



Ismo Heimonen, Jorma Heikkinen, Keijo Kovanen, Jarmo Laamanen, Tuomo Ojanen, Jouko Piippo, Tapani Kivinen, Pekka Jauhiainen, Jarmo Lehtinen, Sakari Alasuutari, Kyösti Louhelainen & Jukka Mäittälä

Maatalouden kotieläinrakennusten toimiva ilmanvaihto

Maatalouden kotieläinrakennusten toimiva ilmanvaihto

Ismo Heimonen, Jorma Heikkinen, Keijo Kovanen,
Jarmo Laamanen, Tuomo Ojanen & Jouko Piippo

VTT

Tapani Kivinen & Pekka Jauhiainen

MTT

Jarmo Lehtinen & Sakari Alasuutari

TTS

Kyösti Louhelainen & Jukka Mäittälä

TTL



ISBN 978-951-38-7555-8 (URL: <http://www.vtt.fi/publications/index.jsp>)
ISSN 1455-0865 (URL: <http://www.vtt.fi/publications/index.jsp>)

Copyright © VTT 2009

JULKAISIJA – UTGIVARE – PUBLISHER

VTT, Vuorimiehentie 5, PL 1000, 02044 VTT
puh. vaihde 020 722 111, faksi 020 722 4374

VTT, Bergsmansvägen 5, PB 1000, 02044 VTT
tel. växel 020 722 111, fax 020 722 4374

VTT Technical Research Centre of Finland, Vuorimiehentie 5, P.O. Box 1000, FI-02044 VTT, Finland
phone internat. +358 20 722 111, fax + 358 20 722 4374

Toimitus Mirjami Pullinen

Ismo Heimonen, Jorma Heikkinen, Keijo Kovanen, Jarmo Laamanen, Tuomo Ojanen, Jouko Piippo, Tapani Kivinen, Pekka Jauhiainen, Jarmo Lehtinen, Sakari Alasuutari, Kyösti Louhelainen & Jukka Mäittälä. Maatalouden kotieläinrakennusten toimiva ilmanvaihto [High performance ventilation in animal houses]. Espoo 2009. VTT Tiedotteita – Research Notes 2521. 133 s. + liitt. 7 s.

Avainsanat ventilation, performance, animal houses, cold climate

Tiivistelmä

Suomen maatalouden tilakoot ovat suurentuneet ja suurten tuotantoyksiköiden osuus kokonaistuotannosta on kasvanut viimeisen 20–30 vuoden aikana. Uudet tuotantorakennukset ovat huomattavasti suurempia kuin ennen. Tilakokojen ja eläinmäärien kasvamisen myötä sisäilmastoon ja rakenteisiin kohdistuvat kuormitukset (lämpö, kosteus, kaasumaiset epäpuhtaudet) ovat lisääntyneet, joten tuotantorakennuksen ilmanvaihdolta vaaditaan paljon, jotta eläinten hyvinvoinnin ja tuotoksen kannalta optimaaliset olosuhteet voidaan taata.

Tutkimuksessa kuvattiin periaatteet kylmän ilmanalan kotieläinrakennusten ilmanvaihdon suunnittelua varten. Sekä koneellinen että painovoimainen ilmanvaihto vaativat suunnittelua. Lämmitettävät rakennukset ja tasaista lämpöä vaativa tuotanto edellyttävät yleensä koneellista ilmanvaihtojärjestelmää. Esitetyt periaateratkaisut perustuvat maatarakennuksissa tehtyihin ilmanvaihtojärjestelmien laskennallisiin tarkasteluihin sekä suorituskyvyn mittauksiin käytännön kohteissa. Tutkimuksessa vertailtiin erilaisten järjestelmien tehokkuutta ja käyttökelpoisuutta. Tutkimuksen kohteena olivat tuotantotilat, joissa kasvatettiin lypsykarjaa, sikoja, kanoja tai hevosia.

Tutkituissa kotieläinrakennuksissa ilmanvaihtojärjestelmien taso vaihteli hyvin paljon. Kaikissa tutkimuskohteina olleissa rakennuksissa oli tarpeen tehdä korjaustoimenpiteitä ilmanvaihto- tai lämmitysjärjestelmiin. Muutostarpeet kohteissa olivat kuitenkin yleensä vähäisiä ja liittyivät esimerkiksi mittausantureiden sijoituspaikkoihin tai ohjauslaitteiden säätöihin ja asetuksiin. Ilmanvaihto kotieläinrakennuksissa toimii silti yleisesti ottaen heikosti, joten maataloilla pitäisi kiinnittää ilmanvaihdon korjaustoimenpiteisiin nykyistä enemmän huomiota. Toimiva ilmanvaihto edistää työntekijöiden terveyttä, parantaa viihtyvyyttä ja lisää työn tuottavuutta.

Painovoimaista ja koneellista ilmanvaihtoa voidaan parantaa kehittämällä suunnittelua, markkinoille tulevaa uutta teknologiaa, rakentamisen ohjeita ja määräyksiä sekä erityisesti koulutusta. Sisäilman laadun parantaminen alkaa hyvästä ilmanvaihdon suunnittelusta ja toteutuksen laadunvalvonnasta. Laadun varmistuksen tukena voidaan käyttää VTT:n laatiman ToVa-käsikirjan periaatteita (ToVa – Toimivuuden varmistaminen). Kirjasta tehtiin tässä projektissa oma versio, ns. Maatila-ToVa-käsikirja. ToVa-toimintaperiaatteiden mukaan aluksi määritetään sisäilmatavoitteet, jotka teknisen järjestelmän on toteutettava. Lopputulos varmennetaan käyttöönottotarkastuksessa sekä mahdollisesti myös käytön aikana tehtävin sisäilmastomittauksin.

Ismo Heimonen, Jorma Heikkinen, Keijo Kovanen, Jarmo Laamanen, Tuomo Ojanen, Jouko Piippo, Tapani Kivinen, Pekka Jauhiainen, Jarmo Lehtinen, Sakari Alasuutari, Kyösti Louhelainen & Jukka Mäittälä. Maatalouden kotieläinrakennusten toimiva ilmanvaihto [High performance ventilation in animal houses]. Espoo 2009. VTT Tiedotteita – Research Notes 2521. 133 p. + app. 7. p.

Keywords ventilation, performance, animal houses, cold climate

Abstract

The increase of sizes of farms and increased proportion of production in big size farms during the last 20–30 years are reality in Finland. The new farm buildings are remarkable bigger than before. The increase of farm sizes and amount of animals are increasing the loads for indoor climate and structures, which are setting higher requirements for the ventilation systems to fulfill the environmental conditions which are optimal for animals and guarantee the welfare and productivity.

This study is describing the principles of ventilation for animal farm buildings in cold climate. Both mechanical and buoyancy driven natural ventilation systems should be designed. The production in heated buildings typically requires mechanically ventilated systems. These results are based on the theoretical calculations and measurements of performance in real farm buildings. The performance and efficiency of the ventilation systems was studied in different type of farm buildings (dairy, pig, horse, broiler houses).

The level of ventilation systems in animal buildings is varying a lot. In every studied building, there was a need for improving the ventilation or heating systems. The needs for repairments were typical minor, e.g. changing the position of controlling sensor or settings in the control system. The performance of the ventilation is typically unsatisfactory, and it is recommended to pay more attention to repairments in ventilation systems.

The quality of ventilation is improved by developing national building codes, developing the technology and bringing the best available technological solutions at the markets. The utilisation of the best available systems is improved by information and dissemination. The key point in the process is high quality of design practise and quality control of the work and processes. The quality control is improved by using Commissioning process described in VTT Cx/Commissioning handbook, which has own version for farm buildings. The commissioning process describes the phase of setting the target values for indoor climate, which is realised with the technical ventilation system. The final results are confirmed with the commissioning measurements just before starting the operation of the ventilation system, and later during the use of the system, if necessary.

Alkusanat

Tutkimuksen edistymistä ja tulosten hyödyntämistä ohjasi ja valvoi ohjausryhmä, johon kuuluivat

Pj. Sirpa Tauru (2006–2007)	maa- ja metsätalousministeriö
Pj. Raija Seppänen (2008–2009)	maa- ja metsätalousministeriö
Elia Jukola	LSO Foods Oy / teurastamoiden edustaja
Eeva Brofeldt	Valio Oy / meijerit
Esa Halminen	Porin Ammattiopisto/AMKK/ opetustoimi & LVI-suunnittelun osaaminen
Erkki Eskola	Mela
Kaarina Knuuti	MTK
Markku Leivo (28.5.07 saakka)	VTT, vastuullinen johtaja
Markku Virtanen (28.5.07 alkaen)	VTT, vastuullinen johtaja

Tutkimusprojektia ovat rahoittaneet maa- ja metsätalousministeriö (MAKERA-rahoitus), Maatalousyrittäjien eläkelaitos (MELA), Elintarviketeollisuusliitto ry. (Lihateollisuusyhdistys), Maatalouskoneiden tutkimussäätiö, Valio Oy, Oy DeLaval Ab, Pellonpaja Oy ja Leacom Oy. Lisäksi tutkimukseen osallistuneet karjankasvattajat tukivat hanketta antamalla kohteen tutkimuksen käyttöön ja avustamalla mittausten järjestämisessä.

Tutkimuksen toteuttivat VTT, MTT, TTS ja TTL, ja toteutukseen osallistuivat

VTT: Ismo Heimonen (projektipäällikkö), Jorma Heikkinen, Keijo Kovanen, Jarmo Laamanen, Tuomo Ojanen ja Jouko Piippo

MTT: Tapani Kivinen ja Pekka Jauhiainen

TTS: Jarmo Lehtinen ja Sakari Alasuutari

TTL: Kyösti Louhelainen ja Jukka Mäittäälä.

Tutkimusryhmä kiittää ohjausryhmää, rahoittajia sekä tutkimukseen osallistuneita maatiloja hankkeen ohjauksesta, rahoituksesta ja koekohteiden järjestämisestä.

Sisällysluettelo

Tiivistelmä	3
Abstract	4
Alkusanat.....	5
1. Johdanto	8
2. Maatalouden kotieläinrakennusten ilmanvaihdon nykytila ja tutkimuksen kenttä	11
2.1 Workshop nykytilanteen kartoittamiseksi	12
2.2 Workshopin johtopäätökset – maatalouden kotieläinrakennusten ilmanvaihdon keskeiset kehitystarpeet	19
3. Ilmanvaihdon suunnitteluperusteet ja suunnittelun prosessi	21
3.1 Kotieläinrakennusten ilmanvaihdon suunnittelua ohjaavat lait, määräykset ja ohjeet.....	21
3.2 Suunnittelun yleinen prosessi	21
3.2.1 Eläintilojen kokovaatimukset ja muut yleiset vaatimukset	22
3.2.2 Sisäilmaston tavoitetasot	23
3.2.2.1 Eläinten pidon asettamat vaatimukset	24
3.2.2.2 Työntekijöiden työympäristölle asetetut vaatimukset	26
3.2.2.3 Maidon säilytyksen aiheuttamat vaatimukset.....	31
3.2.2.4 Rakenteiden edellyttämät sisäilmaston kosteusolojen rajat	32
3.2.2.5 Sisäilmaston tavoitetasojen muutostarpeet.....	35
3.2.2.6 Mahdollisuudet vaikuttaa sisäilmastoon kohdistuviin epäpuhtauskuormituksiin.....	36
3.2.3 Eläinten lämmön ja kosteuden tuotto eri olosuhteissa	38
3.2.4 Ilmavirran mitoitus.....	41
3.2.4.1 Maksimi-ilmavirran mitoituksen perusteet	42
3.2.4.2 Minimi-ilmavirran mitoituksen perusteet.....	44
3.2.5 Jäteilman ulospuhallus, hajut ja ympäristövaikutukset.....	49
4. Ilmanvaihtojärjestelmän valinta ja mitoitus	50
4.1 Järjestelmätyypit.....	50
4.2 Järjestelmien ominaisuuksia ja valintaperusteita	51
4.3 Ilmanjaon perusratkaisut	55
4.4 Säädön toteutusmalleja	59
4.5 Puhaltimien mitoitus ja valinta	63
4.6 Painovoimaisen järjestelmän mitoitus.....	66

5.	Ilmanvaihtojärjestelmien toimivuus käytännössä – esimerkkijärjestelmiä.....	68
5.1	Kohde A, koneellinen poistoilmanvaihto lypsykarjarakennuksessa	70
5.2	Kohde B, koneellinen tulo-poistoilmanvaihto lämmöntalteenotolla lypsykarjarakennuksessa	72
5.3	Kohde C, koneellinen tulo-poistoilmanvaihto lypsykarjarakennuksessa	75
5.4	Kohde D, koneellinen poistoilmanvaihto ja korvausilmaluukut lypsykarjarakennuksessa.....	80
5.5	Kohde E, verhoseinä lypsykarjarakennuksessa	81
5.6	Kohde F, koneellinen tulo-poistoilmanvaihto sonniasemalla	83
5.7	Kohde G, koneellinen poistoilmanvaihto porsitussikalassa	86
5.8	Kohde H, koneellinen tulo-poistoilmanvaihto lämmöntalteenotolla poistoilmasta ja kattotilasta lihasikalassa	89
5.9	Kohde I, koneellinen poisto- ja alajakoinen tuloilmanvaihto porsitussikalassa	93
5.10	Kohde J, koneellinen poisto- ja alajakoinen tuloilmanvaihto porsitussikalassa.....	100
5.11	Kohde K, koneellinen poistoilmanvaihto broilerihallissa	107
5.12	Kohde L, koneellinen tulo-poistoilmanvaihto lämmöntalteenotolla hevostallissa	111
6.	Kustannus-tuottovaikutukset ja -analyysit.....	116
6.1	Ilmanvaihdon vaikutus eläinten tuottavuuteen ja terveyteen	116
6.2	Ilmanvaihdon toteutuksen kustannukset.....	119
7.	Toimivuuden varmistaminen (ToVa).....	120
7.1	ToVa-toiminnan systematiikka ja prosessi.....	121
7.1.1	Lähtökohdat	121
7.1.2	ToVa-prosessi.....	122
7.2	ToVa-toiminnan organisointi	123
7.2.1	ToVa-tiimin kokoaminen	123
7.2.2	ToVa-tiimin tehtävät ja toiminta.....	124
8.	Yhteenvedo ja toimenpide-ehdotukset	127
	Lähdeluettelo.....	129

Liitteet

Liite A: Esimerkki tarjouspyynnön teknisestä liitteestä

Liite B: Esimerkki ilmanvaihdon vastaanottotarkastuksen lomakkeesta

1. Johdanto

Viime vuosien aikana Suomen maatalouden tilakoot ovat suurentuneet ja suurten tuotantoyksiköiden osuus kokonaistuotannosta on kasvanut. Uudet kotieläinrakennukset ovat huomattavasti suurempia kuin ennen. Tilakokojen ja eläinmäärien kasvamisen myötä sisäilmastoon ja rakenteisiin kohdistuvat kuormitukset (lämpö, kosteus, kaasumaiset epäpuhtaudet) ovat lisääntyneet, joten tuotantorakennuksen ilmanvaihdolta vaaditaan paljon, jotta eläinten hyvinvoinnin ja tuotoksen kannalta optimaaliset olosuhteet voidaan taata.

Energian hinta on jatkuvan korotuspaineen alla. Ilmanvaihto ja siitä aiheutuva lämmitystarve kuluttavat yleensä lämmitettävissä kotieläinrakennuksissa eniten energiaa (mm. Kari 2009). Energiaa säästävien ja talteenottavien ilmanvaihtojärjestelmien kehitystyö vaatii tuotanto-olosuhteisiin liittyvien raja-arvojen määrittämistä sekä tuotannossa syntyvien kuormitustekijöiden tiedostamista. Koska edellä mainitut arvot puuttuvat, kehitystyö on loppunut lähes kokonaan.

