, Pa
	ξ_1, ξ_2, ξ_3	tulo- ja poistoaukkojen kertavastuslukuja
	ρ	ilman tiheys, kg/m ³
	v_h	ilman nopeus poistohormissa, m/s
	v_t	virtausnopeus tuloaukossa, m/s

Poistohormi mitoitetetaan maksimi-ilmanvaihtotarpeen mukaan. Kuvaan (2) on piirretty kaavoja (2) ja (3) apuna käyttäen kaksi poistohormin mitoituskäyrää. Yhtenäisellä viivalla piirretty käyrä vastaa tilannetta, jossa poistohormin pinta-ala on yhtä suuri kuin tuloaukkojen yhteenlaskettu pinta-ala. Katkoviivalla piirretyllä käyrällä poistohormin pinta-ala on puolet tuloaukkojen yhteenlasketusta pinta-alasta. Poistohormin pinta-ala voidaan lukea pystyakselilta. Kuvasta saatu poistohormin pinta-ala ilmoittaa, kuinka suuri hormi tarvitaan silloin, kun ilmanvaihtotarve on 1000 m³/h. Todellinen pinta-ala saadaan, kun kuvasta 2 saatu pinta-ala kerrotaan luvulla, joka saadaan, kun taulukosta 1 saatu luku jaetaan 1000 m³/h. Käyriä laskettaessa on käytetty ulko- ja sisäilman lämpötilaerona 6 °C. Kuvan 2 käyrien käytön selvittämiseksi lasketaan yksi käytännön esimerkki.

Esimerkkinä lasketaan 100 lihasian sikalan poistohormin mitat. Oletetaan, että poistohormin korkeus on 5 m. Sikojen keskipaino 70 kg, jatkuva tuotanto.

maksimi-ilmanvaihto taulukosta 1: $100 \times 74 \text{ m}^3/\text{h} = 7400 \text{ m}^3/\text{h}$

Kuvasta (2) 5 m kohdalta: käyrä 1 $0.4 \text{ m}^2/1000 \text{ m}^3/\text{h}$

käyrä 2 $0.28 \text{ m}^2/1000 \text{ m}^3/\text{h}$

Poistohormin alaksi saadaan:

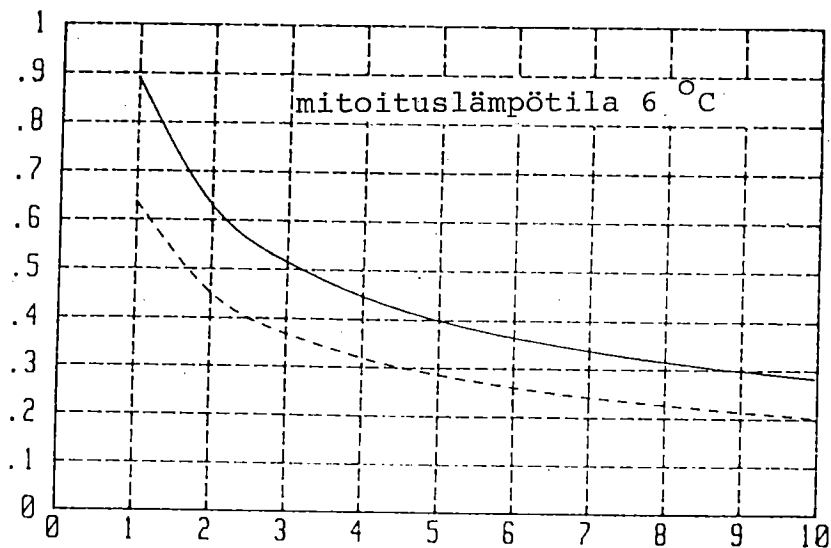
käyrä 1 $0.4 \times 7400 / 1000 \text{ m}^2 = 2.96 \text{ m}^2$

käyrä 2 $0.28 \times 7400 / 1000 \text{ m}^2 = 2.07 \text{ m}^2$

— poistoala=tuloala

--- poistoala= $\frac{1}{2}$ tuloala

Hormin ala $\text{m}^2/1000 \text{ m}^3/\text{h}$



Hormin korkeus m

Kuva 2 Painovoimaisen ilmanvaihdon poistohormin mitoituskäyrä

Esimerkkilaskelmasta voidaan havaita, että poistohormista tulee varsin suuri. Tämä johtuu siitä, että kesällä ilmanvaihtotarpeen ollessa suurimmillaan, sisä- ja ulkoilman lämpötilaerosta johtuva tiheysero on pienimmillään. Painovoimaisen ilmanvaihdon toimintaedellytykset ovat siis tällöin mahdollisimman huonot ja ilmanvaihtotarve suuri. Poistohormin ja tuloaukkojen suuruuden takia painovoimaisen ilmanvaihdon käyttö rajoittuu lähinnä pieniin eläinsuojiiin.

Tuloaukkojen mitoitus on sidottu poistohormin mitoitukseen, koska molemmista aiheutuu painehäviöitä. Kuvassa (2) poistohormia mitoitettaessa edellytettiin tuloaukkojen yhteenlasketun pinta-alan olevan yhtä suuri tai kaksinkertainen poistohormin alaan verrattuna. Yleensä vaaditaan, että tuloaukkojen yhteenlaskettu pinta-ala on vähintään yhtä suuri kuin poistohormin pinta-ala. Rakennuksen avattavia ikkunoita ja ovia voidaan käyttää kesäaikaan tuloaukkoina. Tällöin varsinaisten tuloaukkojen pinta-alasta voidaan tinkiä.

Painovoimaisen ilmanvaihdon ilmavirta säädetään pelkästään muuttamalla tuloaukkojen ja poistohormin säätöläppien asentoa. Jos halutaan päästä hyvään säätötulokseen on joko tulo- tai poistopuolen säädön tapahduttava automaattisen säätölaitteen ohjaamana. Säätölaite ohjaa tällöin tulo- tai poistopuolella olevan säätöläppän toimimooottoria. Kuvassa 3 on esitetty kaksi tapaa millä tuloaukkojen säätö tapahtuu toi-

mimoottorin avulla. Tuloaukkojen säätöalueen on oltava suuri, koska painovoimaisen ilmanvaihdon paine-ero on pienin, silloin kun ilmanvaihtotarve on suurin ja vastaavasti paine-ero on suurimmillaan ilmanvaihtotarpeen ollessa pieni. Talvella joudutaan ilmanvaihtoa kuristamaan voimakkaasti.

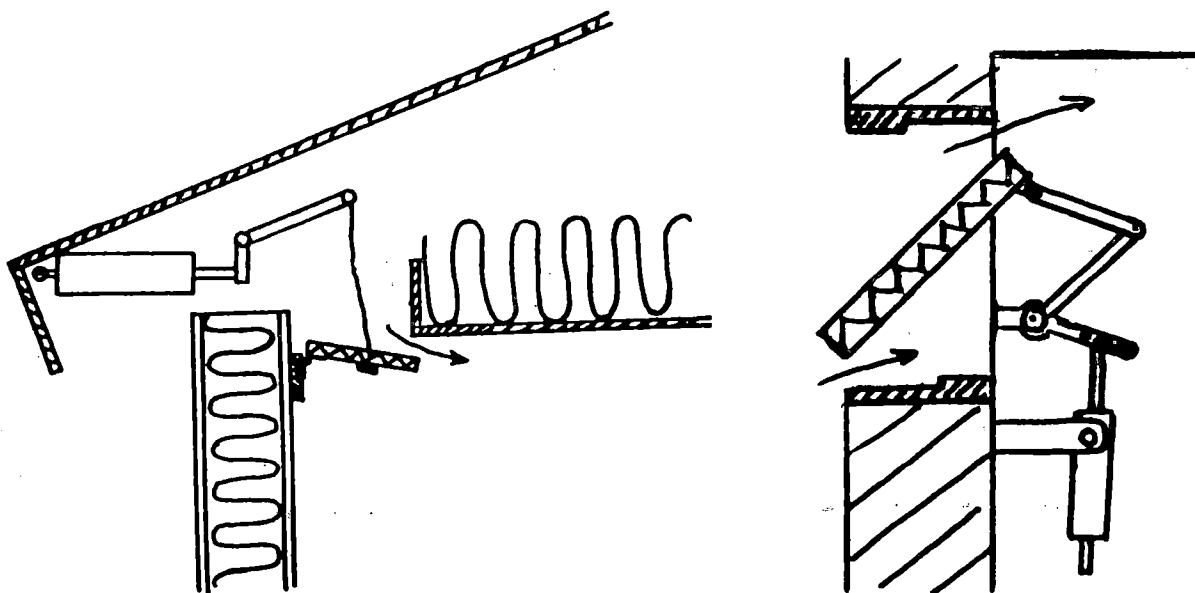
Koska painovoimaisessa ilmanvaihdossa ei ole puhaltimia on sen toiminta äänetöntä. Samasta syystä ilmanvaihtoon ei kulu myöskään sähköenergiaa. Sähköenergian säästö on tavalliseen koneelliseen alipaineilmanvaihtoon verrattuna navetassa noin 180 kWh vuodessa lypsylehmäpaikkaa kohden ja lihotussikalassa noin 20 kWh vuodessa sikapaikkaa kohden /3/.

Painovoimaisen ilmanvaihdon haittapuolena voidaan mainita suurten tulo- ja poistoaukkojen alttius tuulen haittavaikutukselle sekä se, että markkinoilla ei juuri ole painovoimaisen ilmanvaihdon säätölaitteita.

3.2 Koneellinen alipaineilmanvaihto

Koneellisessa alipaineilmanvaihdossa on painovoimaiseen ilmanvaihtoon kuuluvien laitteiden lisäksi yksi tai useampi poistopuhallin. Laitteiston mitoitus voidaan aloittaa kuten painovoimaisessakin ilmanvaihdossa poistohormin mitoituksesta.

Poistohormin mitoitus ei ole yhtä ratkaiseva kuin painovoimaisessa ilmanvaihdossa, koska alimitoitettun hormin painehäviö voidaan korjata hankkimalla tehokkaampi puhallin. Sähkönkulutuksen takia ei poistohormista kuitenkaan kannata tehdä kovin pientä. Koska eläinsuojien ilmanvaihdossa käytettävillä potkuripuhaltimilla ei pystytä aikaansaamaan korkeita paineita, ei tulo- ja poistoaukkojen yhteenlaskettu painehäviö saa olla liian suuri. Yhteenlasketun painehäviön ei maksimi-ilmanvaihdolla tulisi olla yli 60 Pa /3/. Poistohormille painehäviöstä voidaan tällöin laskea noin 40 Pa. Kuvaan (4) on piirretty käyrä, josta nähdään kuinka suuri



Kuva 3. Tuloaukon säätö toimimoottorin avulla.

kanava tarvitaan, kun kanavan kokonaispainehäviö on 40 Pa. Käyrä on laskettu pyöreälle kanavalle. Suorakulmaisen kanavan vastaavat mitat saadaan kaavasta (4).

$$d_h = \frac{2 a b}{a + b} \quad (4)$$

jossa d_h kuvasta (4) saatava halkaisija, mm

a kanavan toisen sivun pituus, mm

b kanavan toisen sivun pituus, mm

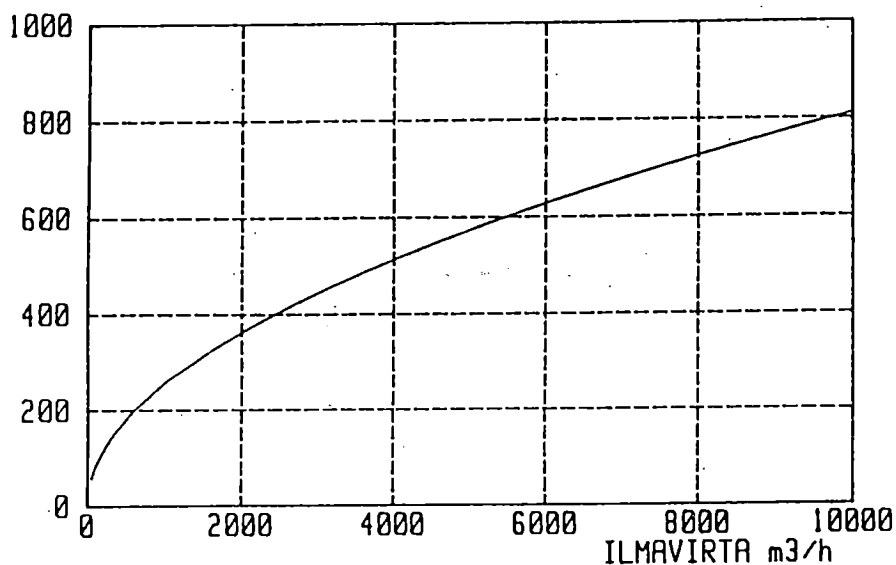
Tuloaukkojen mitoituksessa suositellaan käytettäväksi seuraavanlaista periaatetta /3/:

- tuloaukkojen yhteenlaskettu pinta-ala säätöläppien ollessa täysin auki on cm^2 ilmoitettuna yhtä suuri kuin maksimiilmanvaihto m^3 tunnissa.
- tuloaukkojen yhteenlaskettu pinta-ala niiden ollessa minimiasennossa on cm^2 ilmoitettuna 2.5 kertaa minimi-ilmanvaihto ilmoitettuna m^3 tunnissa.