Maatilojen tuotantorakennusten ilmanlaatu on pysynyt samalla tasolla tai jopa heikentynyt vuodesta 1981 alkaen, vaikka periaatteessa suunnittelu on pysynyt vähintään samanlaisena sekä laitteiden saatavuus ja tekninen taso ovat parantuneet (Louhelainen 2005). Uusien tuotantoyksiköiden voimakas kasvu on asettanut ilmanvaihtojärjestelmille ja -suunnittelulle lisävaatimuksia, mutta kotieläinrakennusten suunnittelun perustietoja ja työkaluja ei tunneta tai hyödynnetä riittävästi.

Nykyaikaisen kotieläinrakennuksen sisäilmaston olosuhteiden ohjetasojen saavuttaminen edellyttää vaativaa lämmitys- ja ilmanvaihtolaitteistojen sekä rakenteiden suunnittelua. Tuotantotilojen sisäisten kuormitusten kasvaminen ja vaihtelevan tasoiset ratkaisut ilmanvaihdon suunnittelussa, toteutuksessa ja käytössä lisäävät sisäilmastoon ja rakenteiden toimintaan kohdistuvia riskejä. Ennen kaikkea olosuhteilla ja ilman laadulla on merkittävä vaikutus eläinten viihtyvyyteen ja terveyteen sekä eläinten hoitajien työolosuhteisiin. Epäedulliset tuotanto-olosuhteet aiheuttavat eläimille turhaa stressiä ja sairastelua, jotka puolestaan vaikuttavat eläinten tuotokseen (mm. määrä ja laatu, kuten lääkityksen vaikutus maitoon) ja sitä kautta aiheuttavat taloudellisia seurauksia.

Tällä hetkellä kotieläinrakennusten ilmanvaihdon suunnittelua ja toteuttamista ohjaavat asiakirjat perustuvat 80-luvulla tehtyihin selvityksiin (Kapuinen & Karhunen 1988, 1989), jolloin tuotantoyksiköiden koot ja eläinten tuottavuus olivat huomattavasti nykyisiä pienempiä. Ulkomailla on tehty joitakin tuoreempia selvityksiä kotieläinrakennusten sisäilmastosta ja mitoitusperusteista (Van Caenegem & Wechsler 2000, Pedersen & Sällvik 2002), mutta tutkimusten ilmasto-olot eivät vastaa Suomen olosuhteita. Nykytilojen suuremmat kuormitukset vaativat ilmanvaihdolta riittävää ilmanvaihtuvuutta ja tarkoituksenmukaisesti toteutettua ilmanjakoa ja poistoa. Kuitenkaan kotieläinrakennusten ilman-

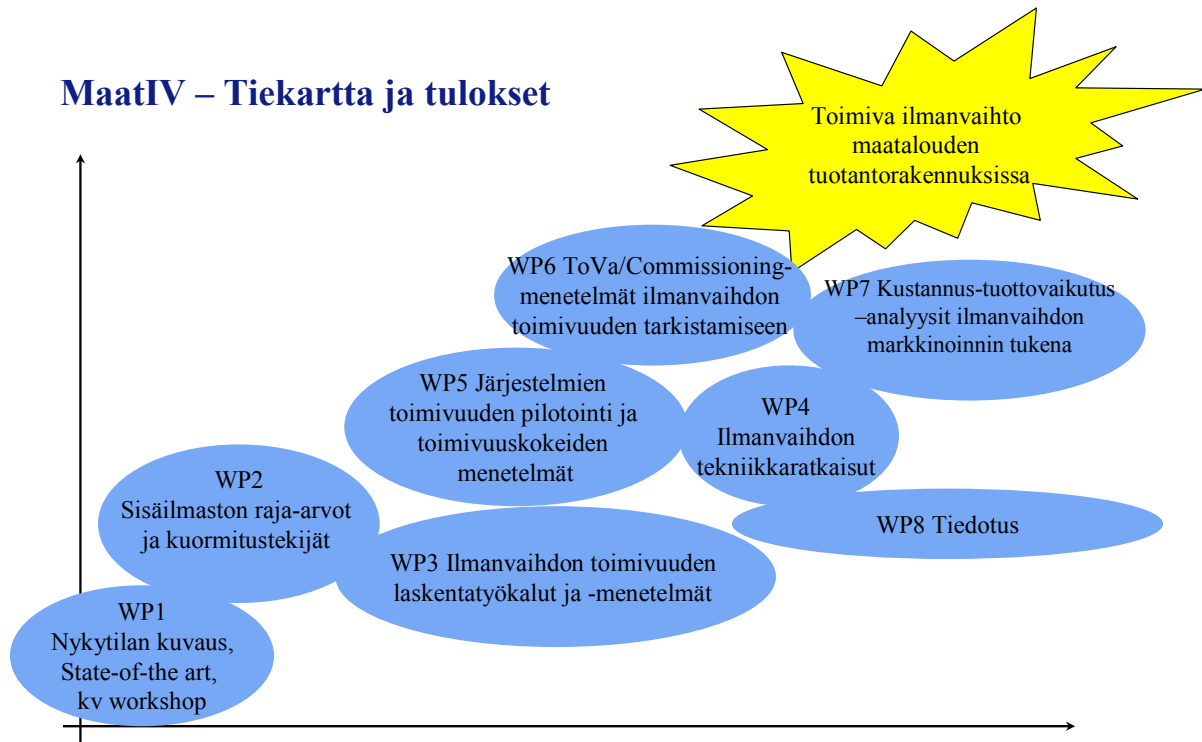
vaihdon suunnittelua, toteuttamista ja ilman laadun tavoitearvoja koskevissa asiakirjoissa ei ole tapahtunut muutoksia, joissa otettaisiin huomioon nämä asiat. Keskeinen suunnitteluohje on Vakolan tutkimuslause *Eläinsuojien ilmanvaihdon mitoitus* vuodelta 1984 (Tuunanen & Karhunen 1984).

Edellä esitettyä taustaa vasten käynnistettiin hanke ”Maatalouden tuotantorakennusten toimiva ilmanvaihto”. Hankkeen päämääränä on vaikuttaa eläinten hyvinvointiin ja tuottavuuteen parantamalla maatalouden kotieläinrakennusten ilmanvaihdon toimivuutta ja riskienhallintaa. Päämäärään pyritään kehittämällä menetelmiä, työkaluja ja teknisten järjestelmien periaateratkaisuja sekä edistämällä tiedon käytäntöön viemistä ja kansainvälistä yhteistyötä. Hankkeen tavoitteena on

- arvioida ja määrittää ilmanvaihtoon liittyviä kuormituksia ja päivittää eri tuotantosuunnille käytettävät sisäilmaston tavoitearvot
- luoda yhtenäinen käytäntö ja mitoitusarvot suunnittelijoiden, laitemyyjien ja tarkastavien viranomaisten käyttöön
- kehittää periaateratkaisuja terveellisten ja tuottavien olosuhteiden luomiseksi ja ylläpitämiseksi maatalouden tuotantorakennuksissa
- kehittää ilmanvaihdon ja ilmanjaon ratkaisumalleja / teknisiä ratkaisuja hyödyntäen soveltuvilta osin teollisuudessa käytettyjä ratkaisuja
- kehittää menetelmiä ja laskentatyökaluja ilmanvaihdon toimivuuden arviointiin ja todentamiseen sekä riskienhallintaan
- osoittaa kustannus-hyötyanalyysien avulla ilmanvaihdon toimivuuden ja toimimattomuuden kustannusvaikutukset
- edistää kansainvälisen parhaan tiedon käyttöönottoa ja soveltamista Suomen olosuhteisiin.

Hanke tuottaa tietoa maatalouden kotieläinrakennusten ilmanvaihdon suunnitteluun (raja-arvot määräyksissä, järjestelmäkehitys, suunnitteluperusteet, kustannus-hyötyanalyysien tieto) sekä jalostaa tietoa käytännön suunnittelun ja koulutuksen tarpeisiin.

Kuvassa 1 on esitetty hankkeen tavoite-visiokalvo sekä tulosodotukset.



Kuva 1. Hankkeen tavoite, osatehtävät ja tulosodotukset.

2. Maatalouden kotieläinrakennusten ilmanvaihdon nykytila ja tutkimuksen kenttä

Maatilojen kotieläinrakennusten ilmanlaatu on pysynyt samalla tasolla tai jopa heikentynyt vuodesta 1980 alkaen (taulukko 1), vaikka periaatteessa suunnittelun taso on pysynyt vähintään ennallaan ja laitteiden saatavuus sekä tekninen taso ovat parantuneet (Louhelainen 2005). Yhtenä syynä tähän on vallitseva suunnittelukäytäntö. Kyselytutkimus (Mäittälä & Louhelainen 2006) osoitti, että ilmanvaihdon suunnittelussa on kirjavuutta. Neljännes (25 %) vastaajista ilmoitti, että ilmanvaihtojärjestelmä oli itse suunniteltu. Rungas neljännes (27 %) oli käyttänyt ProAgria-maaseutukeskuksen asiantuntemusta suunnittelussa. Yli neljäsosa vastaajista (28 %) ei osannut nimetä rakennuksen ilmanvaihtojärjestelmän suunnittelijaa. Näistä järjestelmistä valtaosa lienee tehty ilman ammattisuunnittelijan apua. Viimeiselle neljännekselle ilmanvaihdon oli suunnitellut laitteistotoimittaja (12 %), yksityinen ammattisuunnittelija (7 %) tai meijerin tai teurastamon edustaja (3 %). Sikatiloilla ilmanvaihdon suunnitteli ulkopuolisista useimmiten laitteistotoimittaja tai teurastamon edustaja. Lypsykarjatilalliset luottivat puolestaan useimmiten ProAgrian asiantuntemukseen ilmanvaihdon suunnittelussa. Kyselyn tulokset osoittavat, että ilmanvaihdon suunnittelu on selvästi riittämätöntä. Ilmanvaihdon merkitystä parempaan tuotanto- ja työympäristöön pyrittäessä ei ole vielä kunnolla ymmärretty.

Taulukko 1. Navettojen sisäilmasta mitattujen kaasujen pitoisuuksia vuodesta 1981 vuoteen 2003 (Louhelainen 2005).

Tutkimusvuosi	Ammoniakki		Hiilidioksidi		Rikkivety	
	keskiarvo	vaihtelu	ppm keskiarvo	ppm vaihtelu	ppm keskiarvo	ppm vaihtelu
1981	8	0,2–35	1 500	500–3 500	0,4	0,0–2,9
1989	10	1,0–22	3 100	2 200–3 900		ei mitattu
1994	7*	0–19	2 600	1 400–6 100		alle määrä rajan
	12**	0–38	3 000	900–5 700		alle määrä rajan
2003	10*	0–17	2 300	1 200–3 700		ei haistettu
	11**	0–20	2 500	900–3 600		

* lypsyasema

** ruokintakäytävä

2. Maatalouden kotieläinrakennusten ilmanvaihdon nykytila ja tutkimuksen kenttä

Nykytilojen suuremmat kuormitukset vaativat riittävää ilmanvaihtuvuutta ja tarkoituksenmukaisesti toteutettua ilmanjakoa ja poistoa. Kuitenkaan kotieläinrakennusten ilmanvaihdon suunnittelua, toteuttamista ja ilman laadun tavoitearvoja koskevissa asiakirjoissa ei ole tapahtunut muutoksia, jotka ottaisivat nämä asiat huomioon. Keskeinen suunnitteluohje on Vakolan tutkimusselostus *Eläinsuojien ilmanvaihdon mitoitus* vuodelta 1984 (Tuunanen & Karhunen 1984).

2.1 Workshop nykytilanteen kartoittamiseksi

Maatalouden tuotantorakennusten ilmanvaihdon nykytilan ja kehitystarpeiden selvittämiseksi järjestettiin Espoossa 21.9.2006 kansainvälinen workshop 'Ventilation and IAQ in farm buildings'. Workshop oli osa projektia 'Maatalouden tuotantorakennusten toimiva ilmanvaihto' (2006–2008) (Heimonen 2006). Tapahtumaan osallistui noin 30 maatalouden asiantuntijaa Suomesta, Ruotsista ja Tanskasta. Osallistujat edustivat tutkimusta, laitekauppaa ja suunnittelua, liha- ja meijerialaa, maatalouden loppukäyttäjien edunvalvontaa sekä maatilarakentamisen rahoitusta.

Tilaisuuden painopisteeksi oli määritelty aihealueen tutkimukset ja tulokset lähihistoriassa, nykytilan kuvaus sekä teknologiakehityksen, tutkimuksen ja tutkimusyhteistyön tulevaisuuden tarpeet. Esityksiä pyydettiin seuraavista teemoista: 1. ilman laatu ja ilmanvaihtovaatimukset, 2. ilmanvaihdon suunnittelu ja rakentamisprosessi, 3. ilmanvaihdon toimivuuden mittaus- ja laskentatyökalut ja -menetelmät, 4. toimivuuden varmistaminen ja mittaaminen, 5. tuotteet ja järjestelmät, 6. ilmanvaihdon toteutustavat käytännön kohteissa (tapaustutkimukset) sekä 7. standardien, määräysten ja ohjeiden nykytila.

Asiantuntijaesitysten päätteeksi osallistujat hahmottelivat keskeiset kehitystarpeet, joihin tutkimuksen painopistettä on ohjattava. Tilaisuuden jatkotapahtumana pidettiin tutkijaworkshop 22.9.2006 VTT:ssä ja päivitettiin projektin työsuunnitelma vastaamaan paremmin esitettyjä alan tarpeita. Seuraavassa on tiivistetysti kuvattu workshopin esitysten keskeinen sisältö.

State-of-the art in production, visions for development of animal houses in Finland and role of ventilation, Tarmo Luoma & Jarmo Lehtinen, TTS. Esityksessä käsiteltiin maataloustuotannon keskeisiä muutoksia ja eri tilatyypin muutosnäkyymiä. Suomessa tilojen määrä on laskenut 100 000:sta 70 000:een vuosina 1995–2005. Suurin muutos on tapahtunut eläintilojen määrässä, joka on vähentynyt alle puoleen vuoden 1995 tasosta (58 000 => 28 000). Muutostrendit esitettiin myös eläintyyppikohtaisesti lukumäärinä. Lypsykarjatilojen määrän ennustetaan vähenevän Suomessa vuoden 1997 28 000 tilasta noin 8 000 tilaan vuoteen 2015 mennessä, ja vuonna 2015 keskimääräinen karjakoko tiloilla on 33 lehmää. Lisäksi esitettiin kansainvälinen selvitys karjakoon vaikutuksesta maidontuotannon kustannuksiin ja kannattavuuteen vuosina 1999–2008: kannattavaan tuotantoon päästään riittävän suurella tilakoolla. Tilakoon kasvu asettaa myös ilmanvaihdolle uudenlaisia vaatimuksia. Kylmiin rakennuksiin ja lämmitettyihin, eristettyihin rakennuksiin tarvitaan omia ilmanvaihtosovelluksia. Ilmanvaihtoa ja olosuhteita tulee kehittää eläinten, työntekijöiden, rakennusten ja ympäristön näkökulmista kokonaisuus huomioiden ja tuotannon kannattavuutta tavoitellen.

High performance ventilation in large farm buildings – research plan, Ismo Heimonen, VTT. Ismo Heimonen esitteli tutkimuksen 'Maatalouden tuotantorakennusten toimiva ilmanvaihto' taustan, tavoitteet, tehtävät ja tulosodotukset. Hankkeen päämääränä on vaikuttaa eläinten hyvinvointiin ja tuottavuuteen parantamalla maatalouden ilmanvaihdon toimivuutta ja riskienhallintaa. Päämäärään pyri-

2. Maatalouden kotieläinrakennusten ilmanvaihdon nykytila ja tutkimuksen kenttä

tään kehittämällä menetelmiä, työkaluja ja teknisten järjestelmien periaateratkaisuja sekä edistämällä tiedon käytäntöön viemistä ja kansainvälistä yhteistyötä. Hankkeen osatavoitteina on

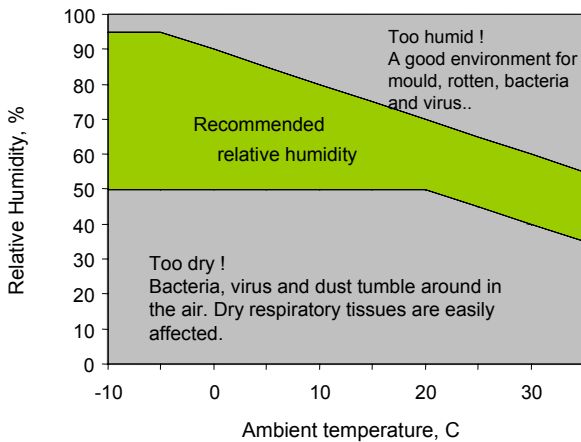
- arvioida ja määrittää ilmanvaihtoon liittyviä kuormituksia ja päivittää eri tuotantosuunnille käytettävät sisäilmaston tavoitearvot
- luoda yhtenäinen käytäntö ja mitoitusravot suunnittelijoiden, laitemyyjien ja tarkastavien viranomaisten käyttöön
- kehittää periaateratkaisuja terveellisten ja tuottavien olosuhteiden luomiseksi ja ylläpitämiseksi maatalouden tuotantorakennuksissa
- kehittää ilmanvaihdon ja ilmanjaon ratkaisumalleja / teknisiä ratkaisuja hyödyntäen soveltuvilta osin teollisuudessa käytettyjä ratkaisuja
- kehittää menetelmiä ja laskentatyökaluja ilmanvaihdon toimivuuden arviointiin ja todentamiseen sekä riskienhallintaan
- osoittaa kustannus-hyötyanalyysien avulla ilmanvaihdon toimivuuden ja toimimattomuuden kustannusvaikutukset
- edistää kansainvälisen parhaan tiedon käyttöönottoa ja soveltamista Suomen olosuhteisiin.

Hanke tuottaa tietoa maatalouden tuotantorakennusten ilmanvaihdon suunnitteluun (raja-arvot määräyksissä, järjestelmäkehitys, suunnitteluperusteet, kustannus-hyötyanalyysien tieto) sekä jalostaa tietoa käytännön suunnittelun ja koulutuksen tarpeisiin.

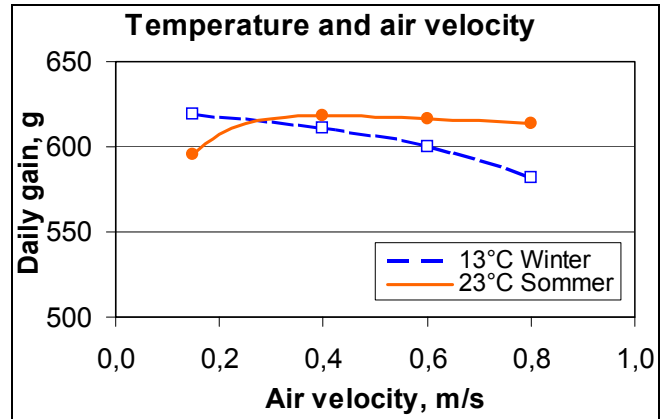
Development of ventilation system for animal houses in Sweden 1956 to 2006, Krister Sällvik, SLU.

Esitys käsitteli kotieläinrakennusten ilmanvaihtojärjestelmien kehityspolkua Ruotsissa. Viidenkymmenen vuoden aikana tuotantoympäristön olosuhteet ovat muuttuneet melkoisesti: muun muassa eläinten määrät rakennuksissa ovat moninkertaistuneet, tuotantomäärät ovat kasvaneet, terveystarkkailusta on tullut tärkeitä tekijöitä ja eläinten termistä viihtyisyyttä ymmärretään paremmin (kuva 2a). Myös lannan käsittelytavat ja eläinten ruokinta ovat muuttuneet paljon (heinästä tuorerehuun), energian hinta on noussut ja uusi teknologia on mahdollistanut uusien laitteiden ja järjestelmien käyttöönoton. Teknisten järjestelmien kehitystä eri sovelluksiin on ohjannut eri tuotantosuuntien (eläinryhmien) tarpeet. Saatavilla on teknisiä laitteita, esimerkiksi puhaltimia sekä tuloilma-, poistoilma- ja säätölaitteita. Tarvitaan kuitenkin enemmän koulutusta ja tehokkaampaa tiedonlevitystä aina tuottajasta tekniikan myyjään asti, jotta ymmärretään, millaisia ilmanvaihtoratkaisuja kannattaa ottaa käyttöön erilaisissa olosuhteissa.

2. Maatalouden kotieläinrakennusten ilmanvaihdon nykytila ja tutkimuksen kenttä



Kuva 2a. Esimerkki optimaalisten lämpö- ja kosteusolosuhteiden suositusalueesta. Nyrkkisääntönä voidaan käyttää maksimi-90-sääntöä. Lämpötilan ja suhteellisen kosteuden summan tulee olla alle 90.



Kuva 2b. Sikojen kasvun kannalta optimaalinen ilman nopeus.

Climatization of animal houses in Denmark, Søren Pedersen, DIAS. Esitys käsitteli eri eläinryhmien karjakokojen kehityspolkua Tanskassa. Lypsykarjakoko on viidessäkymmenessä vuodessa kymmenkertaistunut (nyt keskimäärin 80–90 kpl/tila), ja samassa ajassa maidontuotanto eläintä kohti on yli kolminkertaistunut. Sikalat ovat kasvaneet suuriksi yli 500 eläimen tiloiksi, ja broilerikasvattamoissa voi olla jopa 30 000–40 000 eläintä. Siipikarjan kasvatusaika on lyhentynyt alle kolmasosaan viidessäkymmenessä vuodessa. Ilmanvaihtojärjestelmät vaihtelevat eri tuotantosunnissa avoimista, luonnollisen ilmanvaihdon ratkaisuista aina koneellisiin, säädettyihin järjestelmiin, joilla voidaan hallita olosuhteita eläinryhmän tarpeiden mukaisesti (kuva 2b). Tutkimuksissa on saatu uutta tietoa eläinten lämmöntuotosta ja sen vuorokausivaihtelusta, mikä vaikuttaa ilmanvaihdon tarpeeseen.

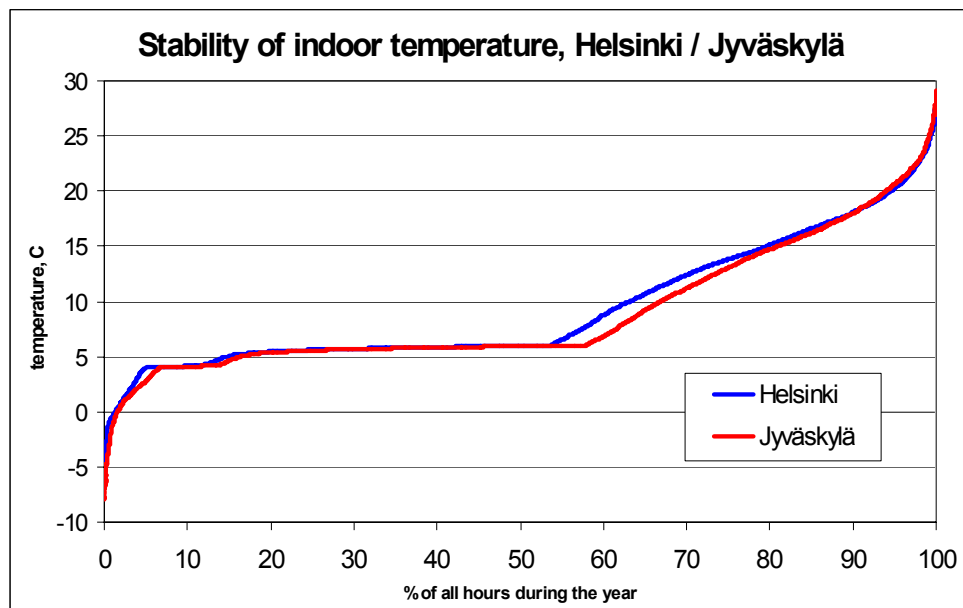
IAQ requirements – needs of animals, workers and buildings, Kyösti Louhelainen, TTL. Esitys kuvasi ilmanvaihdon ja sisäilmaston tavoitearvot eläinten, ihmisten ja rakenteiden näkökulmasta. Näiden ryhmien sisäilmastovaatimukset eroavat toisistaan melkoisesti, ja raja-arvoissa on päivityksen tarvetta. Maatilojen kaasumaisten emissioiden terveysvaikutuksia arvioitiin eläinten ja ihmisten näkökulmasta.

Functionality of curtain wall ventilation in insulated dairy barns in Finnish climate, Tapani Kivinen, MTT. Esitys käsitteli tutkimustuloksia ns. verhoseinäilmanvaihdon toimivuudesta eristetyssä lypsykarjarakennuksessa Suomen ilmastossa (kuva 3). Kokeellinen ja laskennallinen tutkimus osoitti, että sisälämpötilan tavoitetaso 4–6 °C saavutettiin yli 50 % ajasta (kuva 4) ja ilmanvaihdon minimin ylittävä ilmanvaihtuvuus voitiin ylläpitää verhoseinän säätöjä muuttamalla. Hiilidioksidin pitoisuus pysyi aina alle tavoitetason (3 000 ppm). Äärimmäisissä olosuhteissa esiintyi suuria suhteellisen kosteuden pitoisuuksia ja kondenssia lyhytaikaisesti rakenteiden pinnoilla. Painovoimaisen ns. verhoseinäilmanvaihdon havaittiin tutkimuksessa soveltuvan hyvin Suomen ilmastoon.

2. Maatalouden kotieläinrakennusten ilmanvaihdon nykytila ja tutkimuksen kenttä



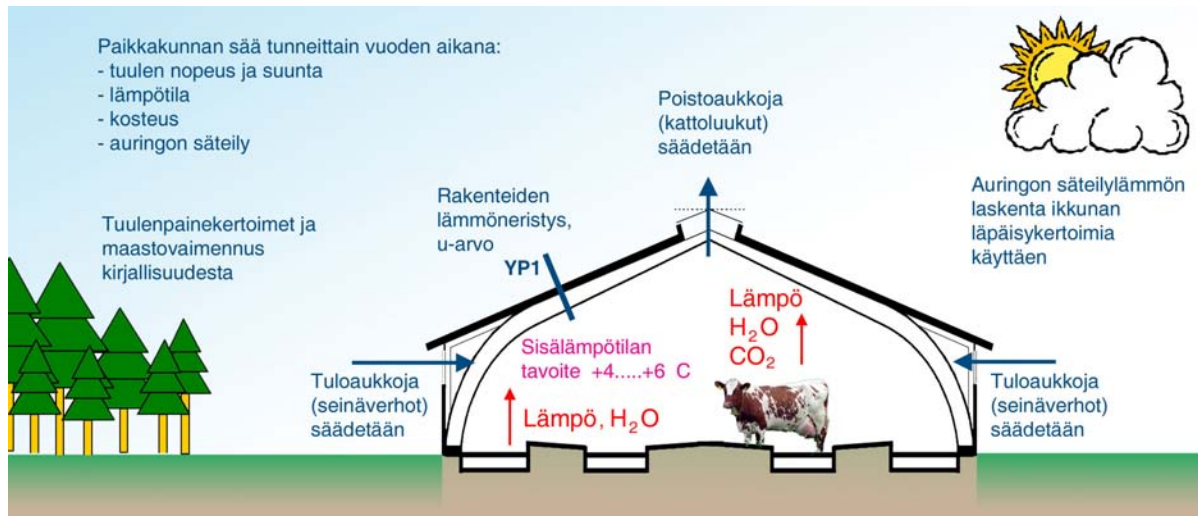
Kuva 3. Eräs verhoseinäilmanvaihdolla toteutettu lypsykarjarakennus.



Kuva 4. Sisälämpötilan pysyvyys verhoseinäilmanvaihdolla toteutetussa rakennuksessa.

Simulation of ventilation system of curtain wall farm building, Jorma Heikkinen, VTT. Esityksessä kerrottiin edellä esitetyn verhoseinäarakennuksen ilmanvaihdon ja sisäolosuhteiden laskentamallista. Malli koostuu painovoimaisen ilmanvaihdon laskennasta sekä lämpö-, kosteus- ja CO₂-taseiden malleista. Laskennassa nämä mallit on linkitetty ja taseet ratkaistaan iteratiivisesti jokaisella laskentatahdeillä. Kuvassa 5 on esitetty mallin yleiskuvaus. Mallin parametrit on viritetty kahden viikon mittaus-ten perusteella, minkä jälkeen on tehty koko vuoden tilanteiden laskenta. Näin voidaan laskea toimivuus myös useissa ilmasto-olosuhteissa sekä tarkastella eri parametrien (esimerkiksi lehmien määrä, rakennuksen tiiviyttä, verhoseinän ohjaustapa) vaikutusta toimivuuteen.

2. Maatalouden kotieläinrakennusten ilmanvaihdon nykytila ja tutkimuksen kenttä



Kuva 5. Ilmanvaihdon laskentamallin reunaehdot.

The expectations and presumes of planning by the public financier Jaakko Lemmetyinen, Pirkanmaan TE-keskus. Esitys käsitteli julkisen rahoittajan odotuksia rakennusten suunnittelulle. Samalla kun lypsykarjatilojen määrä on kymmenessä vuodessa vähentynyt noin puoleen alkuperäisestä, maidon tuotantomäärä on pysynyt entisellään. Elintarvikkeita kuitenkin tuotetaan yhä nopeammassa tahdissa. Tämä on luonut paineita kehittyville tiloille, koska niillä joudutaan investoimaan tehokkaamman tuotannon rakennuksiin ja laitteisiin. Julkinen rahoitustukikäytäntö on ollut välttämätön kehityksen turvaamiseksi. Taulukossa 2 on esitetty karjatarakentamiseen annetun julkisen tuen määrä vuosina 2002–2004. Julkinen rahoittaja edellyttää rakennuksen ja ilmanvaihdon investoinnilta muun muassa seuraavia asioita: investoinnin tulee olla sopiva suhteessa tuottoon, suunnittelu ja toteutus tulee toteuttaa ammattimaisesti ja investoinnin tulee taata tulevaisuuden tuotanto kohteessa. Nämä edellytykset on täytettävä siten, että eläinten ja viljelijöiden hyvinvoinnista ei tingitä.

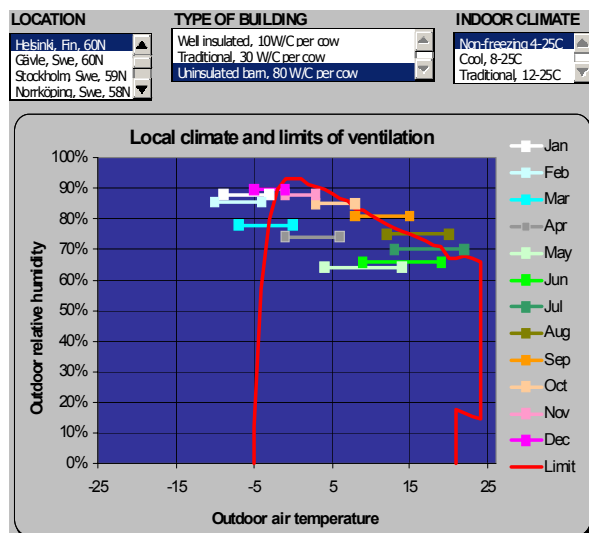
2. Maatalouden kotieläinrakennusten ilmanvaihdon nykytila ja tutkimuksen kenttä

Taulukko 2. Julkinen tuki karjatilojen rakentamiseen vuosina 2002–2004.