Jos rakennuksessa on avattavia ikkunoita voidaan mitoitusta maksimi-ilmanvaihdon osalta muuttaa. Tuloaukkojen säätöalueen tulee olla suuri, koska maksimi-ilmanvaihto on 4.5 - 12 kertainen minimi-ilmanvaihtoon verrattuna.

Poistopuhallin mitoitetaan maksimi-ilmanvaihdon mukaan. Puhaltimen täytyy olla sellainen, että sen tuottama ilmavirta on maksimi-ilmanvaihdon paine-erolla maksimi-ilmanvaihdon suuruinen. Puhallinesitteissä mainitaan usein vain puhaltimen ilmamäärä 0 Pa paine-erolla. Jos puhallinta valittaessa ei ole käytettävissä muuta kuin esitteen vapaan puhalluksen ilmamäärä saadaan mitoitusta vastaava ilmamäärä (paine-erolla 60 Pa) vähentämällä esitteessä olevasta arvosta noin 20 %.

HORMIN HALKAISIJA mm



Kuva 4. Koneellisen ilmanvaihdon poistohormin mitoituskäyrä

3.3 Koneelliset alipainelaitteistot

3.3.1 Poistohormi ja tavalliset tuloaukot

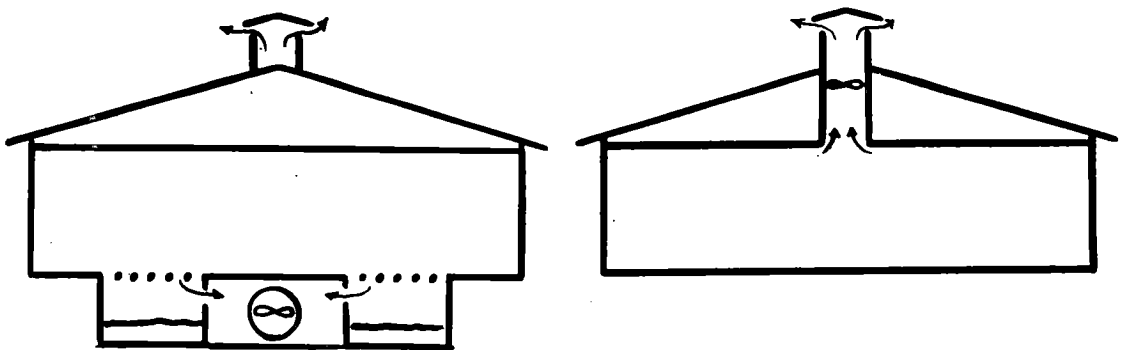
Poistohormia ja tavallisia tuloaukkoja voidaan käyttää sekä painovoimaisessa, että koneellisessa ilmanvaihdossa. Järjestelmään kuuluu painovoimaisessa ilmanvaihdossa yksi ja koneellisessa ilmanvaihdossa yksi tai useampia poistohormeja. Poistohormi sijoitetaan tavallisesti rakennuksen keskelle. Jos se on rakennusteknisesti edullisempaa sijoittaa johonkin muuhun paikkaan, ei siitä ole ilmanvaihdon toiminnan kannalta paljонkaan haittaa, koska poistohormin sijainti ei oleellisesti vaikuta eläinsuojan sisällä vallitsevaan alipaineeseen.

Eläinsuojissa, joissa on lietelantajärjestelmä, voidaan osa poistoilmasta ottaa myös ns. alapoistona, jolloin lietelantakourun yhteyteen rakennetaan ilmakehänava. Ilmakehänavassa on poistoaukkoja tasaisin välein ja pyrkimyksenä on estää lannasta vapautuvien kaasujen pääsy eläintilaan tasaisella ilman poistolla koko lietekanavan mitalta. Jotta alapoisto toimii kunnolla on alapoiston kautta menevän ilmamäärän pysyttävä likimain vakiona. Hyvä menetelmä on käyttää alapoistossa on yksinopeuspuhallinta, jonka avulla poistetaan minimi-ilmanvaihdon suuruinen ilmamäärä. Tällöin alapoisto vaatii oman poistohormin ja oman puhaltimen.

Tuloaukot sijoitetaan joko seinille tai kattoon. Tarkoituksena on, että ilman jako saadaan mahdollisimman tasaiseksi. Tuloaukkona voi olla pitkä rakomainen tuloaukko tai joukko erillisiä tuloaukkoja.

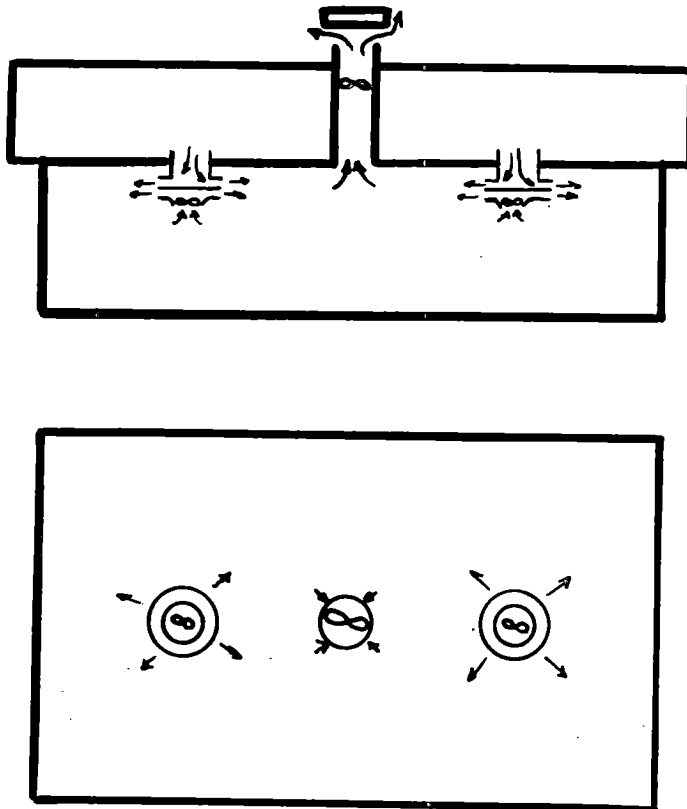
3.3.2 Poistohormi ja sekoituspuhaltimella varustettu tuloilmalaite

Tässä järjestelmässä raitis ilma tuodaan sisään katossa olevien tuloilmalaitteiden kautta. Tuloilmalaitteen alaosassa on suutinrenkas, joka jakaa ilman säteittäisesti eläintilaan. Suutinrenkaan alaosaan on puhallin, joka kiertää sisäilmaa. Kiertoilma sekoittuu tuloilmaan, lämmittää sitä ja tehostaa ilmanjakoa. Tuloilma voidaan ottaa joko ullakolta tai vesikaton yläpuolelta. Kesäaikaan tuloilman ottaminen ullakolta voi olla epätarkoituksellista, koska



kuva 5. Ylä- ja alapoiston periaatekuva. Alapoistossa poistohormi rakennuksen päässä.

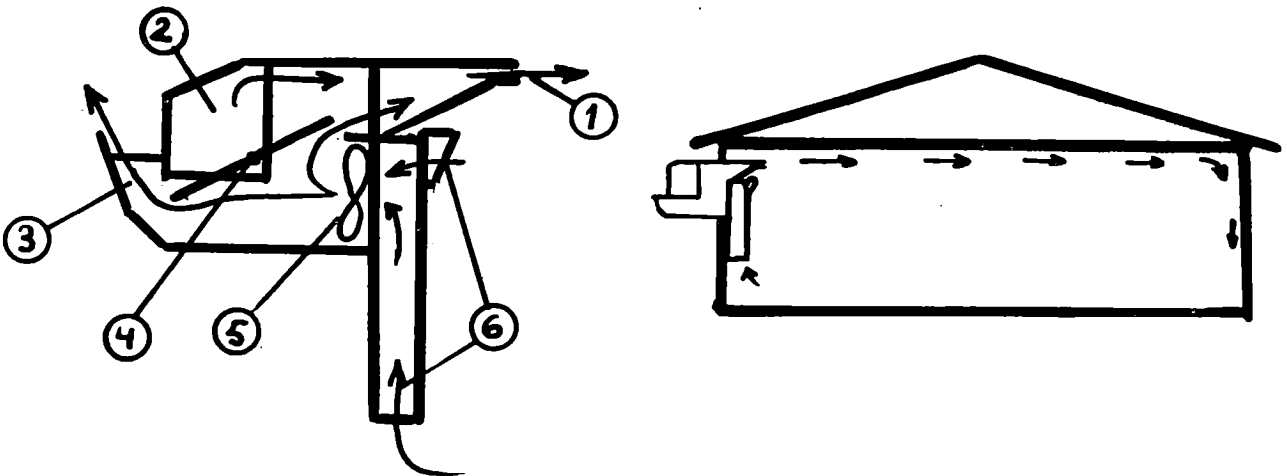
aurinko lämmittää ullakolla olevan ilman ulkoilmaa lämpimämmäksi. Tuloilmalaitteet ja poistohormit asetetaan rakennukseen esimerkiksi kuvan 6 esittämällä tavalla. Tuloilmalaitteet sijoitetaan siten, että ilman jako on mahdollisimman tasainen. Poistohormin sijoituksessa voidaan soveltaa käytännöllisyysperiaatetta.



Kuva 6. Poistohormi ja sekoituspuhaltimella varustettu tuloilmalaite.

3.3.3 Seinäilmanvaihtolaite

Seinäilmanvaihtolaitteessa ilman poistetaan ja tuodaan sisään samalla laitteella. Toimintaperiaate selviää kuvasta 7. Poistopuhallin imee ilmaa poistoilma-aukkojen 6 kautta. Kiertoilmaläpän 4 asentoa muuttamalla voidaan säätää kiertoilman ja poistoaukosta 3 virtaavan ilman suhdetta. Ulkoilma virtaa kojeen sivuilla olevista aukoista 2 ja sekoittuu ennen eläinsuojaaan tuloaan kiertoilmaan. Ilman jako tapahtuu kuvassa 7a esitetyllä tavalla. Tuloilma virtaa kattoa pitkin vastakkaiselle seinälle ja laskeutuu sitä pitkin alas. Kiertoilmaläpän asentoa muuttamalla voidaan ilman jako pitää lähes muuttumattomana. Kun ilmanvaihtotarve pienenee, kiertoilman osuutta suurennetaan. Tällöin tuloilma-aukon kautta virtaava ilmamäärä säilyy samana.



Kuva 7 ja 7a. Seinäilmanvaihtolaitteen halkileikkauskuva ja periaatekuva ilmanjaosta.

3.4 Koneellisen alipaineilmanvaihdon tuloilmalaitteet

Koneellisen alipaineilmanvaihdon tuloilmalaitteet voidaan jakaa neljään ryhmään. Ne voivat olla: 1) ns. automaattiventtiilejä, 2) tavallisia säädettäviä tuloaukkoja, 3) tuloaukkoja, joissa on pelkän aukon lisäksi sekoituspuhallin ja kiertoilman käyttömahdollisuus tai 4) kappaleessa 3.3.3 kuvattuja seinäilmanvaihtolaitteita.

Automaattiventtiileissä rakennuksen sisällä vallitseva alipaine määrää tuloaukon avauksen. Painovoima tai jousi pitää säätöläpän alipainetta vastaavassa asennossa. Mitä suurempi alipaine on sitä enemmän tuloaukko on auki. Pyrkimyksenä on se, että tuloaukot säätöisivät automaattisesti ilmanvaihtotarpeen mukaan ilman erillisiä säätimiä ja moottoriventtiilejä. Vaikeutena on säätöläppien toiminnan saaminen herkkydeltään oikeiksi.

Tavallisissa säädettävissä tuloaukoissa on säätöläppä, jonka asentoa muuttamalla voidaan vaikuttaa virtausaukon poikkipinta-alaan. Säätöläpän asentoa muutetaan ilmanvaihtotarpeen mukaan käsin tai säätömoottorin avulla. Tavallisesti tuloaukkojen säätöläpät kytketään vaijereiden tai tankojen avulla yhteen, jotta kaikkia aukkoja voidaan säätää yhtäaikaaisesti.