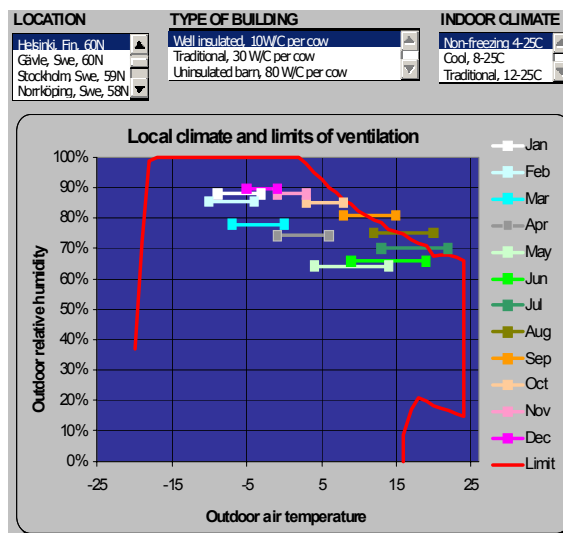
BUILDING INVESTMENTS WITH SOME RECENT NUMBERS						
(Yearbook of Farm Statistics 2005 in Finland)						
Subsidies granted from funds of the Development Fund of Agriculture and Forestry, 2002–2004						
(An extract of table)						
*) = Includes EU financing						
Measure	2002 number	1000 €	2003 number	1000 €	2004 number	1000 €
Cowhouse*) construction	308	8 749	313	10 185	176	4 050
Beef cattle*) buildings	237	6 511	186	4 779	111	3 306
Pig house*) Construction	169	6 171	144	6 982	67	4 625
Poultry house construction	6	104	6	125	6	247

Source: Tike: Rahtu register

Designing ventilation systems under Nordic climatic conditions, Anders Ehrlemark, Sveaverken ab.
 Esitys käsitteli eurooppalaisen ilmaston erilaisia olosuhteita ja kotieläintilojen sisäilmastovaatimuksia. Kylmässä ilmastossa eristämättömässä rakennuksessa ei voida saavuttaa optimaalisia sisäilmaston olosuhteita koko vuoden aikana vaan tarvitaan lämmitystä tai parempaa lämmöneristystä (kuva 6).



a) Eristämätön rakennus.



b) Eristetty rakennus.

Kuva 6. Ulkolämpötilan ja kosteuden vaihtelu Helsingin ilmastossa (pidemmän ajan keskiarvoja, ei hetkellisiä arvoja) sekä vastaavat ulko-olosuhteet, joilla halutut sisäolosuhteet (tässä tapauksessa lämpötila 4–25 °C) voidaan eristämättömässä ja eristetyssä rakennuksessa saavuttaa. Kun kuukausipylväät pysyvät punaisella rajatun alueen sisällä, halutut olosuhteet ovat saavutettavissa.

2. Maatalouden kotieläinrakennusten ilmanvaihdon nykytila ja tutkimuksen kenttä

Tyypillisiä kylmän ilmaston ongelmia kotieläinrakennuksissa ovat suuri kosteus, kylmän ilman ja pintojen aiheuttama vedon tunne, kondenssi kylmille pinnoille, lumen pääsy rakennukseen sekä laitteiden ja veden jäätyminen. Kondenssi ja jäätyminen asettavat ilmanvaihdon laitteille suuret kestävyysvaatimukset. Järjestelmän suunnittelussa lähtökohdaksi otetaan ne ongelmat, jotka ovat ratkaistavissa ilmanvaihdolla ja lämmityksellä, sekä käytettävissä olevat resurssit: jäätyminen ja kylmyys talvella, yllilämpeneminen kesällä, työskentelyolot, kosteusongelmat, energiakustannukset, melu, investointikustannukset jne. Suunnitteluratkaisu on aina näiden tekijöiden ohjaama kompromissi.

New ventilation solutions of DeLaval, Matti Oinonen, DeLaval Oy. Esitys kuvasi ilmanvaihdon toimivuuteen vaikuttavia tekijöitä (ilman lämpeneminen, sisäisten kuormien vaikutus, tuulen vaikutus) sekä laitevalmistajan ratkaisuja, joilla verhoseinäilmanvaihto toteutetaan. Ilman sisäänjohtamisessa käytettäviin verhoisiin löytyy ylhäälle, alas ja sivulle ohjattavia ratkaisuja sekä niiden yhdistelmiä. Laitetta voidaan ohjata manuaalisesti, käsikäyttöisesti moottorilla tai automaatiolla esimerkiksi termostaattiohjauksen avulla. Verhoseinien tuulituentaan käytetään erilaisia verkkoja, köysi- tai vaijeriratkaisuja tai putkia. Ilman ulosjohtamiseen voidaan käyttää poistokanava ja -piippuratkaisuja (kuva 7).

Requirements for technology in Finnish climate – SKOV A/S ventilation systems for Nordic climate, Michael Tækker, Skov A/S. Esityksessä tuotiin esille valmistajan ja suunnittelun näkemys siitä, millä argumenteilla järjestelmiä tulisi myydä ja markkinoida. Valmistajan tulee tarjota viljelijöille palvelua järjestelmien valintaan ja suunnitteluun. Ilmanvaihdon suunnittelussa pääkohdat ovat ilmanjaon, tuuloilmakanaviston ja ilmanpoiston suunnittelu, näiden välisen yhteistoimivuuden varmistaminen sekä automaation suunnittelu. Lisäksi suunnittelussa on otettava huomioon kokonaisuus. Eri osa-alueiden suunnittelun tärkeyttä korostettiin – kaikki osa-alueet ovat tärkeitä, eikä mikään yksittäinen huonosti toteutettu osa saa yksin rajoittaa tuotantoa. Jos eläin joutuu mukautumaan huonoihin sisäoloihin, tuotavuus alenee.

2. Maatalouden kotieläinrakennusten ilmanvaihdon nykytila ja tutkimuksen kenttä

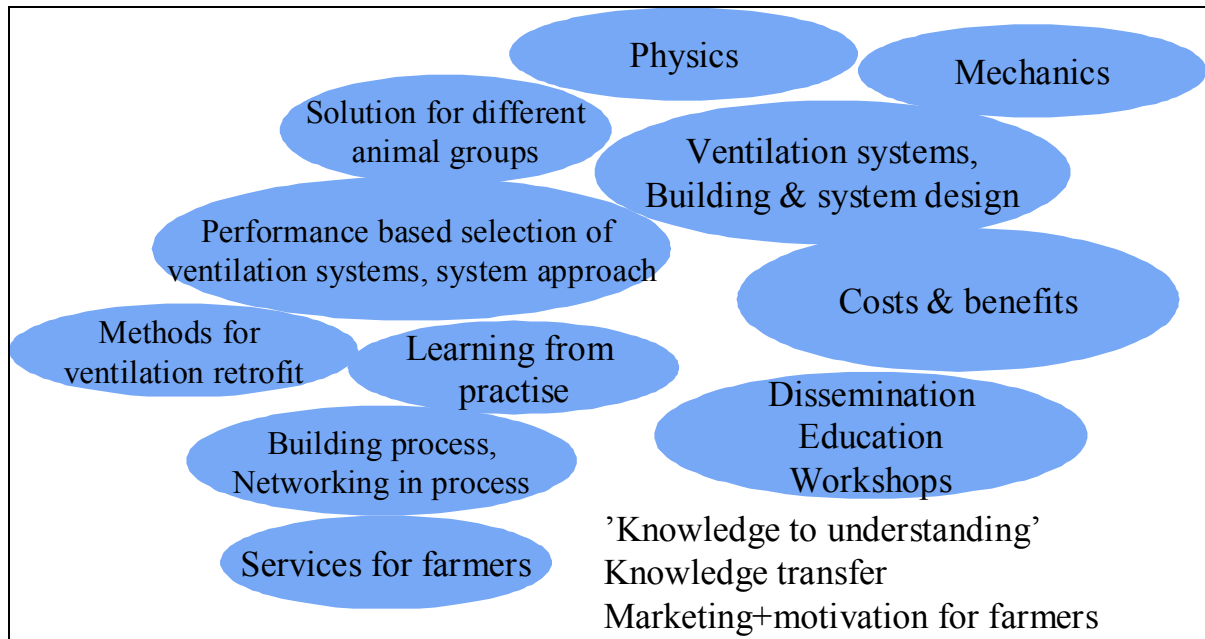


Kuva 7. Esimerkkejä ilmanpoiston ratkaisuista.

2.2 Workshopin johtopäätökset – maatalouden kotieläinrakennusten ilmanvaihdon keskeiset kehitystarpeet

Asiantuntijaesitysten pohjalta osallistujat hahmottelivat keskeiset kehitystarpeet, joihin ilmanvaihdon tutkimuksen painopistettä on ohjattava. Keskeiset kehitystarpeet on esitetty kuvassa 8.

2. Maatalouden kotieläinrakennusten ilmanvaihdon nykytila ja tutkimuksen kenttä



Kuva 8. Ilmanvaihdon toimivuuden keskeiset kehitystarpeet.

Keskeiseksi ilmanvaihdon kehitysperusteeksi määriteltiin järjestelmätekninen ajattelu. Järjestelmiä ja rakennuksia tulee kehittää ja suunnitella kokonaisuutena siten, että tavoitteena on kokonaistoimivuus (*total building performance based approach*), ei vain yksi ominaisuus. Järjestelmiä ja laitteita tulee kehittää eri eläinryhmien tarpeeseen, koska sisäilmaston tavoitetasot ovat erilaiset erityyppisissä rakennuksissa. Lisäksi laitteiden, järjestelmien ja rakennusten yhteistoimivuudesta tarvitaan kentälle teoreettista tietoa (sisäilma- ja sisäilmastotekijät, rakennusfysiikka, energiatekninen toimivuus, eläinten hyvinvointi ja fysiologia, olosuhteiden vaikutus tuottavuuteen), jotta järjestelmien suunnittelua voidaan parantaa. Laitteita ja laitteiden valintaperusteita tulee myös tutkia ja osoittaa kustannus-hyötyanalyysien kautta, mihin kannattaa investoida.

Ilmanvaihdon suunnittelua tulee kehittää myös korjausrakentamisen tarpeisiin. Toteutusprosessia suunnittelusta aina rakentamiseen ja käyttöönottovaiheeseen tulisi kehittää palveluksi, jonka viljelijä voi hankkia kokonaisuutena ammattilaiselta. Suunnittelu- ja rakennusprosessia tulisi kehittää verkostoituneeksi toiminnaksi, jossa eri tahojen osaaminen saadaan yhteiseen käyttöön. Käytännön toteutuksista, niin hyvistä kuin huonoistakin, tulee oppia ja johtaa tämä tietämys alan käyttöön. Suureksi haasteeksi alan tutkimukselle koettiin tiedon välittäminen kentälle.

3. Ilmanvaihdon suunnitteluperusteet ja suunnittelun prosessi

Luvussa 3.1 on esitetty kotieläinrakennusten ilmanvaihdon suunnittelua ohjaavat lait, määräykset ja ohjeet. Luvussa 3.2 on esitetty ilmanvaihtosuunnittelun eri osa-alueet.

3.1 Kotieläinrakennusten ilmanvaihdon suunnittelua ohjaavat lait, määräykset ja ohjeet

Rakennusten yleiset sisäilmaston ja ilmanvaihdon suunnittelua ohjaavat määräykset ja ohjeet on koottu maankäyttö- ja rakennuslain Suomen rakentamismääräyskokoelman osaan D2. Soveltamisalaa koskevassa kohdassa todetaan, että määräykset ja ohjeet koskevat uuden rakennuksen sisäilmastoa ja ilmanvaihtoa. Edelleen määrätään, että rakennus on suunniteltava ja rakennettava kokonaisuutena siten, että oleskeluvyöhykkeellä saavutetaan kaikissa tavanomaisissa sääoloissa ja käyttötilanteissa terveellinen, turvallinen ja viihtyisä sisäilmasto.

D2-määräykset ja -ohjeet on kirjoitettu ihmisen asumisen ja työnteon näkökulmasta, eivätkä ne sisällä mitoitusohjeita kotieläinten tuotantotiloihin. D2:n taulukoissa 1–11 annetut sisäilman laadun tavoitetasot soveltuvat maatalouden tuotantorakennuksiin vain työ- ja hygieniatilojen osalta. Kotieläin tuotannon rakentamista ja ilmanvaihtoa koskevat minimivaatimukset löytyvät eläinsuojelulaista ja -asetuksesta. Tämän lisäksi maa- ja metsätalousministeriö on antanut erillisiä maatilarakentamisen mitoitus suosituksia ja -ohjeita, joita sovelletaan rakennetukilain nojalla tuettaviin tuotantorakennuskohteisiin. MMM-RMO:n (Maa- ja metsätalousministeriön rakentamismääräykset ja -ohjeet) C2.2-osassa on annettu yksityiskohtaiset kotieläinrakennusten huoneilmastoa koskevat ohjeet.

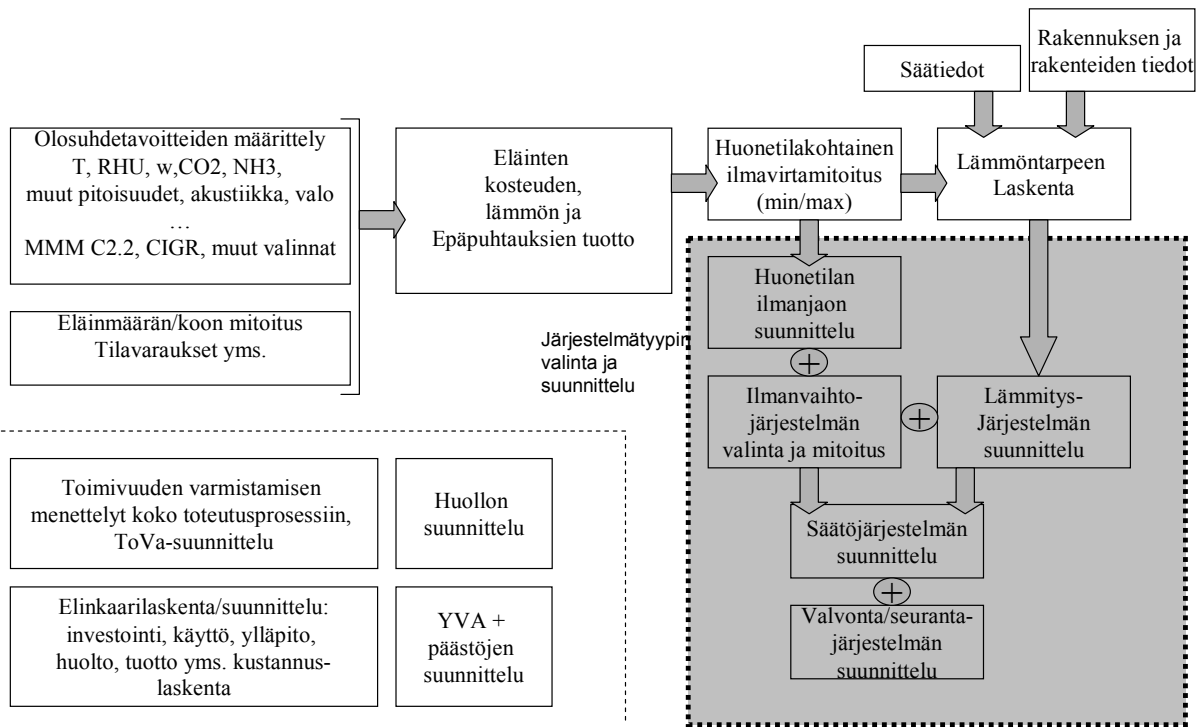
Eläinsuojelulaki pyrkii turvaamaan tuotantoeläinten lajinmukaiset ja hyväksyttävänä pidettävät tuotanto-olosuhteet. Säädökset koskevat lajikohtaisia väljyys- eli tilavaatimuksia, liikkumista ja ulkoilua sekä rakennuksen sisäilmastolta lajikohtaisesti sopivia kosteus-, lämpötila- ja kaasu- ja pölypitoisuuksia, enimmäismelutasoa sekä luonnonvalon saantimahdollisuutta.