3.4.1 Seinälle asetettavat tuloaukot

Seinälle asetettavat tuloaukot sijoitetaan tavallisesti rakennuksen pituussuuntaisille ulkoseinille. Hyvän ilmanjaon aikaansaamiseksi samalla seinällä olevat tuloaukot on kytkettävä yhteen siten, että ne säätyvät samanaikaisesti.

Seinäasennuksen haittapuolena on se, että tuloaukot ovat alttiina tuulen vaikutukselle. Jos rakennus on tuulisella paikalla, saattaa tuuli sekoittaa ilmanvaihdon toiminnan, koska tuulen paine rakennuksen eri puolilla on erilainen. Voi käydä jopa niin, että tyynen puolella olevat tuloaukot toimivat poistoaukoina ja kaikki tuloilma virta tuulen puolella olevista tuloaukoista.

3.4.2 Kattoon asetettavat tuloaukot

Kattoon asetettavat tuloaukot sijoitetaan joko seinänvieriin tai keskelle kattoa. Keskelle kattoa asennettavat tuloaukot voivat olla samanlaisia kuin seinäänviereen asetettavat, mutta ne voivat olla myös kahteen tai useampaan suuntaan ilmaa jakavia tai rengasmaisia tuloaukkoja. Useaan suuntaan ilmaa jakavilla ja rengasmaisilla tuloaukoilla voidaan ilma jakaa suuremmalle alalle kuin yhteen suuntaan puhaltavalla tuloaukolla. Rengasmaisessa aukossa on tavallisesti monta säätö- tai ohjausläppää, joilla voidaan vaikuttaa aukosta

eri suuntiin lähtevien ilmavirtojen suuntaan ja määrään. Kattoasennuksessa voidaan tuulen vaikutus ehkäistä, koska tuloaukot ovat tuuleen nähden samassa asemassa. Talvella tuloilma saadaan ullakolta hieman lämpimämpänä kuin suoraan ulkoa otettaessa. Sen sijaan kesällä aurinko lämmittää ullakolla olevaa ilmaa, joten silloin ilma on edullista ottaa vesikaton yläpuolelta tai vaakasuoralla kanavalla rakennuksen päädyistä.

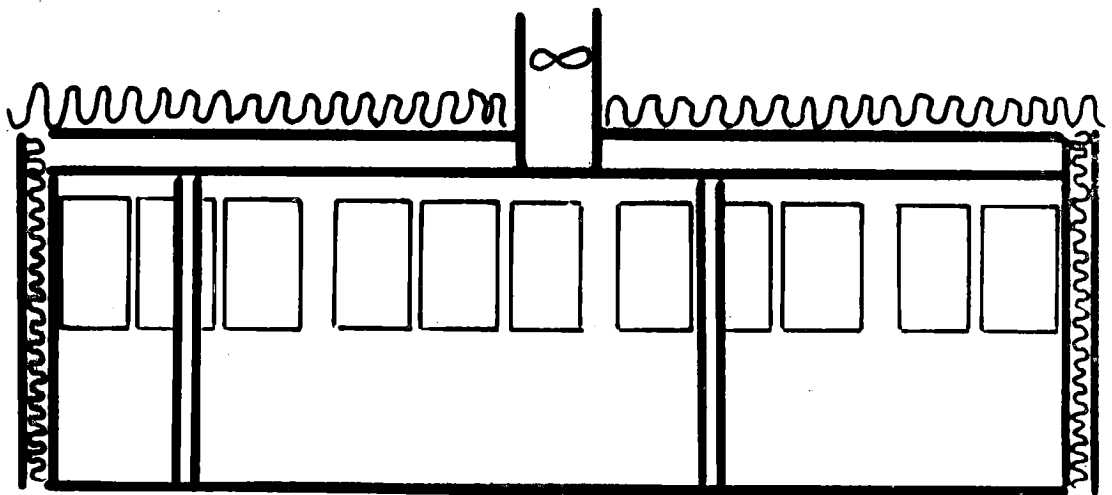
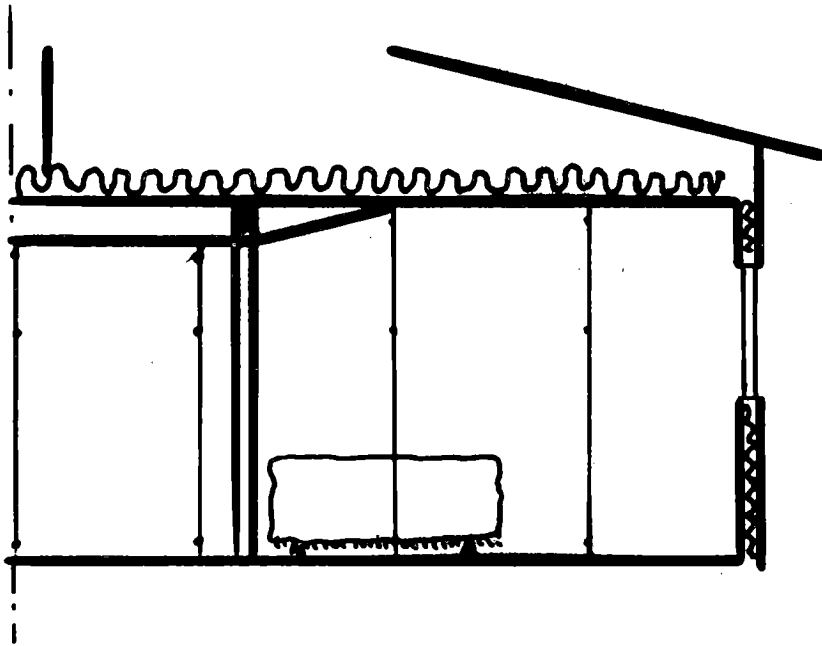
3.5 Eri tyyppisten laitteiden toiminta

VAKOLAN koelaboratoriossa selvitettiin viiden erilaisen tuloilmalaitteen toimintaa. Kaksi laitteista oli ns. automaattiventtiileitä, yksi tavallinen säädettävä tuloaukko ja yksi talviajan ilmanvaihtoon tarkoitettu prototyyppi ja yksi sekoitustyyppi.

Koelaboratorio, jossa mittaukset suoritettiin oli 9.75 m leveä ja 7.6 m pitkä. Rakennuksen sisäkorkeus oli sisäpuolella olevien kannatinpalkkien takia keskiosastaan pienempi kuin laidoilla, korkeus laidoilla oli noin 2.35 m ja keskellä noin 2.1 m. Katon korkeuden muutos oli juoheva. Poistohormi oli rakennuksen keskellä. Poistohormissa oli säädettävä puhallin, jolla haluttu ilmanvaihto aikaansaatiin. Eläinten lämmöntuottoa korvaamaan oli sijoitettu lämmityspattereita ja kosteudentuotto pyrittiin aikaansaamaan kastelemalla lattiaa ja pattereiden päällä olevia huopia. Mit

taukset suoritettiin olosuhteissa, jotka ilman lämpötilan ja suhteellisen kosteuden puolesta vastaavat navetassa vallitsevia olosuhteita.

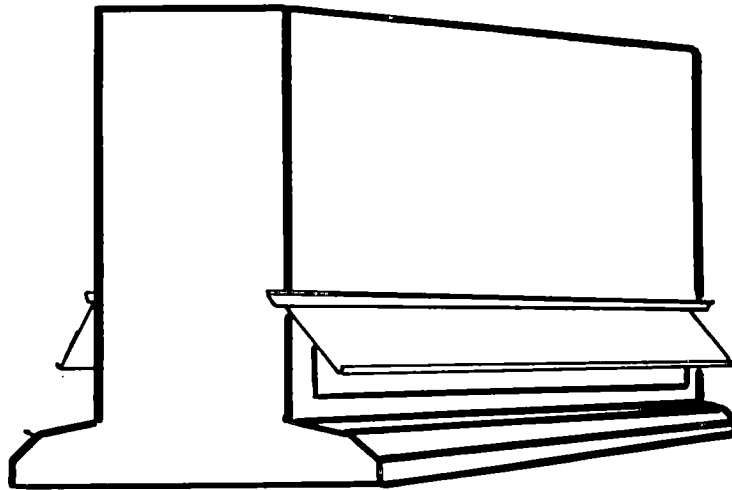
Lämpötilamittauksia suoritettiin 60 mittapistestä kolmelta eri korkeudelta. Mittaustasot olivat 10 cm ja 1.5 m korkeudella lattiapinnasta ja 10 cm etäisyydellä katosta. Kullakin tasolla oli 20 mittauspistettä jaettuna tasaisesti rakennuksen toiselle puoliskolle. Mittauspisteiden paikat on piirretty kuvaan 8. Lämpötila mitattiin 30 sekunnin välein automaattisesti ja tallennettiin tietokoneen muistiin. Ilman virtausnopeus mitattiin samoista pisteistä termoanemometillä. Ilmanvaihdon suuruus mitattiin mittasiivellä, joka oli sijoitettu poistohormiin. Ilmanvaihdon suuruus säädettiin puhaltimen kierrosnopeutta muuttamalla. Tuloaukkojen toimintaa selvitettiin minimi- ja maksimi-ilmanvaihdon olosuhteissa.



Kuva 8. Mittauslaboratorio

3.5.1 Maatalousilmastoinnin automaattinen raitisilmaventtiili

Maatalousilmastoinnin tuloilmalaite on ns. automaattiventtiili. Se on tarkoitettu kattoon asennettavaksi ja valmistettu solumuovista. Tuloaukon sivuilla on yläreunastaan saranoidut läpät, joiden avaus on riippuvainen rakennuksessa vallitsevasta alipaineesta. Mitä suurempi alipaine on, sitä enemmän läpät ovat auki. Yhden aukon kapasiteetti on valmistajan ilmoituksen mukaan $540 \text{ m}^3/\text{h}$.



Kuva 9. Maatalousilmastoinnin automaattinen raitisilmaventtiili

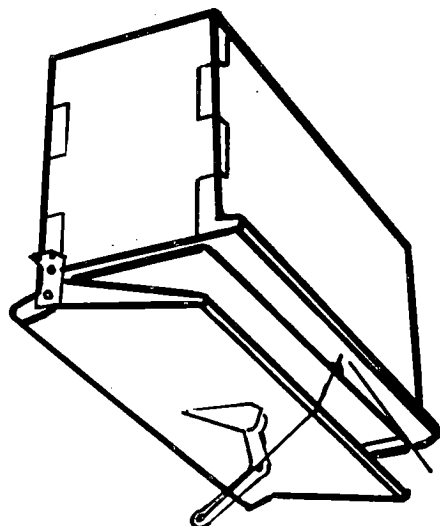
Kokeiltaessa laitetta talviolosuhteissa voitiin todeta, että ilmavirta suuntautuu tuloaukosta alaviistoon ja putoaa nopeasti lattiatasolle. Paine-eron vaikutuksesta toimivat säätöläpät eivät toimineet täysin tyydyttävästi. Tuloaukko

soveltunee parhaiten sijoitettavaksi esimerkiksi ruokintapöydän päälle. Tällöin kylmä tuloilma tulee eläinten etupuolelle, eikä aukon välittömässä läheisyydessä ole eläimiä. Kesäilmanvaihdossa aukko toimii varsin hyvin. Tuloilma virtaa aukosta viistosti alaspäin ja saa aikaan hyvän jäähdytysvaikutuksen.

Tuloaukko kiinnitetään kattoon laitteen runkoon kiinnitetyn kauluksen läpi kierrettävillä ruuveilla. Koska kaulus on melko kapea, on laitetta varten tehdyn aukon oltava mittatarkka. Pystykanavan pituus saisi olla suurempi, sillä asennusvara jää helposti liian lyhyeksi. Kesäajan ilmanvaihtoa silmälläpitäen aukot olisi edullista liittää ilmakehään, jolla ilma voitaisiin kesällä ottaa muualta kuin ullakolta.

3.5.2 Karjasuon Mikko raitisilmaventtiili

Mikko raitisilmaventtiili on myös ns. automaattiventtiili. Se voidaan asentaa joko kattoon tai seinälle. Valmistusmateriaali on polyuretaani. Tuloaukossa on jousikuormitteinen säätöläppä, jonka asento on alipaineesta riippuvainen. Jousen jännitystä voidaan muuttaa vipumekanismiin kytketyn säätövaijerin avulla. Jousen jännitystä muuttamalla voidaan vaikuttaa läpän asennon ja alipaineen väliseen suhteeseen. Valmistajan ilmoituksen mukaan yhden aukon kapasiteetti on $600 \text{ m}^3/\text{h}$.



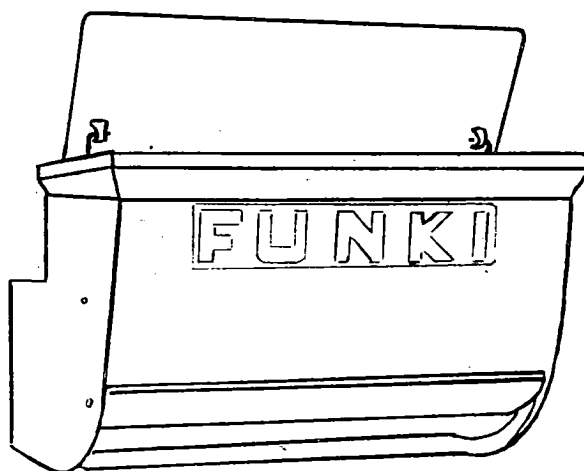
Kuva 10. Mikko automaattinen raitisilmaventtiili

Tuloaukkoa kokeiltiin ainoastaan kattoasennuksena. Valmistajan ohjeen mukaan se asennettiin siten, että ilmavirta suuntautuu tuloaukosta ulkoseinään päin. Talvella ilma virtaa ohuena vanana seinää pitkin lattialle. Ilman lämpötila 10 cm korkeudella lattiasta oli 1.4 - 2.5 °C alhaisempi kuin huoneessa 1.5 m korkeudella. Kylmä virtaus liikkui 10 cm korkeudella lattaista olevien mittauspisteiden alapuolella, tällöin tuloilman sekoittuminen sisäilmaan on varsin huonoa. Ilmanjaoltaan tämäntyyppinen laite saattaa soveltua parhaiten lihotussikalaan, koska kylmän ilman suuntautuminen lantakäytävälle edistää karsinoiden pysymistä siisteinä. Automaattiset säätöläpät eivät toimineet moitteettomasti. Ilmanvaihdon suuruuden muuttuessa vain herkimmät säätöläpät reagoivat ilmavirran muutokseen. Kesäajan ilmanvaihdossa laite toimii varsin hyvin.

Tuloaukko kiinnitetään kattoon ruuveilla rungossa olevista kauluksista. Koska kaulus on varsin kapea, on laitetta varten tehdyn aukon oltava mittatarkka. Asennusvara saisi kattoasennuksessa olla pitempi. Tuloaukko toimitetaan osina. Koska osien viimeistely ei ole kovin hyvä saattaa kokoonpano onnistua huonosti ja tuloaukon toimintakyky vaarantua. Olisi parempi jos tuloaukot toimitettaisiin valmiiksi koottuina.

3.5.3 Funki FP-700 tuloaukko

Funki FP-700 on tavallinen säädettävä tuloaukko. Se on tarkoitettu asennettavavaksi seinälle ja sen kapasiteetti on peukalosäännön mukaan $700 \text{ m}^3/\text{h}$. Laitteessa on kaksi tuloilman säätöläppää. Alempi säätöläppä on kytketty ylempään



Kuva 11. Funki tuloaukko

säätöläppään siten, että se aukeaa vasta, kun ilmanvaihtotarve on suuri. Kytkennän tarkoituksena on parantaa ilmanvaihdon jäähtytysvaikutusta lämpimänä vuodenaikana. Laite on valmistettu solumuovista.

Laite toimii talviolosuhteissa välttävästi. Mitattu ilman lämpötila lattiatasolla oli 3.2 °C alempi kuin huoneessa 1.5 m korkeudella. Tuloaukon toimintaa huonontaa alemman säätöläpän ja laitteen rungon väliin jäävä suuri rako. Rasta virtaava ilma huonontaa tuloaukon toimintaa ilmanvaihdon ollessa pieni. Jos eläinsuojassa vallitseva alipaine on pieni laskeutuu tuloilma varsin nopeasti. Kesällä tuloaukko toimii hyvin ja sillä saadaan alemman säätöläpän ansiosta hyvä jäähtytysvaikutus.

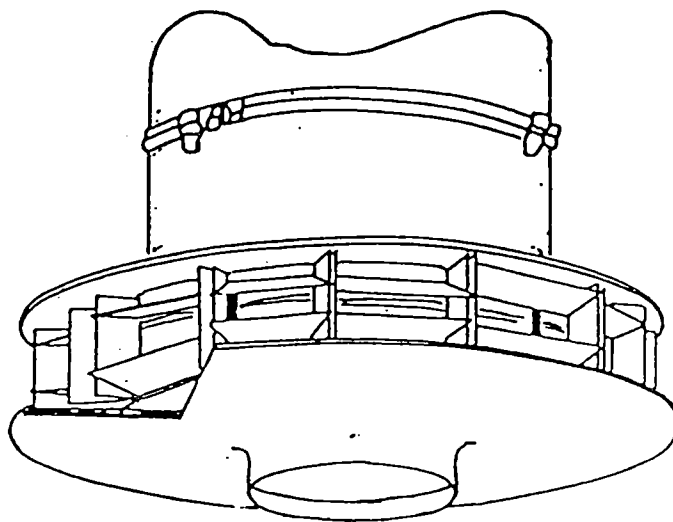
Tuloaukko on viimeistellyn näköinen. Tuloaukon säätöläppien sovituksessa on huomauttamista, koska alemman säätöläpän ja laitteen rungon väliin jäävä rako on suuri, eivätkä kaikkien tuloaukkojen säätöläpät sulkeutuneet kunnolla.

3.5.4 Alfa-Ventic kiertoilmalaite

Alfa-Ventic kiertoilmalaite on kattoon asennettava tuloilmalaite, jossa on kiertoilmapuhallin. Kiertoilmapuhallin puhalttaa huoneilmaa tuloilman alapuolelle ja aikaansaa tehokkaan ilman sekoittumisen. Sekä kiertoilma, että tuloilma

tulevat eläintilaan saman suutinrenkaan läpi. Suutinrenkaassa on ilmanohjausläpät, joilla voidaan ohjata ilmavirtausta ja ilman jakoa. Laite on valmistettu solumuovista ja sen kapasiteetti on valmistajan ilmoituksen mukaan noin 3000 m³/h.

Tuloilmalaite toimi talviolosuhteissa hyvin, kun kiertoilmapuhaltimen pyörimisnopeus oli suuri. Mitattu lämpötila lattiatasolla oli noin 0.5 °C kylmempi kuin 1.5 m korkeudella silloin, kun kiertoilmapuhallin oli täysillä ja 2.7 °C kylmempi kuin 1.5 m korkeudella silloin, kun kiertoilmapuhallin ei pyörinyt ollenkaan. Kiertoilman ja tuloilman seos virtaa katon rajassa seinänvieriin ja sekoittuu tehok



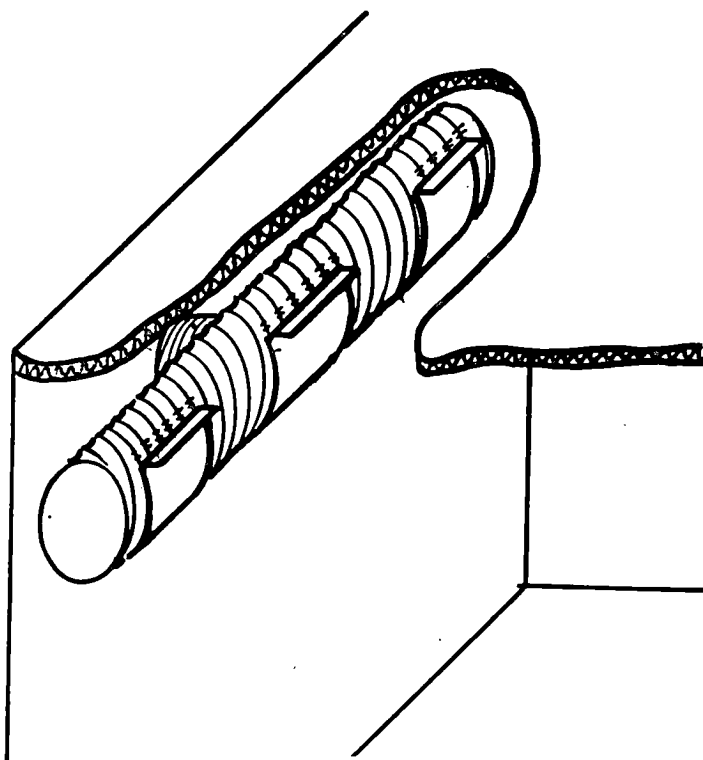
Kuva 12. Alfa-Ventic kiertoilmalaite

kaasti rakennuksessa olevaan ilmaan. Jos kiertoilmapuhallin pysäytetään ilma virtaa suutinrenkaasta lähes pystysuoraan lattialle. Suutinrenkaassa olevien ohjausläppien avulla voidaan ilmavirran suuntaa muuttaa. Myös kesäilmanvaihdossa laite toimii hyvin. Ohjausläppien avulla voidaan ilmavirtaus suunnata siten, että jäähdytysvaikutus saadaan hyväksi.

Viimeistelyltään laite on siisti. Kokoonsa nähden se ei vaikuta kovin tukevalta. Kokeiltavan laitteen kiertoilmapuhaltimen kiinnityskorvakkeet olivat liian lyhyet. Korvakkeiden alle täytyi laittaa aluslevyjä, etteivät puhaltimen siivet olisi koskettaneet puhaltimen edessä olevaan säleikköön. Sähköjohdolle ei ole läpivientä, vaan se pitää pujottaa suutinrenkaan kautta, tämä vaikeuttaa sähköjohton kohdalla olevien ohjausläppien asennonsäätöä. Ohjausläppien asennonsäätö on huono, koska läpät eivät pysy kunnolla oikeassa asennossa. Laitteessa olevan tuloilmalautasen säätö on huono, kumiset pidätinrenkaat kuluvat nopeasti ja tekevät säädön mahdottomaksi. Tuloilmalautasen asennon muuttaminen on hankalaa. Tuloilmalaitteesta aiheutuva melu oli kiertoilmapuhaltimen säätimen asennolla 6 (maksimipyörimisnopeus) 66 dB ja säätimen asennolla 3 melu oli 57 dB. Melu mitattiin 1 m päästä tuloilmalaitteesta. Laite on tyydyttävän hiljainen.

3.5.5 "Itkuputki" tuloilmalaite

"Itkuputki" on tuloilmalaite, joka oli prototyyppinä mukana tutkimuksessa. Laite on valmistettu alumiinisesta kierresaumaputkesta. Kierresaumaputkeen on hiottu reikiä, joiden kautta ilma tulee eläintilaan. Kanavan ympärille on taivutettu peltilevyjä, joiden avulla säädetään tuloaukon pinta-alaa ja ohjataan tuloilmavirtaa. "Itkuputken" ideana on se, että eläinsuojan kosteasta ilmasta tiivistyy vettä kierresaumaputken kylmälle pinnalle ja tiivistymisen yhteydessä vapautuva ilma lämmittää tuloilmaa, joka virtaa putken sisällä.



Kuva 13. "Itkuputki" ilmanvaihto ja lämmöntalteenottolaite

Laitteen lämmöntalteenottokykyä ei selvitetty. Ilmanvaihtolaitteena laite toimi talviolosuhteissa hyvin. Kesäajan ilmanvaihtoominaisuuksia ei mitattu. Laitteen suunnittelijan mukaan mitoitus on ajateltu niin, että kesäajan ilmanvaihtoa varten on olemassa erilliset tuloilma-aukot, joten "itku-putki" mitoitetaan minimi-ilmanvaihdon mukaan.

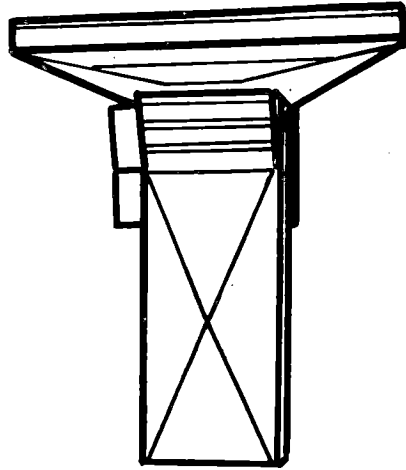
Koska laite ei ollut kokeiltaessa vielä täysin valmis, on asennuksesta vaikea sanoa mitään. Koska laite on tehty melko ohuesta alumiinipelistä, sitä on käsiteltävä hellävaroen.