3.2 Suunnittelun yleinen prosessi

Ilmanvaihtojärjestelmät mitoitetaan ja suunnitellaan kuvan 9 periaatteen mukaisesti. Eläinmäärän ja -koon mitoituksen sekä sisäilmaston tavoitetasojen määrittämisen jälkeen voidaan laskea eläinten ai-

3. Ilmanvaihdon suunnitteluperusteet ja suunnittelun prosessi

heuttamat kuormitukset (lämpö, kosteus sekä hiukkasmaiset ja kemialliset epäpuhtaudet). Tämän jälkeen voidaan laskea tarvittava minimi- ja maksimi-ilmavirta, jolla kuormitus saadaan hallittua ja olosuhteet pidettyä suunnitelmien mukaisina. Rakennuksen ja rakenteiden tietojen (lämmönläpäisykerroimet eli U-arvot, pinta-alat, ilmavuodot), säätietojen sekä ilmavirtojen perusteella voidaan laskea rakennuksen ja sen eri osien lämmöntarve. Tilakohtaisten ilmavirtojen perusteella suunnitellaan ilman jakotapa. Lisäksi valitaan lämmönjakotapa ja ilmanvaihtojärjestelmän tyyppi ja näille suunnitellaan säätöjärjestelmä, joka yleensä on osa laajempaa rakennusautomaatiojärjestelmää. Rakennusautomaatiojärjestelmä voi sisältää valvonta- ja seurantatyypisiä toimintoja laajemminkin kuin vain ilmanvaihtoon liittyen. Varsinaisen ilmanvaihtosuunnitteluprosessin rinnalla huolehditaan siitä, että toimivuuden varmentamisen (ToVa) prosessi tulee otetuksi huomioon (ks. luku 7), huollon suunnittelusta sekä mahdollisista elinkaari- ja ympäristövaikutusanalyseistä.



Kuva 9. Ilmanvaihtojärjestelmien suunnittelun yleinen kulku.

3.2.1 Eläintilojen kokovaatimukset ja muut yleiset vaatimukset

Tuotantoeläinten pitoa koskevissa eläinsuojelumääräyksissä käsitellään eläinmääriä, pinta-aloja, tilavuutta, ikkunapinta-alaa, lattian liukkautta ja ominaisuuksia, melua ja sisäilmastoa, enimmäiskaasu- ja pölypitoisuuksia sekä ilmanvaihtoa. Määräykset ovat ilmanvaihdon osalta pitkälti samansisältöisiä, mutta eläinten tarvitsemisissa pinta-aloissa on eläinlajeikohtaisia eroja. Eläinsuojelulaki ja -asetus antavat lisäksi määräyksiä ruokintaa, hoitoa ja kuljetuksia varten, mutta ne eivät suoranaisesti vaikuta rakennussuunnittelun sisältöön.

3.2.2 Sisäilmaston tavoitetasot

Nykyiset voimassa olevat kotieläintuotantotilojen sisäilmaston raja-arvot ovat yleisesti MMM:n asetusten eläinlajikohtaisissa ohjeissa seuraavat:

Taulukko 3. Kotieläintuotantotilojen sisäilmaston raja-arvot (MMM-RMO C2.2), joita noudatetaan tuetussa rakennustoiminnassa.

Sisäilmastotekijä	Raja-arvo
Hiilidioksidi, CO ₂	3 000 ppm
Ammoniakki, NH ₃	10 ppm (25 ppm siipikarjatuotannossa)
Hiilimonoksidi, CO	5 ppm
Rikkivety, H ₂ S	0,5 ppm
Orgaaninen pöly	10 mg/m ³

ppm = parts per million = miljoonasosa = cm³/ m³

Lisäksi suurin sallittu ilmanvirtausnopeus eläinten oleskeluvyöhykkeellä on 0,25 m/s. Lämpimänä vuodenaikana sallitaan suurempi virtausnopeus. Teksti koskee kaikkia eläinlajeja.

Maa- ja metsätalousministeriö on antanut eläinsuojelulakiin ja -asetukseen perustuvat tarkat eläinlajikohtaiset määräykset seuraavissa asetuksissa: lampaat 4/EEO/1997, vuohet 5/EEO/1997, peurat 11/EEO/1997, siat 14/EEO/2002, naudat 14/EEO/1997 ja 6/EEO/2002, strutsit 22/EEO/1997, kanat 10/EEO/2002, hevoset 14/EEO/1998, biisonit 3/EEO/1999, turkiseläimet 16/EEO/1999, ankat, mskisorsat ja hanhet 30/EEO/1999 sekä kalkkunat 1/EEO/2002. Eläinlajikohtaiset määräykset ovat koostusti seuraavat:

Tuotantotilan suurin suhteellisen kosteuden raja on yleensä 80 %. Sioille ja hevosille suositellaan 50–80 %:a, kanoille (munintakanat ja broilerit) 60–80 %:a ja kalkkunoille 60–75 %:a.

Ammoniakkia sallitaan yleisestä linjasta poiketen linnuille seuraavasti:

- kalkkunoille 25 ppm
- kanoille normaalisti 10 ppm mutta 25 ppm, jos pitopaikassa käytetään pehkuu eli kuiviketta
- ankoille ja hanhille 20 ppm.

Ilman liikkeen eli vedon yläraja on määritelty oleskeluvyöhykkeellä eläinlajeittain seuraavasti:

- sika 0,2 m/s
- kana 0,2 m/s
- ankka ja hanhi 0,2 m/s
- kalkkuna 0,2 m/s
- muilla eläinlajeilla vedon ylärajaa ei ole määritelty.

3. Ilmanvaihdon suunnitteluperusteet ja suunnittelun prosessi

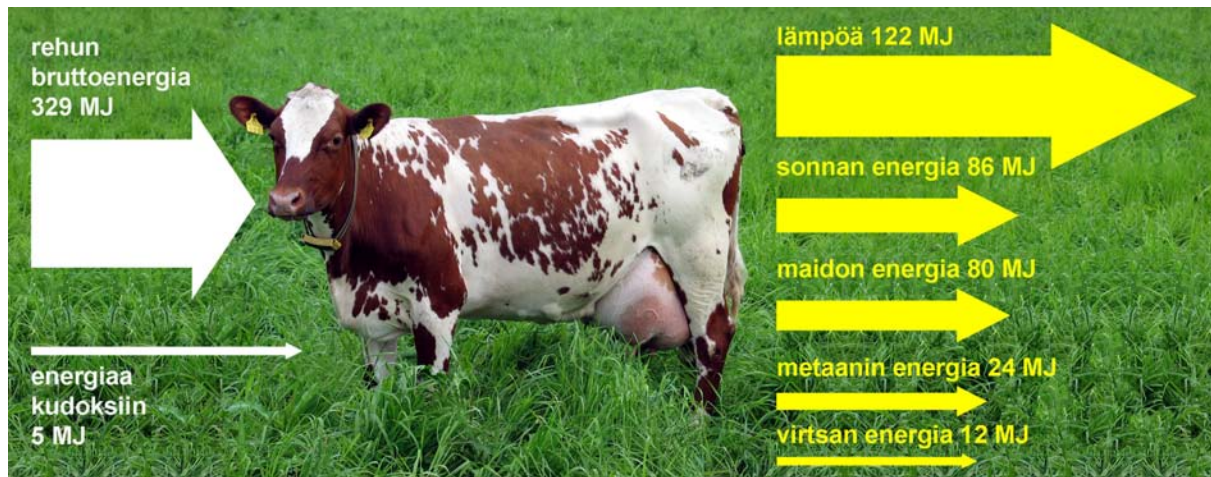
Lämpötilojen tavoitearvot riippuvat eläinlajista. MMM-RMO antaa lämpötiloille minimi-, maksimi- ja optimiarvot. Eläinten lämmön ja kosteuden tuotto eri eläinlajeille ja eri painoisille eläimille annetaan myös taulukkoarvoina.

Kosteusolojen osalta minimikosteuden tavoitearvo on $> 50\%$. Liian kuiva ilma lisää pölypitoisuutta ja ärsyttää ihmisten ja eläinten hengityselimiä sekä kuivattaa ihoa. Maksimikosteuden tavoitearvo on $< 85\%$, koska liian kostea ilma vaurioittaa rakenteita (kondenssi, lahovauriot, korrosio).

Tuotantoeläinten olosuhdevaatimukset poikkeavat työntekijöiden vaatimuksista (ks. luku 3.2.2.2). HTP-luettelon (HTP = haitalliseksi tunnetut pitoisuudet) mukaisesti ammoniakkin ja hiilidioksidin sallitut pitoisuudet tuotantoeläimille ovat puolet työntekijöille määrättyjä raja-arvoja (8 h:n altistus) alhaisemmat. Rikkivedyn sallittu pitoisuus eläimille on 1/10 työntekijöille sallitusta pitoisuudesta. Selkeä poikkeus toiseen suuntaan on orgaanisen pölyn raja-arvo, joka on eläimille puolet suurempi kuin työntekijöille. Jos kotieläinrakennusten kaasuissa päästään raja-arvojen alapuolelle, työntekijän kokema haitta tai terveydelliset oireet ovat todennäköisesti pieniä.

3.2.2.1 Eläinten pidon asettamat vaatimukset

Kotieläimet ovat tasalämpöisiä, ja niillä on lämmönsäätöjärjestelmä, joka pyrkii pitämään lämmön tasaisena. Eläin voi säädellä lämpöä muuttamalla pintaverenkierron määrää, ja kun tämä ei liian kuumissa oloissa riitä, apuun tulee hikoilu. Eläin tarvitsee ruokaa kahteen pääasiaan: elintoimintojensa ylläpitoon ja tuotantoon (maito, liha, muna), kuten kuva 10 osoittaa (Mälkiä 1999). Termisessä ympäristössä tapahtuvat muutokset (lämpötila, kosteus, tuuli) vaikuttavat lämmönsäätöjärjestelmään ja voivat myös vaatia enemmän tai vähemmän ravinnon kautta saatavaa energiaa.



Kuva 10. Lehmän energiatalous vuorokaudessa. Luvut kuvaavat 26 kg maitoa tuottavan ja 560 kg painavan lehmän energian kulutusta ja lämmön tuotantoa, kun lehmän paino lisääntyy 170 g päivässä (Mälkiä 1999).

Liian alhaisessa lämpötilassa tavallista suurempi osa eläinten syömän rehun energiasta kuluu normaalin ruumiinlämmön ylläpitämiseen, mikä pienentää rehuyksiköstä saatavaa tuotantoa. Lämpötilaa,

3. Ilmanvaihdon suunnitteluperusteet ja suunnittelun prosessi

jonka alapuolella näin tapahtuu, kutsutaan alemmaksi kriittiseksi lämpötilaksi. Liian korkea lämpötila heikentää eläimen ruokahalua, koska sen täytyy vähentää lämmöntuotantoaan – ja tällöin myös tuotos pienenee. Tällöin puhutaan yleemmästä kriittisestä lämpötilasta (MMM 2005).

Taulukko 4. Eri eläinlajien alimmat ja ylimmät kriittiset sekä optimilämpötilat (MMM-RMO C2.2, käytetään investointituetussa rakentamisessa).

	kriittiset lämpötilat ° C		
	alempi	ylempi	optimi
lypsylehmä	(-25)...-15	23...27	5...15
nuorkarja	(-15)...0	25...30	10...20
pikkuvasikka	(0)...10	30	15...25

Lehmän optimilämpötila MMM:n mukaan on 5–15 °C (taulukko 4), mutta lehmä pystyy tuottamaan maitoa paljon alhaisemmissakin lämpötiloissa. Tällöin sen syömästä energiasta osa menee pelkästään lämmön tuottamiseen. Suosituksissa on otettu huomioon myös ihmisten tuntema lämpötila.

Ulkomaisissa lähteissä lehmän alempi kriittinen lämpötila on huomattavasti alempi kuin MMM:n suosituksissa, mikä johtuu suuremmasta päivätuotosta. Taulukko 5 (Sällvik & Pedersen 1999) osoittaa, miten paljon lehmän päivätuotos ja paino vaikuttavat kriittiseen lämpötilaan. Mitä suuremmat ovat tuotos ja paino, sitä paremmin lehmä kestää pakkasta. Eläimet pystyvät optimaaliseen suoritukseen tietyllä yksilöllisellä lämpötila-alueella (termoneutraali alue), sillä jokainen yksilö kokee kylmän ja kuuman eri tavalla. Termoneutraalilla alueella eläin on lämpötasapainossa ympäristöönsä nähden. Eläimen altistuessa selvästi aikaisempaa alhaisemmille lämpötiloille seuraa ensin kylmästressi, mutta vähitellen eläin sopeutuu kyseiseen lämpötilaan. Eläimen kokema ympäristön lämpötila määräytyy paljon sen mukaan, mihin lämpötilaan se on tottunut ja kuinka hyvin sen karvapeite on muuttunut kylmässä ilmassa. Ilman lämpötilaa ei koskaan saisi sellaisenaan pitää ympäristön kylmyyden mittarina, sillä kylmyyteen vaikuttavat myös ilman liike, vetoisuus ja tuulisuus, kosteus sekä auringonsäteily.

Taulukko 5. Eläinten alimmat kriittiset lämpötilat, LCT (Sällvik & Pedersen 1999).

	paino, kg	maitotuotos, kg/pv	LCT (° C)
lypsylehmä, 240 pv tiinesaika	500	0	-18
lypsylehmä	500	15	-30
lypsylehmä	500	35	-50
nuorkarja	250	0,55	0
hieho, 240 pv tiinesaika	500	0,5	-20
vasikka	50	0,5	10

Kotieläinrakennusten sisäilmasto-olosuhteiden hallinnassa ja ilmanvaihdon järjestelyissä määrävänä tekijänä ovat eläinlajikohtaiset vaatimukset. Karkeasti jaotellen nautaeläimet pärjäävät vaihtelevissa olosuhteissa ja kestävät tuntuvaa kylmyyttä. Lihanautoja voidaan kasvattaa jopa pelkästään metsälai-

3. Ilmanvaihdon suunnitteluperusteet ja suunnittelun prosessi

tumilla ilman varsinaista kotieläinrakennusta. Nautaroduissa on kuitenkin eroja, kun tarkastellaan eläimen ikää ja tuotantovaihetta. Poikimatilanteet on järjestettävä kohtuullisiin olosuhteisiin ja mielellään siten, että lehmä saa olla rauhassa vasikkansa kanssa ilman muiden lehmien häirintää. Syntyneet vasikat tarvitsevat ensimmäisten viikkojen ajan vedottoman ja kuivan paikan. Kotieläinrakennuksissa vasikoiden sijoitus, niiden lämpötilaolosuhteet ja ilmanvaihto ovatkin jääneet suunnittelussa vähäiselle huomiolle.