3.5.6 Trional seinäilmanvaihtolaite

Trional seinäilmanvaihtolaite ei ollut mukana suoritetuissa laboratoriomittauksissa. Se on kuitenkin koetettu VAKOLAssa vuonna 1981 /4/. Jotta voitaisiin tehdä läpileikkaus markkinoilla olevista alipaineilmanvaihdon laitetyypeistä otettiin myös seinäilmanvaihtolaite mukaan. Arvostelu perustuu kokeuksesta saatuihin tietoihin.

Trional on alipaineilmanvaihtolaite, jossa on yksi sisäänpuhallussuutin ja kaksi poistoaukkoa. Laitteessa voidaan kierrättää eläinsuojan ilmaa ohjaamalla osa poistoilmasta tulopuolelle käsisäätöisen läpän avulla. Laitteessa on potkuripuhallin, jonka pyörimisnopeutta säädetään portaattomasti huoneen lämpötilan mukaan ohjaavalla pyörimisnopeus-

säätimellä. Tuloilmasuuttimessa on painovoiman ja alipaineen avulla toimiva säätöläppä, joka muuttaa suuttimen virtausaukon pinta-alaa sisällä vallitsevan alipaineen mukaan.



Kuva 14. Trional seinäilmanvaihtolaite

Ilmavirtaa suuntautuu tuloilmasuuttimesta katon suuntaisesti ja ilma virtaa katon pinnan läheisyydessä vastakkaiselle seinälle. Ilman jako on hyvä, jos sisäkatto on tasainen. Kylmälle arkoja eläimiä ei tule sijoittaa sille puolelle rakennusta, jossa tuloilma laskeutuu lattialle.

3.6 Ilmanvaihdon suunnittelu ja toteutus

3.6.1 Yleistä

Ensimmäinen askel ilmanvaihdon suunnittelussa on ilmanvaihtotarpeen määrittäminen. Kun ilmanvaihtotarve on selvitetty voidaan siirtyä ilmanvaihtolaitteiden mitoittamiseen ja valintaan. Uudisrakennusta tehtäessä on edullista, jos ilmanvaihdon suunnittelu aloitetaan samanaikaisesti muun suunnittelun kanssa. Tällöin pystytään parhaiten täyttämään ilmanvaihdon ja ilmanvaihtolaitteiden asettamat vaatimukset. Valitsemalla ilmanvaihtolaitteisto riittävän ajoissa voidaan ottaa sen rakenneratkaisuille asettamat vaatimukset huomioon ja säästytään hankalilta muutoksilta.

Vanhoissa rakennuksissa ilmanvaihtolaitteiden valinta on hankalampaa, koska valinta on tehtävä valmiin rakennuksen ehdoilla. Rakennuksen muoto ja mitat, kantavat rakenteet tms. voivat olla esteenä joidenkin laitteistojen käytölle.

3.6.2 Ilmanvaihtolaitteiston mitoitus

Eläintä kohti lasketut ilmanvaihtotarpeen lukuarvot on esitetty taulukossa 1. Kun tiedetään eläinsuojassa olevien eläinten lukumäärä ja koko voidaan taulukon 1 avulla laskea

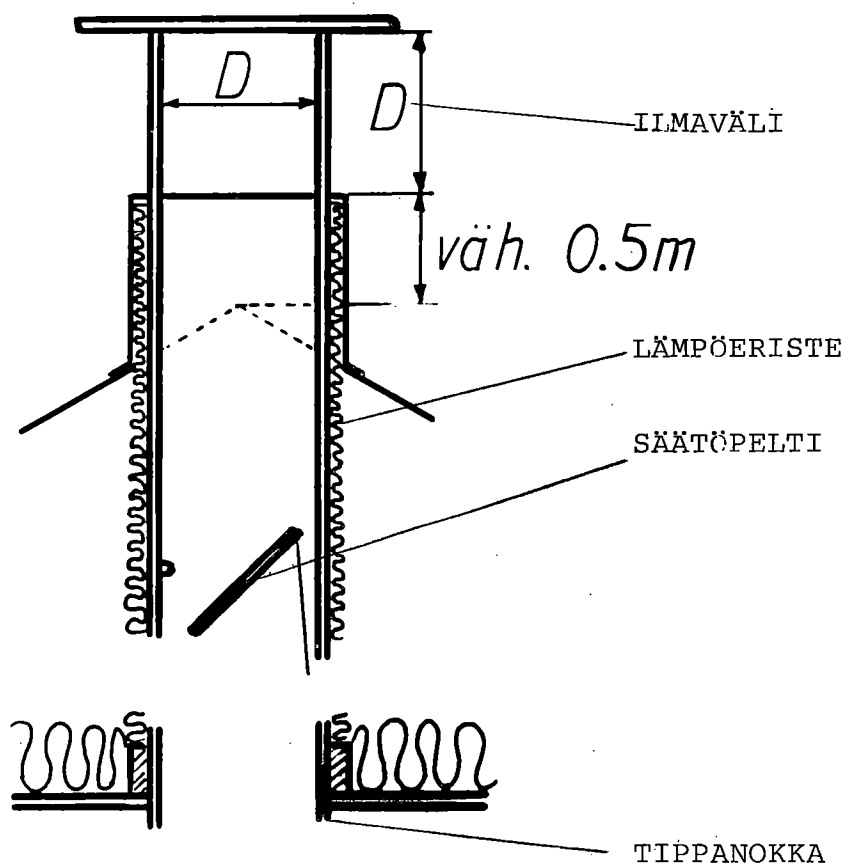
ilmanvaihtotarve. Ilmanvaihtotarve määrittää suoraan ilmanvaihtolaitteiden kapasiteetin. Jos suunnitteilla on eläinmäärän suurentaminen, se kannattaa ottaa mitoituksessa huomioon.

Painovoimaisen ilmanvaihdon tuloaukkojen ja poistohormin mitoitus on esitetty kappaleessa 3.1 ja koneellisen alipaineilmanvaihdon tulo- ja poistoaukkojen mitoitus kappaleessa 3.2. Mitoitettaessa kuvassa 7 esitetyn kaltaista seinäilmanvaihtolaitetta ei kappaleen 3.2 ohjeita voida suoraan käyttää, koska seinäilmanvaihtolaitteen tulo- ja poistoaukon pinta-ala ovat toisiinsa sidottuja.

3.6.3 Poistohormi

Koska poistoilman suhteellinen kosteus on suuren osan vuodesta lähellä 100 % tiivistyy poistohormin seinämille helposti vettä. Tiivistyminen on sitä voimakkaampaa, mitä kylmempi seinämän pinta on suhteessa poistoilman lämpötilaan. Kosteuden tiivistymisen minimoimiseksi ja kosteuden aiheuttamien rakennevahinkojen estämiseksi poistohormi on valmistettava kosteutta kestävästä materiaalista ja se on lämpöeristettävä. Ilmanvaihdon säädön takia hormissa on oltava säätöpelti, joka on hyvä sijoittaa lähelle hormin yläpäätä. Kun säätöpelti sijoitetaan lähelle hormin yläpäätä pysyy hormissa oleva ilman lämpimämpänä ja kosteuden tiivistyminen

vähenee. Ilmanvaihdon ollessa pieni takaisinvirtaus ei pääse huuhtelevaan hormin pintoja, kun säätöpelti on ylhäällä. Säätöpelti on tehtävä kosteutta kestävästä materiaalista ja sen pinta-ala tulee olla jonkinverran pienempi kuin hormin pinta-ala, jotta säätöpelti pääsee liikkumaan kunnolla. Poistopuhallin kannattaa sijoittaa hormin puoliväliin puhaltimen aiheuttaman melun vähentämiseksi. Puhallinta ei tule kuitenkaan sijoittaa välittömästi säätöpellin alapuolelle. Puhallin kannattaa kiinnittää siten, että se on tar-



Kuva 15. Poistohormi

vittaessa helppo irroittaa huollon ja korjauksen ajaksi. Poistohormin sisäseinän alareunan tulee ulottua sisäkaton alapuolelle. Tällöin hormin seinämiin tiivistyvä vesi valuu lattialle eikä pääse tunkeutumaan rakenteisiin tai eristeisiin. Toisin sanoen hormissa on oltava tippanokka. Koneellisen ilmanvaihdon poistohormi ei tarvitse välttämättä sadehattua. Jos sadehattu tehdään, on sen ja hormin pään väliin jäätävä noin kanavan halkaisijan suuruinen ilmaväli. Sadehatun leveyden tulee olla noin kaksi kertaa hormin halkaisija. Poistohormin pään, hormin virtausaukon yläreunasta laskettuna, tulee ulottua vähintään 0.5 m vesikaton korkeimman kohdan yläpuolelle. Vesikaton ja poistohormin etäisyys mitataan virtausaukon yläreunasta - ei sadehatun yläreunasta.

3.6.4 Tuloaukot

Tuloaukkojen mitoitus on esitetty painovoimaiselle ilmanvaihdolle kappaleessa 3.1 ja konelliselle ilmanvaihdolle kappaleessa 3.2.

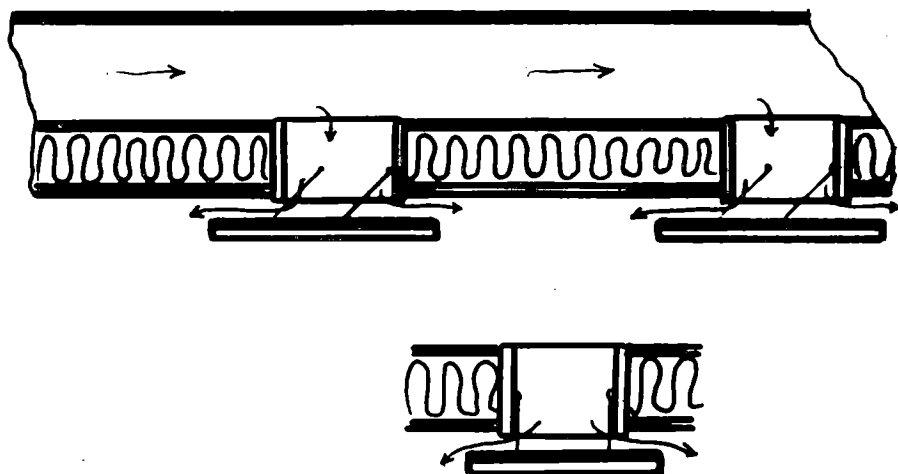
Tuloaukkojen tärkein tehtävä on ilman jako eläinsuojaan. On edullista, jos tuloilma voidaan navettassa tuoda lehmien pääpuolelle. Jaon on tapahduttava mahdollisimman tasaisesti ja vedottomasti ottaen huomioon eläinten lämmön- ja kosteudenkehitys. Tuloaukkoja sijoitettaessa on otettava huo-

mioon eri tuotantovaiheessa olevien eläinten tarpeet. Tuloaukkoja ei saa sijoittaa siten, että kylmä ilmavirta suuntautuu kylmälle arimpien eläinten kohdalle. Esimerkiksi navetassa ei tuloaukkoja saa sijoittaa siten, että kylmä ilma virtaa pikkuvasikoiden karsinaan.

Jaon tasaisuuden ja vedottomuuden kannalta on edullista jos tuloaukkoja on paljon tai käytetään pitkää kapeaa rakomaista aukkoa. Aukon asentamisessa on syytä olla asennusvaiheessa erityisen tarkka.

Jos tuloaukot tehdään itse, pätevät samat mitoitusohjeet ja toimintavaatimukset kuin tehdasvalmisteisille aukoille. Kuvissa 16, 17 ja 18 on esitetty itsetehtyjen tuloaukkojen malleja.

Kuvan 16 tuloaukko voidaan asentaa kattoon tai tuloilmakanavaan. Sopiva paikka on esimerkiksi ruokintapöydän yläpuolella. Tuloaukon avausta vaakasuoraa ohjauslevyä liikuttamalla. Tuloaukot voidaan kytkeä yhteen siten, että kaikki aukot säätyvät samanaikaisesti. Kytkeminen tapahtuu sijoittamalla tuloaukot samaan linjaan ja yhdistämällä ohjauslevyt toisiinsa langoilla tai tangoilla. Mitoitus tapahtuu kappaaleessa 3.2 olevien ohjeiden mukaan.

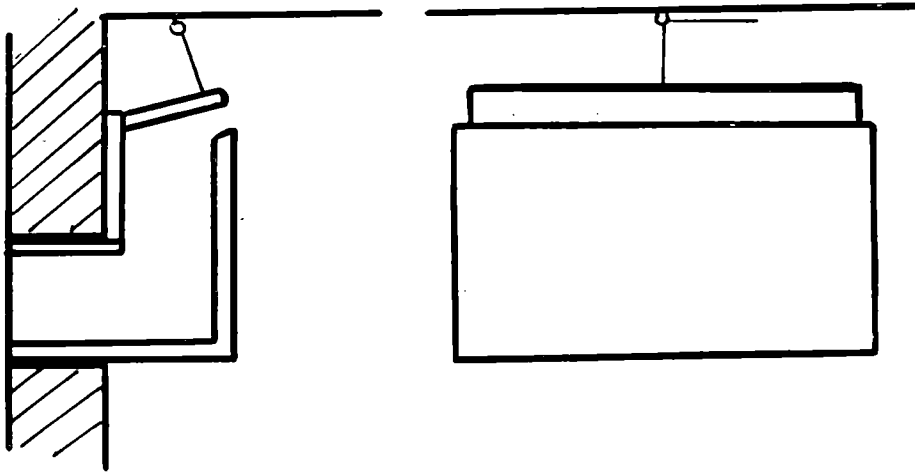


Kuva 16. Kattoasennukseen sopiva itse tehty tuloaukko,
joka on yhdistetty ilmanjakokanavaan

On edullista, jos kuvan 16 tyyppiset tuloaukot yhdistetään tuloilmakanavaan. Tällöin saadaan ilma talvella ullakolta ja kesällä ulkoa. Jos käytetään kanavaa, jonka poikkipinta-ala on vakio täytyy kanavan poikkipinta-ala olla 1.2 kertaa kanavaan yhdistettyjen tuloaukkojen yhteispinta-ala. Jos tuloilmakanava sijoitetaan välikaton yläpuolelle, ei sitä tarvitse lämpöeristää.

Kuvan 17 aukko on tarkoitettu seinäasennukseen. Aukon yläreunassa on seinänpuoleisesta reunastaan saranoitu säätöläppä, jonka asentoa voidaan muuttaa ilmanvaihtotarpeen mukaan. Tällainen tuloaukko kannattaa asentaa melko lähelle kattoa, jotta saadaan tuloilma talvella virtaamaan katonrajassa.

Tällöin ilma virtaa kauemmas tuloaukosta ja ilman jako paranee. Aukkojen säätö tapahtuu luonnollisesti siten, että kaikki samalla seinällä olevat aukot säätyvät samanaikaisesti.

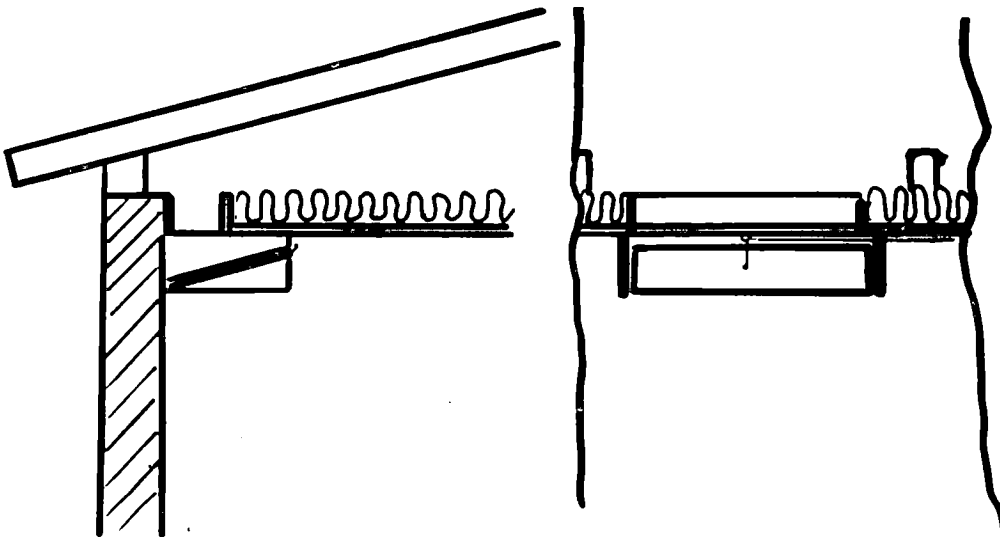


Kuva 17. Seinäasennukseen sopiva itsetehty tuloaukko

Kuvan 18 tuloaukko on tarkoitettu kattoasennukseen. Tällainen aukko sijoitetaan tavallisesti kattoon, ulkoseinän viereen. Yksinkertaisella läppäsystemillä voidaan ilma kesällä ottaa suoraan ulkoa räystäään alta ja talvella ullakolta. Kuvan 17 ja 18 aukot sopivat hyvin myös painovoimaisen ilmanvaihdon tuloaukoiksi.

Valmistettaessa tuloaukkoja itse on syytä olla huolellinen, jotta aukoista tulee toimivia. Säätöläppien on toimittava kunnolla, ne eivät saa takerrella. Liitosten täytyy olla tiiviitä ja materiaalien on kestävä kosteutta.

Kattoon tai seinänviereen asennettavat tuloaukot sopivat parhaiten rakennuksiin, joiden katossa ei ole ilmavirtauksia haittaavia esteitä. Leveissä rakennuksissa voi syntyä ongelmia ilman jaossa, koska ilma ei virtaa aukosta kovin kauas.



Kuva 18. Kattoasennukseen tarkoitettu itsetehty säädettävä tuloaukko

Keskelle kattoa asennettavat tuloaukot sopivat kaikenlaisiin rakennuksiin. Varsinkin navetassa ruokintapöydän yläpuoli on hyvä tuloaukkojen sijoituspaikka, koska tällöin tuloilma virtaa eläinten etupuolelle. Keskelle rakennusta asennettavat tuloaukot kannattaa liittää tuloilmakanavaan, koska kesällä aurinko lämmittää ullakolla olevaa ilmaa ja lisää siten ilmanvaihtotarvetta.

Automaattiventtiilien toiminta perustuu siihen, että ilmavirran säätöläpät avautuvat alipaineen mukaan. VAKOLassa kokeiltujen laitteiden säätöläpät eivät toimineen tyydyttävästi. Automaattiventtiilien säätöläppien toimintaherkkyys ei ollut riittävä ja tuloaukkokohtaiset erot toimintaherkkydessä olivat suuria.

Sekoituspuhaltimella varustettu tuloilmalaite toimi hyvin VAKOLassa tehdyissä mittauksissa. Ilman jako oli tehokasta ja lämpötilaerot pieniä. Eläinten oleskeluvyöhykkeellä ei voitu todeta liian suuria ilman nopeuksia, vaikka rakennus, mittaukset tehtiin varsin matalassa rakennuksessa. Tämän tyyppinen ilmanvaihtolaite sopii pohjaratkaisultaan suorakaiteen muotoiseen rakennukseen. Tällaisen laitteen voi sijoittaa muunkinlaiseen rakennukseen jos tila voidaan jakaa neliöihin, joiden keskipisteisiin tuloilmalaitteet asennetaan. Kiertoilmapuhaltimella varustettua tulohormia hankittaessa on kiinnitettävä huomio seuraaviin seikkoihin:

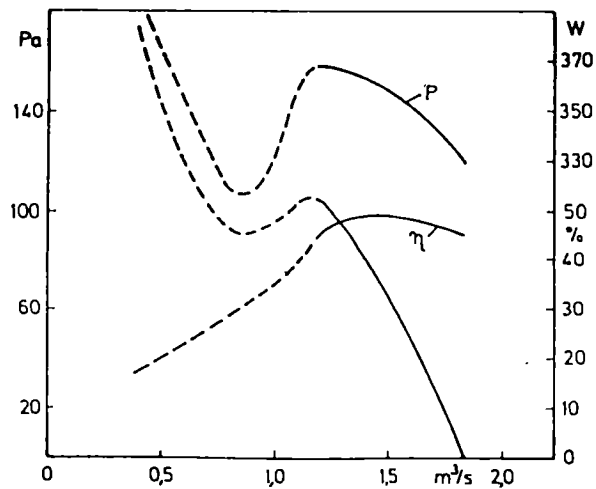
- kiertoilmapuhaltimen pyörimisnopeuden on oltava säädettävä
- ilmavirran ohjausläppien on toimittava kunnolla
- tuloilma-aukko on säädettävä, säädön on oltava helppoa ja säätölaiteiston oltava sellainen, että se toimii

3.6.5 Puhaltimet ja säätölaitteet

Koneellisessa alipaineilmanvaihdossa poistopuhaltimien tehtävä on aikaansaada rakennuksen sisälle ulkoilmaan nähden ilmanvaihtotarpeen kannalta riittävä alipaine. Hyvältä puhaltimelta vaaditaan ainakin seuraavia ominaisuuksia:

- puhallin pystyy tyydyttämään ilmanvaihtotarpeen
- puhallin kuluttaa vähän energiaa
- puhaltimen aiheuttama melu on vähäinen
- puhallin on kestävä ja se vaatii vähän huoltoa

Eläinsuojissa yleisesti käytettävien puhaltimien tilavuusvirran suhdetta paine-eroon kuvaava ominaiskäyrä on muodoltaan kuvan 19 mukainen. Puhaltimella aikaansaatava paine-



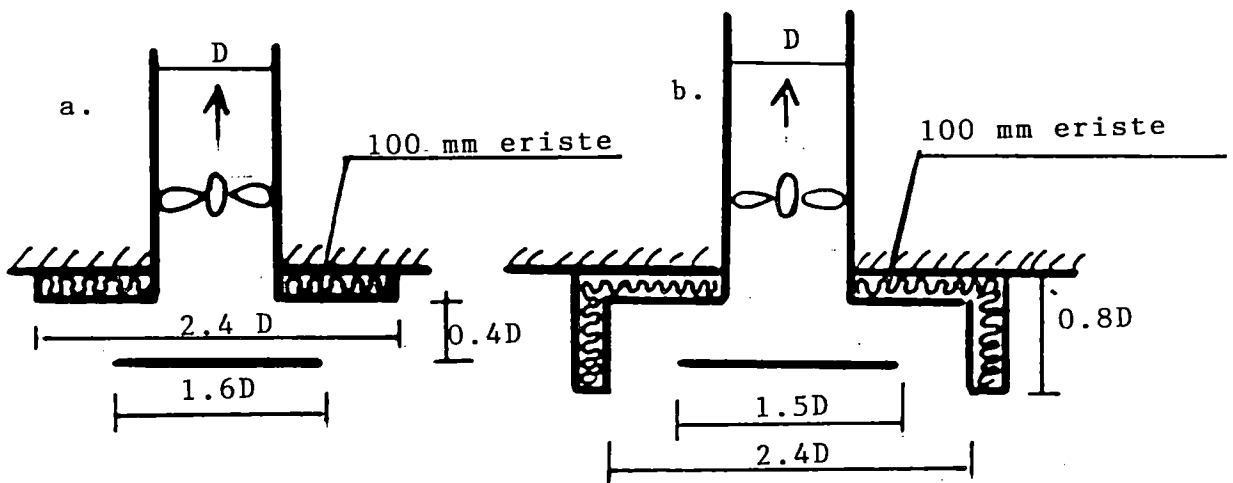
kuva 19. Tyypillinen eläinsuojissa käytettävän puhaltimen ominaiskäyrä

ero on pieni ja tilavuusvirta vähenee voimakkaasti paineeron kasvaessa. Puhallinta valittaessa on muistettava ilmanvaihtolaitteiston mitoituspaine-ero, joka on tavallisessa alipainejärjestelmässä 60 Pa.

Eri merkkisten puhaltimien hyötysuhteissa ei ole suuria eroja. Puhaltimen pyöriessä täydellä jännitteellä on sen hyötysuhde 40...50 %. Osajännitteillä hyötysuhde laskee nopeasti ja se on puolella jännitteellä vain noin 10 %. Puhaltimella siirrettyä ilmamäärää kohti laskettu energiamäärä säilyy kuitenkin lähes vakiona koko jännitealueen.

Puhaltimen aiheuttama melu riippuu siipipyörän kehänopeudesta, siipien muotoilusta sekä puhaltimen sijoituksesta melun mittauspisteeseen nähden. Puhaltimien ominaispyörimisnopeudet ovat tavallisesti 900 tai 1400 r/min. Yleisesti ottaen 900 r/min puhaltimet ovat äänettömämpiä. Puhaltimien aiheuttama melu vaihtelee välillä 50...75 dBA. Melua voidaan pienentää sijoittamalla puhallin poistokanavaan tai rakentamalla äänenvaimennin, jollaista esittää kuva 20 /3/.

Puhaltimien kestävyyksissä ei liene suuria eroja. Jos on mahdollista, kannattaa valita suojausluokaltaan mahdollisimman hyvä puhallin. Kun puhaltimen moottori on hyvin suojattu, vesi ja lika ei pääse vioittamaan sähkölaitteita.