Sikaloissa porsimistilanne on tuotannon herkin jakso. Pitopaikalta ja sen ilmasto-olosuhteilta vaaditaan paljon. Porsituskarsinassa pikkuporsaat kaipaavat lämpöä, kun taas emakko haluaa päästä omasta metabolisesta lämpökuormastaan eroon. Ilmanvaihto onkin suunniteltava sellaiseksi, että porsailla on vedotonta ja lämmintä mutta toisaalta koko porsitusoston lämpökuormaa leikataan ja raittiin ilman saanti turvataan. Ilmanvaihdon näkökulmasta porsitusosastot ovat vaativimpia suunnittelukohteita. Ilmanvaihdon tekninen vaatavuus vähenee sian kasvaessa siten, että lihotusosastoilla riittävät tavanomaiset ilmanvaihtoratkaisut. Kaikki sikaryhmät tarvitsevat lisälämmitystä talviolosuhteissa. Lihasikoja voidaan kasvattaa kylmässä, mutta silloin päiväkasvut jäävät normaalista, kasvuajat pitenevät, rehunkulutus lisääntyy ja tuotannon taloudellisuus kärsii. Kylmäkasvatusta esiintyy yksittäistapauksina lähinnä luomutuotannossa.

Munintakanaloissa tarvitaan lämmitystä talviolosuhteissa. Ilmanvaihdon suurin haaste liittyy ammoniakkin ja pölyjen poistoon. Broilerituotannossa tarvitaan tarkkaa lämpötilahallintaa talvi- ja kesäolosuhteissa. Ilmanvaihdon tarkkuus on yhtä tärkeää ja edellyttää olosuhteiden mittaamista ja ohjausta.

Hevostallit pyritään pitämään talviaikana tasalämpöisinä, mikä edellyttää lisälämmitystä. Ilmanvaihtoa tarvitaan syntyvän kosteuden poistoon ja hiilidioksidin hallintaan. Hevonen pärjää ilman lisälämmitystä mutta voi tällöin altistua helpommin erilaisille hengitystiesairauksille.

Eläinsuojelulaki pyrkii edistämään eläinten hyvinvointia ja hyvää kohtelua. Se edellyttää, että eläimen pitopaikan on oltava riittävän tilava, suojaava, valoisa, puhdas ja turvallinen sekä muutoinkin tarkoituksenmukainen ottaen huomioon kunkin eläinlajin tarpeet (MMM 1996). Maa- ja metsätalousministeriö on antanut eläinryhmäkohtaisia ohjeita muun muassa tuotantotilan lämpötiloista ja ilman suhteellisesta kosteudesta (MMM 2008, C2.2). Ilman suhteellisen kosteuden tulisi pysyä välillä 60–80 % suhteellista kosteutta (RH). Yli 10 %:n RH-vaihtelua vuorokauden aikana pidetään terveydelle haitallisena. Myöskään lämpötila ei saisi vaihdella vuorokaudessa viittä astetta enempää. Imeväisikäisillä porsailla lämpötilan vaihtelu saisi olla korkeintaan kaksi astetta. Ilman suurin sallittu virtausnopeus eläinten oleskeluvyöhykkeellä on talvella 0,25 m/s. Määräyksessä edellytetään myös, että rakennuksen lämmityksestä ja ilmanvaihdosta voidaan huolehtia myös sähkökatkon tai laitteistojen häiriöiden aikana. Eläimiä kuolee aina silloin tällöin puutteellisesti rakennettujen tai hoidettujen ilmanvaihtojärjestelmien vuoksi. Ilmanvaihtoratkaisut liittyvät myös lietalannan käsittelyssä tapahtuneisiin eläimiä ja työntekijöitä koskeneisiin tapaturmiin.

3.2.2.2 Työntekijöiden työympäristölle asetetut vaatimukset

Kotieläinrakennuksissa voi olla runsaasti ilman epäpuhtauksia, joista aiheutuu haittaa työntekijän terveydelle. Ammattitauteja esiintyy (Riihimäki ym. 2003, Hanhela 1999, Tuure 2005), ja niitä on enemmän maataloudessa kuin muilla toimialoilla. Ammattitautien määrät ovat vaihdelleet vuosittain melko voimakkaasti (kuva 11). Tilastojen mukaan 1990-luvun alkupuolella allergisen astman ja allergisen

3. Ilmanvaihdon suunnitteluperusteet ja suunnittelun prosessi

nuhan tapauksia oli noin 120–160 vuosittain, kun homepölytapauksia oli noin 70–100. Tapausten määrä on vähentynyt 2000-luvulla siten, että astma- sekä nuhatapauksia on ollut 30–50 ja homepölykeuhkotapauksia 20–50 vuodessa. Myös viljelijöiden lukumäärä on luonnollisesti vähentynyt. Kun tämä otetaan huomioon, ammattitautitapaukset ovat vähentyneet noin kolmasosaan 1990-luvun alusta (Siitonen 2009). Syynä lienee maatalouden teknologioissa ja tuotantotavoissa tapahtuneet muutokset viime vuosikymmeninä, kuten kuivaheinän käytön väheneminen.

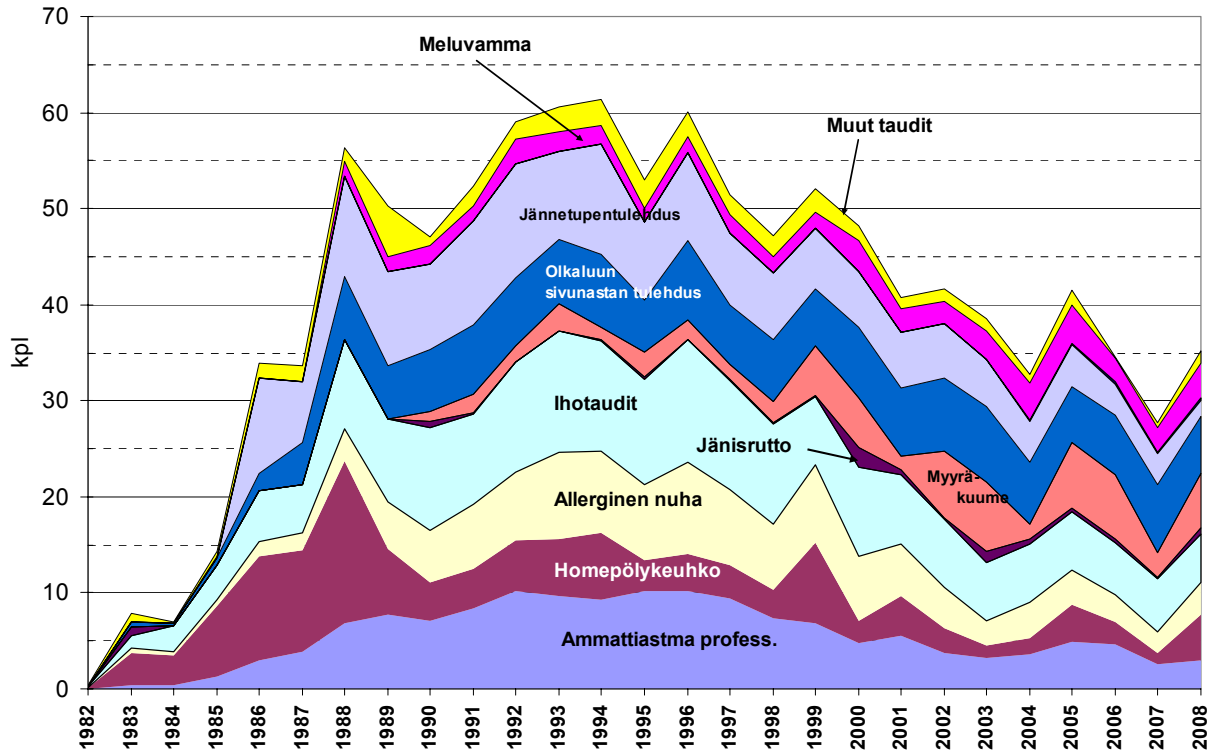
Sosiaali- ja terveysministeriö on asettanut työympäristön ilman epäpuhtauksille HTP-arvoja (haitalliseksi tunnettu pitoisuus). HTP-arvot ovat pienimpiä ilman epäpuhtauksien pitoisuuksia, joiden katsotaan voivan vahingoittaa työntekijän terveyttä. Taulukossa 6 näkyy tärkeimpien maatalouden altisteiden haitallisiksi tunnetut pitoisuudet HTP-arvot (HTP-arvot 2009). Biologisille altisteille eli homeille, bakteereille, sädesienille tai endotoksiineille ei ole asetettu raja-arvoja.

Taulukko 6. HTP-arvot 2009.

Altiste	HTP _{8 h}	HTP _{15 min}
Ammoniakki, ppm	20	50
Hiilidioksidi, ppm	5 000	-
Hiilimonoksidi, ppm	30	75
Rikkivety, ppm	5	10
Orgaaninen pöly, mg/m ³	5	10

3. Ilmanvaihdon suunnitteluperusteet ja suunnittelun prosessi

Matan ammattitaudit: taudeittain kpl/10 000 vakuutettua



Kuva 11. Ammattitautien esiintyminen vuosina 1982–2008.

Pölyt

Viljaa käytetään runsaasti sellaisenaan tai jauhona maataloudessa. Jauhatusyössä on mitattu erittäin suuria viljapölyn pitoisuuksia. Navetoissa pölypitoisuudet ovat nykyisin melko alhaisia ($0,5\text{--}2\text{ mg/m}^3$), koska jauhoa käytetään ruokinnassa vain vähän ja uusimmissa kotieläinrakennuksissa eläimet saavat rehun automaateista (Rissanen ym. 2004). Uusissa ja suurissa sikaloissa on lähes poikkeuksetta liemi-ruokintalaitteita, joiden etuna on vähäisempi pölyävyys käsin ruokintaan tai ruokintavaunuun verrattuna.

Jauhöpöly koostuu viljan osasista ja valkuaisaineista, jotka sinänsä voivat olla allergeeneja. Terveysvaikutuksia saattaa ilmetä myös viljan sisältämien epäpuhtauksien tai homeiden vuoksi. Jauhöpölyn suuret pitoisuudet hengitysilmassa ovat selkeästi terveydelle haitallisia ja heikentävät hengityselinten toimintaa (Blainey 1990).

Eläinallergeenit

Eläinallergeenit ovat merkittävä maatalouden terveysongelma. MELAn tilastojen mukaan allergeenit aiheuttavat kymmeniä ammattitautteja vuosittain. Lehmän allergeenit (karva, hilse) aiheuttavat edelleen suurimman osan näistä hengityselin- ja ihotaudeista. Eläinallergeenit aiheuttavat lähinnä välitöntä allergiaa, joka ilmenee allergisena nuhana, silmätulehduksena, astmana ja ihottumana. Taipumus hen-

gitysteiden yliherkkyyteen ja atopia ovat riskitekijöitä eläinallergian puhkeamisessa. Allergeenin pitoisuudella ei sinänsä ole merkitystä, koska kyse on allergisista oireista ja taudeista, mutta luonnollisesti suuremmat pitoisuudet aiheuttavat todennäköisemmin sairastumisen. Suomalaisissa navetoissa mitatut lehmän pääallergeenin (Bos d2) pitoisuudet ovat olleet noin 40–300 ng/m³ (Louhelainen ym 1997) eli erittäin pieniä verrattuna esimerkiksi hengittyvän pölyn pitoisuuksiin navetoissa (0,5–2 mg/m³) (Risänen ym. 2004). Hilsepölyä on kotieläinrakennuksissa ainakin pieniä määriä lähes kaikkialla, ja sitä irtoaa tietyissä töissä, kuten lehmiä harjattaessa ja niiden karvaa leikattaessa.

Mikrobit ja endotoksiinit

Maataloudessa haitallisin mikrobien aiheuttama ammattitauti on homepölykeuhko eli allerginen alveoliitti. Materiaalien kuten heinien, viljan, kuivikkeiden ja hakkeen liiallinen kosteus saa aikaan mikrobien kasvua, ja materiaalia käsitellessään työtekijä altistuu pienkokoisille mikrobi-itiöille. Maatilalla materiaalit ovat erittäin hyvä kasvatusalusta kaikenlaisille homeille ja bakteereille. Jos materiaali on riittävän kostea, siinä alkaa kasvaa noin 20–25 asteen lämpötilassa viihtyviä mikrobilajeja. Kun mikrobit lisääntyvät, ne muodostavat lisää lämpöä, jolloin uudet lajit alkavat kasvaa. Jos lämpötila nousee 40–60 asteeseen, alkaa muodostua niitä lajeja, jotka todennäköisemmin aiheuttavat homepölykeuhkotautia.

Homeiden ja bakteerien aiheuttamien ammattitautien määrä on pienentynyt viime vuosina merkittävästi. Tämä johtuu muun muassa kuivaheinän ja kuivikkeiden käytön vähenemisestä ja paremmasta suojautumisesta. Toisaalta sateisen kesän jälkeen seuraavana vuonna homepölykeuhko-ammattitautien määrä on lisääntynyt, mikä tarkoittaa sitä, että homeita ei osata torjua. Sikaloita koskeneessa tutkimuksessa havaittiin, että turve ja olki sisältävät runsaasti homeita. (Mäittälä ym. 2001).

Endotoksiinit ovat tiettytyyppisten bakteerien soluseinän osia. Endotoksiineja esiintyy ympäristöissä, joissa on myös mikrobeja eli maataloudessakin. Endotoksiinien määrä navetoissa on ollut keskimäärin 100–200 EU/m³ ja suurimmillaan noin 4 000 EU/m³. Perinteisissä sikaloissa on mitattu hyvin suuria endotoksiinipitoisuuksia, keskimäärin 37 000 EU/m³, purupohjasikaloissa noin 9 000 EU/m³ (Louhelainen ym. 1998) ja turve-olkisikaloissa 6 000–14 000 EU/m³ (Mäittälä ym. 2001). Suurimmaksi raja-arvoksi on ehdotettu 200–300 EU/m³ (Mäittälä ym. 2001).

Kaasut

Ammoniakki on lantakaasu, jota erittyy pääasiassa eläinten virtsasta, osin myös lannasta, mikrobitoiminnan seurauksena. Kotieläinrakennuksissa, joissa on lietelantajärjestelmä, ammoniakki esiintyy yleensä enemmän kuin kuivalantajärjestelmissä. Ammoniakki on pistävänhajuinen, ilmaa kevyempi kaasu. Se syövyttää silmiä, ihoa ja hengitysteitä. Oireita voivat olla polttava tunne, yskä, vaikeutunut hengitys, hengenahdistus ja kurkkukipu.

Siipikarjatyöntekijöillä, jotka altistuivat 12–25 ppm:n ammoniakkipitoisuudelle, havaittiin tilastollisesti merkitsevästi huonontunut hengitystoiminta uloshengityksen sekuntitilavuuden arvolla mitattuna (Donham ym. 2000). Työilman raja-arvoksi tutkijat esittivät 12 ppm:ää. Keskimäärin 10 ppm:n ammoniakkipitoisuus alensi kanalatyöntekijöiden hengitystoimintaa tilapäisesti (Radon ym. 2000).

Ammoniakin HTP-arvo 20 ppm ylittyy satunnaisesti navetoissa mutta useammin sikaloissa (Mäittälä ym. 2001, Louhelainen ym. 1997). Uusien pihattonavetoiden keskimääräiset pitoisuudet ovat 5–10 ppm ja suurimmat 20–25 ppm; perinteisissä sikaloissa keskimäärin 20–30 ppm ja suurimmillaan 40–

3. Ilmanvaihdon suunnitteluperusteet ja suunnittelun prosessi

50 ppm. Alapuolisella ilmanvaihdolla varustetuissa navetoissa ammoniakkipitoisuudet ovat alhaisempia kuin yläpuolisessa ilmanvaihdossa (Linnainmaa ym. 1993).