Kuva 20. Puhaltimen melua vähentävä äänenvaimennin

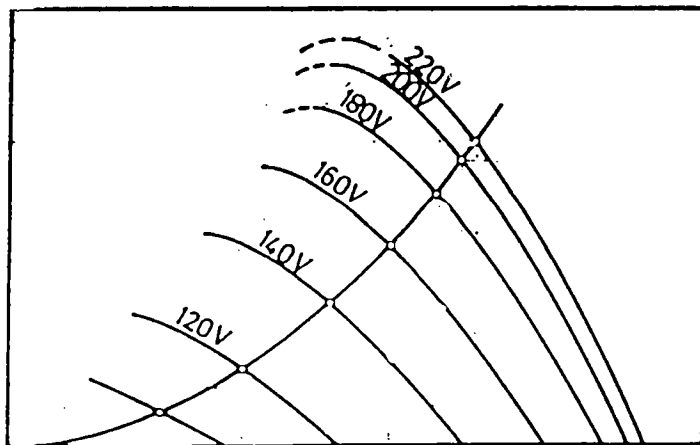
Ilmanvaihtolaitteiston säätölaitteita on periaatteessa kahta tyyppiä: puhaltimien pyörimisnopeuden säätimet ja tulo- tai poistoaukkojen säätöläppien asennon säätimet. Tavallisesti säätö on molempien säätömuotojen yhdistelmänä.

Puhaltimien pyörimisnopeuden säätö voi olla yksiportainen, moniportainen tai portaaton. Yksiportaista eli on-off säätöä ohjaa termostaatti. Termostaatti pysäyttää puhaltimen lämpötilan laskiessa pysäytysarvon alapuolelle ja käynnistää sen jälleen lämpötilan noustua käynnistysarvon yläpuolelle. Käynnistysarvo on hieman pysäytysarvoa korkeampi puhaltimen

käynnistysten ja pysäytysten määrän pienentämiseksi. Yksiportainen säätö ei ole säätötapauhtuman rajuuden vuoksi kovin hyvä säätömenetelmä yksinään käytettäväksi .

Kaksi tai useampiportainen säätö saadaan aikaan moniportaisella moottorilla, moniportaisella termostaatilla, usealla termostaatilla tai moniportaisella jännitemuuntajalla. Jos pyörimisnopeusportaita on riittävä määrä, tulee säädöstä tasainen ja säätöalue saadaan suureksi, varsinkin jos käytetään useita puhaltimia.

Portaaton säätö tapahtuu tavallisesti puhaltimen moottorin jännitettä muuttamalla. Jännitteen säätiminä käytetään yleisimmin tyristöreita. Lämpötila-anturi mittaa eläinsuojassa vallitsevaa lämpötilaa, vertaa sitä säätimen asetusarvoon ja muuttaa tarpeen mukaan moottorille menevää jännitettä.



Kuva 21. Potkuripuhaltimen ominaiskäyrä eri puhaltimen moottorin jännitteillä

Säätimet ovat yleensä tyypiltään suhdessäätimiä. Säätimessä on usein lämpötilan, suhdealueen ja puhaltimen minimikierronopeuden asetusta varten säätöruuvi. Edellä mainittujen lisäksi säätimeen kuuluu usein alarajatermostaatti, jonka tehtävänä on estää eläinsuojan lämpötilan laskeminen niin alhaiseksi, että siitä on vaaraa rakennuksen kunnolle. Kuvaan 21 on piirretty puhaltimen ominaiskäyriä eri jännitteillä sekä ilmanvaihtojärjestelmän oletettu painehäviökäyrä.

Ilmanvaihdon säätö voi tapahtua myös niin, että portaaton ja portaittainen säätö yhdistetään. Tällöin osa puhaltimista on portaittain ja osa portaattomasti säädettäviä. Pienet ilmamäärät hoidetaan portaattomana säätönä ja ilmanvaihtotarpeen kasvaessa yksinopeuspuhaltimet tulevat asteittain mukaan. Tuloksena saadaan säätöjärjestelmä, jossa yksinopeuspuhaltimien avulla tehdään ilmanvaihdon karkea säätö ja portaattomasti säädetty puhallin hoitaa hienosäädön. Tällainen säätötapa sallii ilmanvaihtotarpeen laajan vaihtelun.

Tulo- ja poistoaukkojen säätöläppien asentoa voidaan säätää automaattisesti tai käsin. Painovoimaisessa ilmanvaihdossa tulisi käyttää automaattista säätöä, koska ilmanvaihdon määräsäätö tapahtuu pelkästään ilmavirtaa kuristamalla.

Koneellisessa ilmanvaihdossa käytettäessä kierrosnopeussäätöä tullaan toimeen käsiasäädöllä. Keväällä käsiasäätöä on muutettava aamulla ja illalla. Automaattisen säädön ohjaavana suureena voi olla esimerkiksi rakennuksessa vallitseva alipaine tai ulkolämpötila.

3.6.6 Ilmanvaihdon toiminnan seuranta

Vaikka ilmanvaihtolaitteistossa on säätölaitteisto, joka ohjaa ilmanvaihdon toimintaa, ei se takaa kunnollista toimintaa ilman säännöllistä hoitoa. Ilmanvaihdon toimintaa on tarkkailtava ja käsiasäätöisiä tuloaukkoja säädettävä.

Ilmanvaihdon säätö tapahtuu tavallisesti sisäilman lämpötilan mukaan. Lämpötila-anturi mittaa ilman lämpötilaa, vertaa sitä lämpötilan asetusarvoon ja ohjaa mittaus- ja asetusarvon eron perusteella ilmanvaihdon toimintaa. Lämpötilaa ei yleensä pyritä pitämään samana koko vuotta, vaan lämpötilan annetaan olla kesällä korkeampi kuin talvella. Tämä johtuu siitä, että talvella säästetään lämmityskustannuksista ja kesällä ilmanvaihtokustannuksista. Lämpötilan asetusarvoa muutetaan ulkolämpötilan mukaan. Esimerkiksi navetassa voidaan talvella käyttää asetusarvona 12°C ja kesällä 20°C. Kun asetusarvo on oikeassa suhteessa ulkolämpötilaan, on säätölaitteisto toiminta-alueellaan ja sillä on mahdollisuudet toimia. Jos kesällä käytettäisiin asetusarvona 12°C, pyörisivät puhaltimet jatkuvasti täysillä,

koska jo tuloilma on säätimen asetusarvoa lämpimämpää Talvella 20 °C asetusarvo johtaisi siihen, että puhaltimet pyörisivät koko ajan minimikierroksilla, koska eläinten lämmöntuotto ei riittäisi pitämään lämpötilaa riittävän korkeana. Yleisesti ottaen väärän asetusarvon käyttäminen lisää lämpötilavaihteluita eläinsuojassa silloin, kun ulkoilman vuorokautiset lämpötilavaihtelut ovat suuret. Liian korkean asetusarvon käyttäminen aiheuttaa kosteus- ja kaasuhaittoja.

Hyviä välineitä ilmanvaihtolaitteiston toiminnan seuraamiseen ovat minimi-maksimi lämpötilamittari ja ilmankosteusmittari. Minimi-maksimi lämpötilamittarilla voidaan seurata eläinsuojan lämpötilaa ja lämpötilan vuorokausivaihteluita. Kosteusmittarilla voidaan seurata ilmanvaihdon riittävyyttä. Jos ilman suhteellinen kosteus ylittää taulukossa 1 esitetyt arvot on ilmanvaihto liian vähäistä. Kosteusmittari voi olla aivan tavallinen hiuskosteusmittari. Tärkeää on, että mittari tarkistetaan aika-ajoin. Tarkistaminen tapahtuu siten, että kosteusmittari kiedotaan kosteaan pyyhkeeseen ja annetaan sen olla siellä niin kauan, että mittarin näyttämä vakiintuu. Tämän jälkeen säädetään mittari näyttämään 95 % suhteellista kosteutta, kiedotaan uudelleen kosteaan pyyhkeeseen ja tarkistetaan, että mittarin näyttämä pysyy 95 %. Jos mittarissa oleva hiuskimppu on irroitettavissa voi sen pestä esimerkiksi astianpesuaineella.

Rakennuksen tiiviys on varsin tärkeä seikka alipaineilmanvaihdon toiminnan kannalta. Suurimmat ilmavuodot tulevat yleensä ovista ja ikkunnoista. Vuotoja voidaan hakea tunnustelemalla kädellä tai käyttämällä savuputkia.

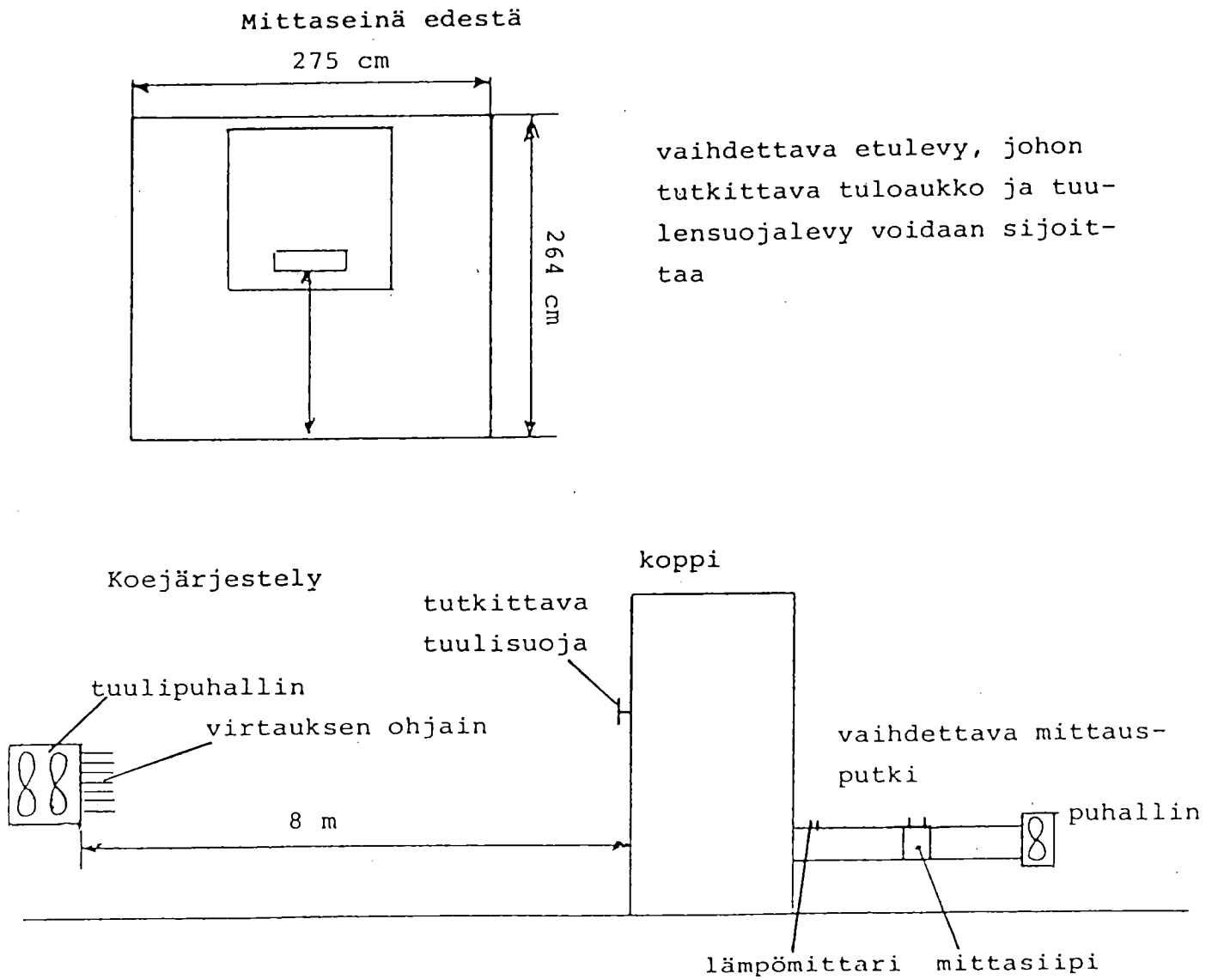
4. Tuulen vaikutus tuloaukkojen toimintaan

4.1 Koejärjestely ja mittalaitteet

Tuulen vaikutusta tuloaukon toimintaan ja sen ehkäisemistä tutkittiin seuraavanlaisen koejärjestelyn avulla. Mittauksia varten rakennettiin kovalevystä 2.75 m korkea ja 2.64 metriä leveä seinä, johon tutkittavat tuloaukot ja tuulisuojat kiinnitettiin. Seinän takapuolella oli koppi, joka edusti eläinsuojaa. Koppiin oli yhdistetty kierresaumaputki, johon oli liitetty mittalaippa ja keskipakopuhallin. Puhaltimen pyörimisnopeutta voitiin säätää portaattomasti ja sen avulla pidettiin alipaine kopissa haluttun suuruisena.