Hiilidioksidi on hengityskaasu, jota erittyy eläintilaan pääosin eläinten uloshengityksen mukana. Hiilidioksidi on ilmaa raskaampi, hajuton kaasu. Suurina pitoisuuksina se syrjäyttää happea hengitysilmaasta. Hiilidioksidin vaikutukset voimistuvat fyysisesti kuormittavassa työssä. Hiilidioksidi ei normaalisti eläinsuojassa esiintyvissä pitoisuuksissa (alle 5 000 ppm) aiheuta terveyshaittaa (OVA 2006).

Rikkivety on vaarallinen, kotieläinrakennuksissa poikkeustilanteissa esiintyvä kaasu. Poikkeustilanteen voi muodostaa lietelannan käsittely kuten lannan liikuttelu sekä erityisesti lannan sekoittaminen ja sen poistaminen eläinsuojasta pumppaamalla tai valuttamalla. Rikkivety on ilmaa raskaampi, mädäntyneen kananmunan hajuinen kaasu. Rikkivedyn hajukynnys vaihtelee ihmisillä, mutta yleensä se on erittäin alhainen: keskimäärin 0,01 ppm. Rikkivety on vaarallinen soluhengitysmyrkky. Rikkivety ärsyttää limakalvoja ja hengitysteitä jo pieninä pitoisuuksina. Ärsytys kohdistuu etenkin silmiin aiheuttaen side- ja sarveiskalvon punoittamista ja tulehtumista. Silmän ärsytysoireet ilmenevät rikkivedyn 10–20 ppm:n pitoisuuksissa, ja polttavaa kipua, kyynelvuotoa sekä näön sumenemista ilmenee, kun pitoisuus ylittää 50–100 ppm. Rikkivety lamaannuttaa hajuainin 100–150 ppm:n pitoisuudessa, mikä lisää äkillisen myrkytyksen vaaraa suurissa pitoisuuksissa. Rikkivety voi myös aiheuttaa akuutteja hermostollisia oireita. Oireet voivat ilmetä vasta altistumisen päätyttyä. (OVA 2006.) Rikkivetyä on mitattu satunnaisesti normaalin toiminnan aikana navetoista (Louhelainen 1997), mutta selkeästi suurempia pitoisuuksia esiintyy esimerkiksi purupohjasikaloiden pohjan käännon aikana (Louhelainen ym. 2001).

Ammoniakin ja pölyjen yhteisvaikutuksia on selvitetty muutamassa tutkimuksessa. Reynoldsin ym. (1998) artikkelissa arvioidaan, että ammoniakilla ja muilla kotieläinrakennuksissa esiintyvillä yhdisteillä on synergistisiä vaikutuksia. Melko pienten, jopa 7 ppm ammoniakkipitoisuuksien on havaittu huonontavan keuhkofunktioita työvuoron aikana (Donham ym. 1995). Merkittävä osa kotieläinrakennuksen ammoniakista on hiukkasissa ja nestefaasissa eli ilmassa olevassa vedessä (Eatough ym. 1988). Nestefaasiin vaikuttavat lämpötila, suhteellinen kosteus ja muut yhdisteet, jotka pystyvät muodostamaan ammoniakkiolosuoloja tai komplekseja. Nestefaasissa olevan ammoniakin haittavaikutus kohdistuu hengityselimistöön yläosiin, kun taas pölyyn sitoutunut ammoniakki vaikuttaa hengityselinten alempiin osiin. Reynoldsin ym. (1998) tutkimuksessa testattiin useita ammoniakin mittaamenetelmiä, joiden avulla voitiin arvioida ammoniakin jakaantumista hiukkas- ja nestefaaseihin. Tulosten mukaan 15–23 % ammoniakista on sitoutunut pölyyn. Pöly, jossa on mukana ammoniakkiä, ”viipyy” alemmissa hengitysteissä pidempään kuin ylähengitysteissä oleva kaasumainen ammoniakki. Tämä saattaa olla yksi syy siihen, miksi ammoniakki aiheuttaa kohtalaisen paljon terveydellisiä haittoja maatalouden tuotantorakennuksissa.

Donham ym. (2002) tutkivat ammoniakin ja pölyn yhteisvaikutuksia kanaloissa, broilerikasvattamoissa, kalkkunakasvattamoissa ja niihin liittyvissä teollisuuslaitoksissa. Yhteensä 257 työntekijää osallistui tutkimukseen. Heiltä tutkittiin hengitysfunktioita ja työympäristössä mitattiin pölyä, endotoksiinia, ammoniakkiä ja hiilidioksidia. Tulosten mukaan ammoniakki ja pöly selittivät yli 40 % FEV_{1s}:n (yhden sekunnin aikana ulospuhallettu maksimi-ilmamäärä) laskusta ja yli 60 % FEF₂₅₋₇₅:n (maksimi-ilmamäärän keskialuearvo) laskusta työvuoron aikana. Kummatkin menetelmät mittaavat keuhkojen supistumista. Pöly osoittautui merkittävämmäksi altisteeksi kuin ammoniakki. Suurella pöly- ja ammoniakkipitoisuudella oli merkittävä synergistinen vaikutus keuhkojen toimintaan.

Altisteiden terveydellinen merkitys

Maatalouden olosuhteiden vaikutuksia työntekijöiden terveyteen on tutkittu runsaasti Yhdysvalloissa. Merkittävimmät tutkimukset on tehnyt Donham työryhmineen. Sikaloita koskeneessa tutkimuksessa selvitettiin sikalatyöntekijöiden terveydentilassa tapahtuvia muutoksia, lähinnä akuutteja hengityselimiin kohdistuvia vaikutuksia (Donham ym. 1995, Reynolds ym. 1996). Raja-arvojen asettamisen perusteena oli FEV_{1s}:n (yhden sekunnin aikana ulospuhallettu maksimi-ilmamäärä) 3 %:n lasku työvuoron aikana. Tämä kuvaa hengityselimistön äkillistä reagoitua ilman epäpuhtauksiin. Maatiloilla mitattiin samanaikaisesti monentyyppisiä ilman epäpuhtauksia, joiden perusteella laskettiin pitoisuuksien raja-arvoja suhteessa FEV-arvoon. Seuraavia epäpuhtauksien raja-arvoja ei tulisi ylittää hengityselimiin kohdistuvien haittojen vuoksi:

kokonaispöly 2,5 mg/m³, hienopöly 0,23 mg/m³, endotoksiini 100 EU (Endotoksiinyksikkö)/m³ ja ammoniakki 7 ppm.

Kanaloita koskevassa tutkimuksessa (Donham ym. 2000) tehtiin samanlaisia mittaussarjoja, ja tulosten mukaan vastaavat raja-arvot ovat:

kokonaispöly 2,4 mg/m³, hienopöly 0,16 mg/m³, endotoksiini 614 EU (Endotoksiinyksikkö)/m³ ja ammoniakki 12 ppm.

Jos näitä raja-arvoja verrataan suomalaisissa kotieläinrakennuksissa tehtyihin epäpuhtausmittauksiin, voidaan yhteenvetona todeta seuraavaa:

- pölyt: terveydellinen haitta on vähäisin navetoissa mutta selkeästi suurempi sikaloissa
- endotoksiini: navetoissa on ylittynyt sikaloiden raja-arvo ja sikaloissa sekä sikaloiden että kanaloiden raja-arvo
- ammoniakki: navetoissa on ylittynyt sikaloiden raja-arvo ja satunnaisesti myös kanaloiden raja-arvo. Sikaloissa on ylittynyt selkeästi vastaava sikaloiden raja-arvo.

3.2.2.3 Maidon säilytyksen aiheuttamat vaatimukset

Maa- ja metsätaloushallinnon tuella toteutettavan tuotantorakennuksen asiakirjoihin tulee liittää sähkö- ja ilmanvaihtosuunnitelmat, jos niitä tarvitaan myös kustannusten arvioinnissa. Tilasäiliöiden jäähdytysteho heikkenee, jos maitohuoneen lämpötila on yli +25 C°. Tämän seurauksena energiaa kuluu enemmän ja maidon laatu heikkenee (Maitohuoneopas 2002). Maitohuoneen ilmanvaihto ja lämmitys riippuvat suoraan siitä, miten maidon jäähdytys on ratkaistu. Yleisin ratkaisu on siirtää maidon lämpö säiliön lauhduttimen kautta maitohuoneen ilmaan. Yhden maitolitrin jäähdyttämisestä vapautuu lämpömäärä, joka lämmittää 15–20 m³ ilmaa 10 C°:lla hyötysuhteesta riippuen. Luovutettu lämpö vastaa talvella yleensä maitohuoneen vuorokautista lämmitystarvetta, tosin ajallisesti epätarkoituksenmukaisesti jakautuneena. Kesällä lämpö on ylikuormaa, joka pitää saada ilmanvaihdon avulla pois maitohuoneesta.

Lämmön ajallinen tuotto riippuu tilasäiliön kylmäjärjestelmästä. Suorajäähdytteisessä järjestelmässä lämpö poistuu maidosta noin kahdessa tunnissa, minkä jälkeen lämmön tuotto on hyvin vähäistä. Jos kysessä ovat suuret maitomäärät, kannattaa harkita lämmön talteenottoa maidosta ja sen käyttöä esi-

3. Ilmanvaihdon suunnitteluperusteet ja suunnittelun prosessi

merkiksi lehmien juomaveden tai lypsyaseman lattian lämmityksessä. Tällöin maitohuoneen ilmanvaihdon tarve vähenee merkittävästi (oletuksena on, että ilmanvaihdolla jäähdytetään).

Maitohuoneoppaan mukaan ilman sisäänottoaukko on sijoitettava lähelle tilasäiliön lauhdutinta. Aukon pitää olla reilun kokoinen, yleensä 60 x 60 cm. Aukon tulee avautua tuotantopihan puolelle, eli aukosta ei saa päästä sisään pölyä eikä lantalan, säilörehusiilojen tai muiden tilojen haitallisia kaasuja, jotka voivat vahingoittaa maitoa. Aukon kokoa on voitava säätää esimerkiksi säätöpellillä tai vaikkapa vanerisella liukuläpällä. Ilma-aukko pitää varustaa hyttysverkolla. Talvella maitohuoneen lämpötila ei saisi laskea alle +5 C°.

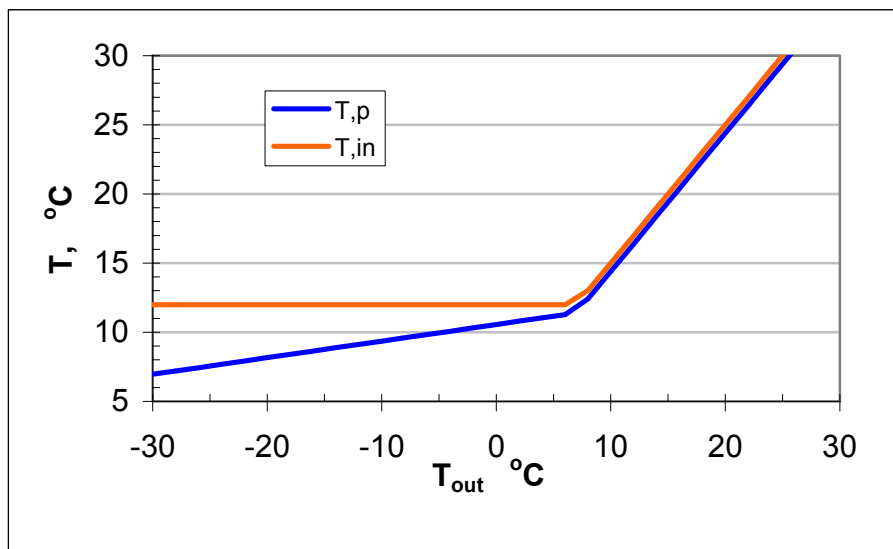
3.2.2.4 Rakenteiden edellyttämät sisäilmaston kosteusolojen rajat

Tyypillisesti ilmanvaihdon tavoitteita pohdittaessa huomioidaan ensimmäisenä tuotannon asettamat vaatimukset ja muita vaatimuksia arvioidaan vasta tämän jälkeen. Tämä pätee erityisesti sisäilman lämpötiloihin. Sisäilman kosteuteen voidaan vaikuttaa lämpötilaa enemmän ilman, että olisi riskiä tuotannon heikkenemisestä. Ilmanvaihdon voimakas lisääminen vaikuttaa vedon tunteeseen, lämpötilojen hallintaan ja energiankulutukseen, joten sisäilman kosteus on poistettava pääasiassa muiden sisäilmakriteerien edellyttämällä ilmanvaihtomäärillä. Seuraava esimerkki pyrkii antamaan kuvan sisäilman kosteuden kriittisten raja-arvojen määrittämisestä rakenteiden toimivuuden kannalta.

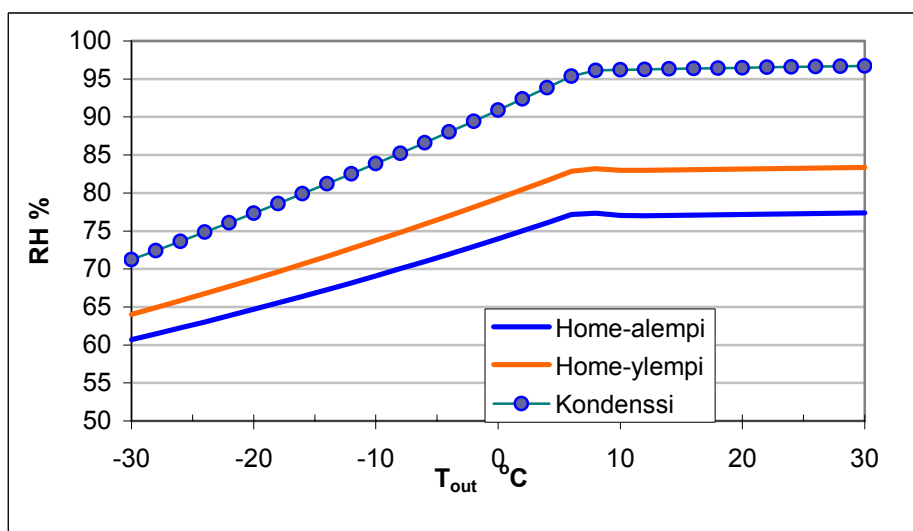
Esimerkin eläinsuojassa on seinärakenteet, joiden lämmönläpäisykerroin (U-arvo) on 0,6 W/Km². Tämä vastaa noin 150 mm:n kevytbetoni- tai 180 mm:n hirsiseinää. Seinä on tarkasteltu rakenne, koska sen oletetaan edustavan tässä tapauksessa heikointa vallitsevaa U-arvotasoa. Sisäilman lämpötilan minimitasona pidetään läpi vuoden +12 °C, ja tyypillisesti sisäiset lämpökuormat pitävät sisäilman 5 °C ulkoilmaa lämpimämpänä ilman muuta lämmitystä. Esimerkissä oletetaan, että lämpötilan säätö toimii ideaalisesti.

Rakenteiden toimivuuden kriteereinä käytetään seinän sisäpinnan olosuhteita, lämpötilaa ja suhteellista kosteutta. Niiden perusteella voidaan arvioida homehtumisriskiä ja kondenssiriskiä pinnalla. Kuva 12 esittää sisäilman ja seinän sisäpinnan lämpötilat ulkoilman lämpötilan funktiona. Sisäpinnan lämpötilan perusteella voidaan arvioida homeen kasvun mahdollisuutta pinnalla. Homeen kasvun arviointi perustuu VTT:ssä tehtyyn, laajaan koearneistoon pohjautuvaan homeen kasvumalliin (Viitanen & Ojanen 2007, Viitanen ym. 2008). Tässä homeen kasvun riski on esitetty kahdessa eri tilanteessa. Kun suhteellinen kosteus on vähäisempää (alempi RH-taso), home voi kasvaa puupinnalla tai muussa (likaantuneessa) pinnassa homeindeksin tasolle 1 (ensimmäiset havaittavat homekasvun merkit). Tämä edellyttää pitkäaikaista, useiden viikkojen mittaista altistumista em. olosuhteille. Kun suhteellista kosteutta on enemmän, (ylempi RH-taso), homeindeksi voi kohota tasolle 3, joka vastaa silmin nähtävää homea pinnalla. Kuva 13 esittää pinnan lämpötilan mukaan ratkaistut arvot sisäilman suhteelliselle kosteudelle. Kuvassa esitetään lisäksi pintakondenssin aiheuttava sisäilman suhteellinen kosteus.

3. Ilmanvaihdon suunnitteluperusteet ja suunnittelun prosessi



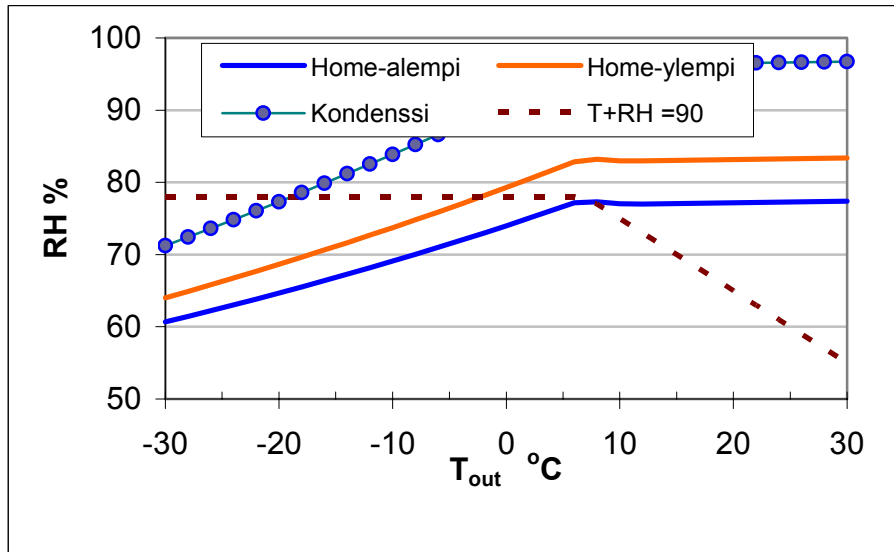
Kuva 12. Esimerkkirakennuksen sisäilman (T_{in}) ja seinän sisäpinnan (T_{p}) lämpötilat ulkoilman lämpötilan (T_{out}) funktiona.



Kuva 13. Pinnan lämpötilan perusteella sisäilman suhteelliselle kosteudelle (RH %) ratkaistut raja-arvot, kun kriteereinä on pitkäaikaisen altistuksen aiheuttama homehtumisriski alkavalle (alempi käyrä) tai näkyvälle(ylempi käyrä) hometasolle. Kondenssikäyrä edustaa pintakondenssiin johtavaa sisäilman kosteustasoa. T_{out} on ulkolämpötila.

Eräänä ohjeena sisäilman olosuhteille on pidetty ns. 90-law sääntöä, jossa lämpötilan (°C) ja suhteellisen kosteuden (% RH) summan tulee olla 90 % tai alle (kuva 2a). Kuva 14 esittää homekasvun ja kondenssiraja-arvojen vertailun tähän käyrään.

3. Ilmanvaihdon suunnitteluperusteet ja suunnittelun prosessi



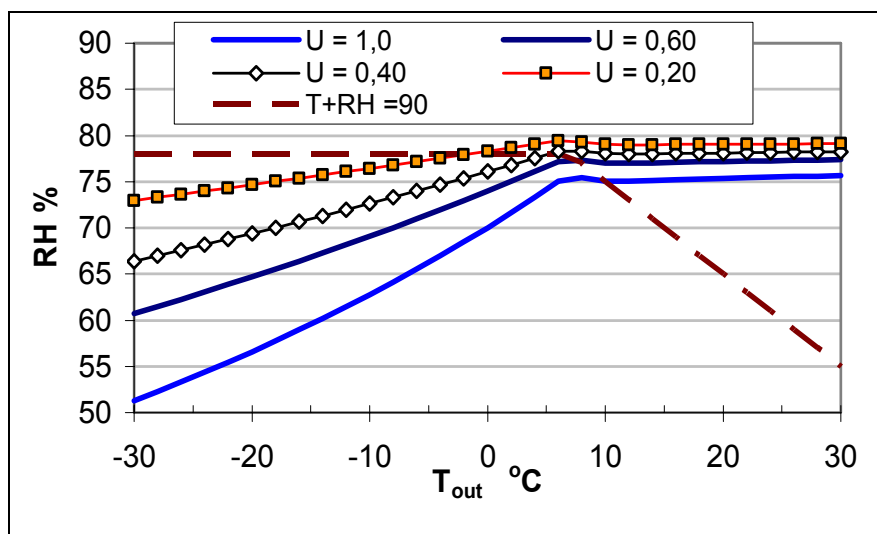
Kuva 14. Home- ja kondenssirajojen vertailu ns. 90-law-käyrän ($T + RH = 90$) kanssa. T_{out} on ulkolämpötila, RH % sisäilman suhteellinen kosteus.

Kondenssirajakäyrä on samanmuotoinen kuin homeenkasvun rajakäyrät. Kondenssia tuskin saavutetaan sisäilman oloissa, koska yleensä rakennusvaipeasta löytyy vielä alempia lämpötiloja kuin tässä tarkastellusta seinän sisäpinnasta (ikkunat, kylmäsiilat yms.) ja koska kosteus kondensoituu ensisijaisesti näihin kohtiin. Kondenssia voidaan pitää hetkellisenä, ehdottomana ylärajana olosuhteille. Home-riskiä kuvaavista käyristä realistisempi ajoittaisille olosuhteille on ylempi raja-arvo, kun taas alempi käyrä kuvaa pitkäaikaisen toimivuuden tavoitetason ylärajaa.

Vertailu 90 % -rajakäyrään osoittaa, että lämmityskauden ulkopuolella rakenteet sallisivat suurempia kosteuksia kuin mitä tämä karkea ohjearvo edellyttää. Suurempien kosteuksien salliminen johtaisi kuitenkin ongelmiin muun muassa viihtyisyydessä sekä siihen, että kosteutta alkaisi kertyä rakenteisiin. Näin ollen ilman suhteellisen kosteuden alentaminen riittävällä tuuletuksella lämmityskauden ulkopuolella on perusteltua.

Toinen poikkeama esimerkkitapaukselle saatujen kriteerien ja ns. 90 % -käyrän välillä esiintyy kylmien ulkolämpötilojen aikana. Tällöin sisäpinnan kosteustasot kasvavat pintojen jäähtyessä ja jopa kondenssiriski on mahdollinen. Referenssinä oleva 90 % -rajakäyrä on ilmeisesti kehitetty lauhkean vyöhykkeen oloissa, joissa ei esiinny pitkiä kylmiä jaksoja, eikä se siksi kuvaa rakenteiden riskiä kylmissä oloissa riittävällä tavalla. Siksi pitkäaikaisten sisäilman olosuhteiden yläraja-arvoina on käytettävä rakenteiden pinnan olosuhteiden mukaan ratkaistuja käyriä. On suositeltavaa käyttää ylempää homeriskistä kuvaavaa käyrää pitkäaikaisten sisäilman olojen kriteerinä lämmityskaudella.

Saadut käyrät riippuvat monista tekijöistä: rakenteen U-arvosta (yksikkö W/m^2K), sisäilman yli-lämmöstä, alimmasta sisäilman lämpötilatasosta jne. Rakenteen U-arvo vaikuttaa suoraan pintalämpötiloihin ja siten siedettäviin kosteusoloihin. Kuva 15 esittää sisäilman suhteellisen kosteuden rajakäyrän, kun kriteerinä on homeutumisherkkyys alemmalla RH-tasolla. Rakenteen U-arvon pienentyessä (paremmin eristetty rakenne) kaartuu rajakäyrä kylmissä ulkoilman oloissa loivemmin alas ja lopulta lähestyy 90 % -rajan käyrää.



Kuva 15. Rakenteen sisäpinnan alinta homehtumisrajaa kuvaavan käyrän riippuvuus rakenteen U-arvosta (yksikkö W/m^2K). Sisäilman suhteellinen kosteus (RH %) esitettyä ulkoilman lämpötilan (T_{out}) funktiona käytetyn esimerkin mukaisessa tapauksessa.

Esitetyn kaltaiset rakenteiden kosteusteknisen toimivuuden käyrästä voidaan tuottaa tapauskohtaisesti vastaamaan kuvattua rakennusta ja sen lämmitys- ja lämpökuormitusoloja. Näin tuotettu ylemmän RH-tason homehtumiskriteeriä kuvaava käyrä antaa riittävällä varmuudella turvallisen ylärajan sisäilman ajoittaiselle ja melko pitkäaikaisellekin suhteelliselle kosteudelle, kunhan keskimääräinen kosteustaso pysyy koko vuoden alemman kriittisen kosteustason alapuolella.

3.2.2.5 Sisäilmaston tavoitetasojen muutostarpeet

Kotieläintuotantotilojen sisäilmaston raja-arvot ovat olleet nykyisellä tasolla jo pitkään. Ne perustuvat pitkäaikaiseen tutkimustietoon, jota yhtenä koordinoivana osapuolena on ollut tuottamassa kansainvälinen CIGR-järjestö. Raja-arvot ovat yleisesti käytössä EU-lainsäädännössä. Muutoksia kotieläinten tuotanto-olosuhteiden raja-arvoihin tulee juuri EU-direktiivimuutosten yhteydessä. Muutosten tavoitteena on ensisijaisesti eläinten hyvinvoinnin ja tuotannon eettisyyden lisääminen.

Tarkennuksia on tehty broilerituotantoa koskevaan direktiiviin (2007/43/EC), joka tulee kansallisella tasolla sovellettavaksi heinäkuun alusta 2010. Direktiivissä edellytetään omistajan tai pitäjän varmistavan, että kukin tilan rakennus on varustettu ilmanvaihto- sekä tarvittaessa lämmitys- ja ilmastointijärjestelmällä. Järjestelmän tulee olla suunniteltu ja rakennettu niin, että

- ammoniakkipitoisuus (NH_3) on enintään 20 ppm ja hiilidioksidipitoisuus (CO_2) enintään 3 000 ppm mitattuna kanojen pään tasolta
- sisälämpötila ei ole yli 3 °C korkeampi kuin ulkolämpötila, kun ulkolämpötila varjossa mitattuna on yli 30 °C
- keskimääräinen suhteellinen kosteus rakennuksessa ei 48 tunnin aikana ylitä 70 %:a, kun ulkolämpötila on alle 10 °C .

3. Ilmanvaihdon suunnitteluperusteet ja suunnittelun prosessi

Nämä raja-arvot eivät suoranaisesti muodosta uusia, aikaisemmasta poikkeavia raja-arvoja. Direktiivissä broilereiden elopaino rajoitetaan kuitenkin enintään 33 kg:aan, mikä on lähes 10 kg nykykäytäntöä vähemmän. Tuotantointensiteettiä voi silti kasvattaa 39 kg:aan ja ylikin, jos voidaan taata, että sisäilman laatu pysyy yllä mainituissa rajoissa ja broilereiden kuolleisuus pysyy tiukasti määrätyllä tasolla. Uusi broilerituotantodirektiivi asettaa ilmanvaihdon tekniselle toteutukselle suuria haasteita. Myös sisäilmasto-olosuhteiden seurantaan tarvitaan varmatoimista anturitekniikkaa.

3.2.2.6 Mahdollisuudet vaikuttaa sisäilmastoon kohdistuviin epäpuhtauskuormitukseen

Ilmanvaihto on yksi keino, jolla voidaan johtaa lämpö- ja epäpuhtauskuormituksia tilasta pois. Helppointa on kuitenkin vaikuttaa kuorman alkuperäiseen lähteeseen suoraan, jos se vain on mahdollista. Taulukossa 7 on esitetty yhteenveto maatalousrakennusten merkittävimmistä epäpuhtauskuormituksista ja kuormituksista sekä yleisesti käytettyjä keinoja niiden pienentämiseksi (koottu eri lähteistä). Lisäksi on esitetty kuormitusten vaikutuksia eläimiin.

3. Ilmanvaihdon suunnitteluperusteet ja suunnittelun prosessi

Taulukko 7. Yhteenveto maatalousrakennusten merkittävimmistä epäpuhtauksista ja kuormituksista sekä yleisesti käytettyjä keinoja niiden pienentämiseksi (tutkimusryhmä koonnut eri lähteistä).

Kuormitus / epäpuhtaus	Lähde	Kuormituksen pienentämisen keinot	Ohjearvot	Vaikutus eläimiin/työntekijään
Pöly	Rehu	Minimoidaan pölyn synty ruokinnan ja kuivittamisen yhteydessä	MMM RMOC2.2: 10 mg/m ³	Kanoilla hengitysteiden ja silmien limakalvojen ärsytys
	Kuivunut lanta Eläinten iho, karvapeite	Ilmanvaihdon lisääminen Kohdepoisto lähellä pölyn lähdeä		Hevosilla hengitystieallergioita Pölypartikkelit kuljettavat ammoniakkaa sikojen hengityselimistöön, seuraa hengitystieoireita.
	Siitepöly, hyönteiset Homeet, sienet	Pölyn suodatus tulo- ja kiertoilmasta Ilman kierrätys ja suodatus	HTP 8h: 5 mg/m ³	Vaikutus työntekijään Jo alle HTP-tason hengityselinärsytystä
	Virukset, bakteerit	Ilmanpuhdistimet/pesurit Kostutus		
Kosteus	Ruokintatapa	Kuivikkeen määrä ja tyyppi	50-85 %	Pieneliöt lisääntyvät liian kosteassa, seuraa mm.hengityselinsairauksia, utaretaulehduksia jne. Kosteista kulkukäytävistä seuraa herkästi sorkkasairauksia. Homeet lisääntyvät kosteassa Rakenteissa kosteus aiheuttaa laho- ja ruosteauriota. Liian kuivassa pölypitoisuus, sekä virukset ja mikrobit lisääntyvät. Liian kuivassa kanojen höyhenpeite haurastuu ja katkeilee.
	Juominen	Kuivikkeen vaihtoväli		
	Rehu Virtsat	Veden käytön minimoiminen. Juomatavan järjestelyt		
	Lanta	Pesuvesien pois johtaminen		
	Hengitys	Pintojen kuivaaminen, kuivattaminen lämmityksellä		
	Pesu	Ilmanvaihdon määrän lisääminen Ilman kuivaaminen kuivureilla		
Ammoniakki, NH₃	Lanta (kuiva-aineen hajoaminen)	Kuivikkeeseen sitominen	MMM RMOC2.2: 10 ppm (siipikarja 25 ppm)	Silmä- ja hengitystieoireet, sairastumiset pitkässä altistumisessa
	Virtsat (urea)	Kuivikkeen laatu, C/N suhde Lannanpoiston järjestäminen - lantakourun ala, lantapinnan ala - lannanpoiston aika, säilytysaika - virtsan erottaminen lannasta Ruokinta - lannan pH-arvoon vaikuttaminen - rehun valkuainen, ei valkuaisyliruokintaa Lannan lämpötila - lannan jäädyttäminen - ilman/