Kokeessa tarvittava tuuli aikaansatiin 1 m läpimittaisella potkuripuhaltimella, jossa oli virtauksenohjain pyörteilyn vähentämiseksi. Tuulen nopeutta muutettiin puhaltimen pyörimisnopeutta muuttamalla.

Ilmamäärät mitattiin mittaputkeen sijoitetun mittasiiven avulla. Siiven aiheuttama paine-ero mitattiin mikromanometrillä. Saadut tilavuusvirran arvot vakioitiin ilman tiheyden avulla. Ilman tiheyden määrittämistä varten mitattiin ilman lämpötila, suhteellinen kosteus ja ilman paine. Kopissa vallitsevaa alipainetta seurattiin sähköisellä mikromanometrillä.



Kuva 22. Tuulikokeen mittausjärjestely

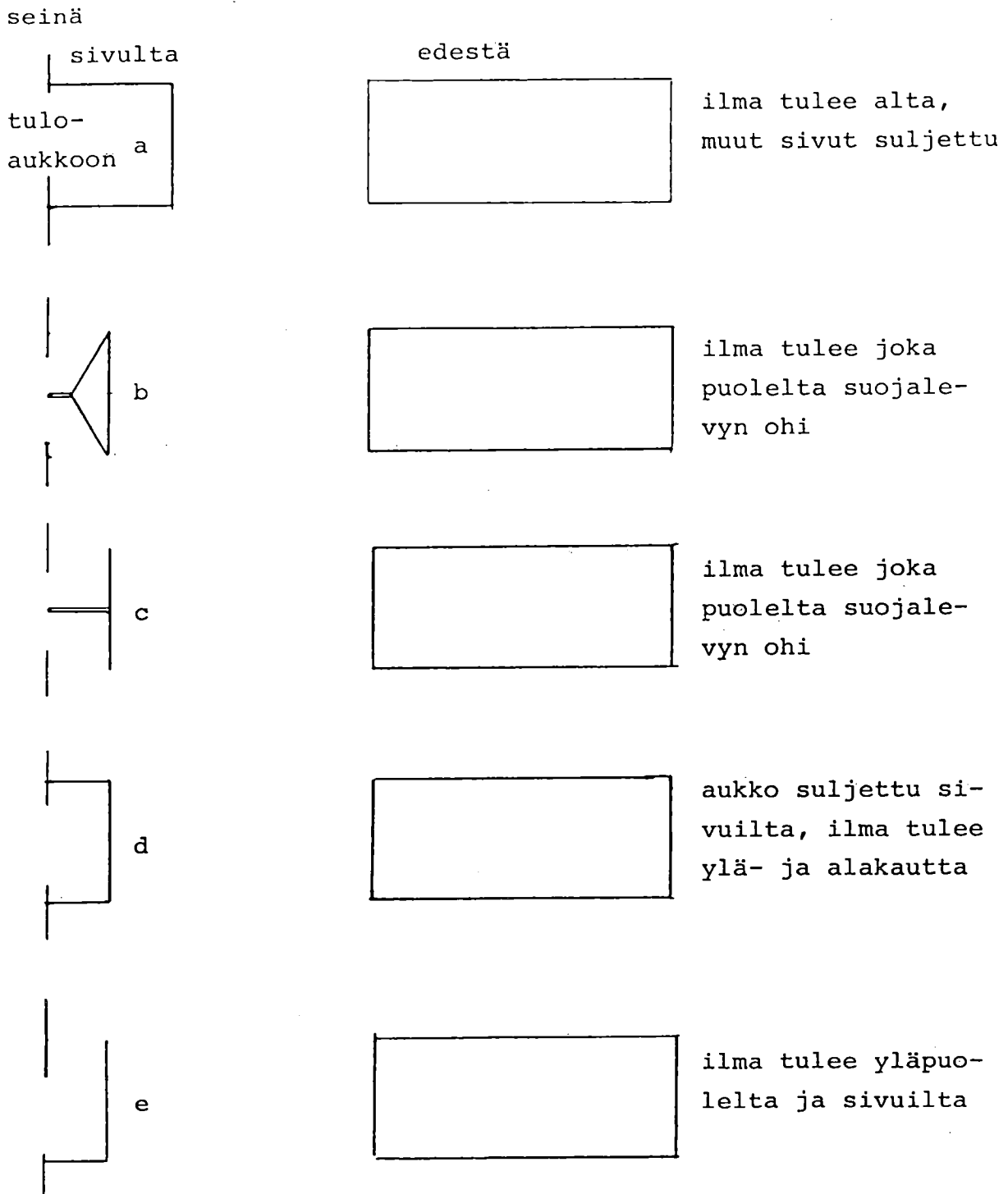
4.2 Kokeiltavat laitteet

Kokeessa mitattiin kahta alipainejärjestelmään tarkoitettua tuloaukkoa, Funki FP 700 ja Mikko. Molemmat aukot ovat toimintaperiaatteeltaan samanlaisia, joskin toteutukseltaan hieman erilaisia.

Mittauksia tehtiin kolmella eri aukkojen asennolla: kiinni, minimi-ilmanvaihto ja 1/3 auki. Minimi-ilmanvaihdon asento määritettiin laskennallisesti. Laskelmien pohjana oli sikalan minimi-ilmanvaihto ja 15 Pa alipaine. Oikea asento löydettiin kokeilemalla. 1/3 asento tarkoittaa tilannetta, jossa aukon avaus on 1/3 maksimi avauksesta. Ilmavirta aukon läpi on tällöin noin puolet maksimi-ilmanvirrasta. Koska aukkojen pinta-alat ovat lähes saman suuruiset, ovat ilmavirratkin kaikissa asennoissa lähes saman suuruiset.

Ilmamäärät mitattiin neljällä eläinsuojan alipaineella: 0, 10, 30 ja 50 Pa. Mittauksissa käytetyt tuulenopeudet olivat 0, 3, 5, (7) ja 9 m/s. Tuulen suuntia oli kaksi, kohtisuoraan ja 45° kulmassa tuloaukkoon nähden.

Tärkeimpänä pidetyssä minimi-ilmanvaihtoasennossa kokeiltiin Funki FP 700 aukolla 5 erilaista tuulensuojaa ja Mikko aukolla 4 erilaista tuulensuojaa. Tuulensuojat on esitetty kuvissa 23 a, b, c, d ja e.



Kuva 23. Kokeillut tuulensuojat

4.3 Mittaustulokset

Alla olevassa taulukossa on esitetty tuloaukon läpi virtaavan ilman tilavuusvirran kasvu, kun tuulen nopeus kasvaa 0 9 m/s. Tilavuusvirran kasvu on ilmoitettu prosentteina.

Funkki FP 700				Mikko		
tuulen suunta	90°	45°	aukon asento	tuulen suunta	90°	45°
	88		kiinni		112	
	64	43	minimi		80	55
	55		1/3 auki		97	

Tuulensuojien arvostelu:

Funkki FP 700 tuloaukolla parhaiten toimivia tuulensuojia olivat suojat c ja e, joiden välillä ei kohtisuoralla tuulella ole merkittäviä eroja. Suojien teho paranee ilmanvaihdon kasvaessa niin, että 1/3 asennossa suoja vähentää ilmanvaihtoa. Tuulen suunnan ollessa 45° tuloaukkoon nähden oli suoja e selvästi paras.

Mikko tuloaukolla tuulensuojat eivät näytä toimivan yhtä hyvin kuin Funkilla. Esimerkiksi suoja c ei Mikko tuloaukon yhteydessä poikkea edukseen kuten Funkin yhteydessä. Mikon kanssa tuulensuoja e näyttää toimivan parhaiten.

4.4 Johtopäätökset

- Tuuli lisää tuulen puolella olevien tuloaukkojen ilmanvirtaa huomattavasti
- Tuulen vaikutus eri tuloaukoilla on riippuvainen ko. aukon rakenteesta
- Tuulen, samoin kuin tuulensuojalevyjen vaikutusta ei voi ennustaa ilman mittauksia, koska erilaiset aukko/suoja yhdistelmät käyttäytyvät eri tavoin
- Rakennuksen seinään vaikuttavan tuulenpaineen jakautuma vaikuttaa sekä tuloaukon, että tuulensuojan toimintaan. Mittaseinässä suurin paine oli aukon alapuolella.
- Tuloaukon koetukseen tulisi kuulua tuulen vaikutuksen mittaus

5. Mittaustulosten arviointi ja mittauksista saadut kokemukset

Mittausjärjestelyn peruslähtökohtana oli erilaisilla tuloaukoilla aikaansaatavan lämpötilajakautuman ja ilman jaon vedottomuuden mittaaminen. Seuraavassa on koottu muutamia seikkoja, jotka vaikuttavat mittauksiin.

5.1 Mittausjärjestely ja rakennus, jossa mittaukset tehtiin

Rakennus ei ollut suoritettujen mittausten kannalta paras mahdollinen. Kattoa sisäpuolelta tukevien kannatinpalkkien takia rakennuksen keskiosassa jouduttiin sisäkatto laskemaan palkkien alareunan tasalle, vaikka sisäkorkeus muutenkin oli jo melko alhainen. Ilmanvaihdon toimintaan liittyvien mittausten kannalta olisi edullista, jos rakennus täyttäisi ainakin seuraavat vaatimukset:

- tasainen sisäkatto tai harjakatto, jonka kaltevuus on muutettavissa
- vapaa sisäkorkeus on ainakin 2.8 m
- katto ja seinät on valmistettu siten, että erilaisten tulo- ja poistoilmalaitteiden asentaminen on helppoa
- rakennus on mahdollisimman ilmatiivis

Lämpötilan mittaamiseen käytetty menetelmä on hyvä. Olisi kuitenkin ollut parempi, jos mittauspisteitä olisi ollut enemmän ja jos niitä olisi ollut koko huoneen alalla.

Virtausnopeuden mittaaminen oli hyvin hankalaa. Mittauksissa käytetyn termoanemometrin mittausalueen alaraja oli 0.3 m/s, joten sillä ei voitu mitata pieniä virtausnopeuksia. Toisaalta alle 0.3 m/s virtausnopeudet ovat hyvin epämääräisiä ja saattavat syntyä mittajaan liikkeiden aiheuttamana. Mittausten kannalta olisi edullista käyttää mittaanturia, jota ei tarvitse kääntää virtauksen suuntaan. Mittausalueen tulisi alkaa 0.1 m/s.

Eläinten lämmön- ja kosteudenkehityksen korvaamiseen käytetty menetelmä ei ollut hyvä. Lämmityspatterien pintalämpötila nousi liian korkeaksi ja aiheutti liian nopeita pysytysuuntaisia virtauksia. Kosteudenkehitys huopien pinnalta oli liian hidasta ja sen vuoksi jouduttiin lattiaa kastelemaan.

Savun käyttö ilman virtausten havainnollistamiseski onnistui hyvin. Savuna käytettiin Ventilax nimistä ainetta, jonka käyttöä kokeiltiin myös eläinsuojassa varsin hyvällä menestyksellä.

5.2 Mittaustulosten arviointi

Mittausten perusteella voi todeta, että seinälle tai kattoon asetettavat tavalliset tuloaukot eivät talvikäytössä toimi kovin hyvin, jos rakennuksen alipaine on pieni. Toimintaa voidaan parantaa käyttämällä hyväksi ilmavirran imeytymistä kattoon. Automaattisten tuloaukkojen ongelmana on säätöläppien toimintaherkkyys. Jos säätöläppä on saranoitu yläosaan, suuntautuu ilmavirta helposti alaspäin. Kiertoilmapuhaltimeille varustettu tuloilmalaite toimi suoritetuissa mittauksissa parhaiten. Lämpötilaerot huoneessa jäivät pieniksi eikä häiritsevän suuria virtausnopeuksia ilmennyt.

LÄHDELUETTELO

1. Tuunanen, L., Karhunen, J., Eläinsuojien ilmanvaihdon mitoitus, Vakolan tutkimusselostus no 39, Vihti. 1984. 112 s.
2. Gabrielsson, J., Ilman jako huonetilaan. Ilmastointitekniikka, Julkaisu 17-65, Insinöörien koulutuskeskus. Helsinki. 1965.
3. Nilsson, C., Ventilation i stallar. Aktuellt från lantbruksuniversitet 335, Teknik. Uppsala. 1984. 54 s.
4. Trional-ilmanvaihtolaite, Koetusselostus 1047, Valtion maatalouskoneiden tutkimuslaitos, 1981. Vihti. 10 s.

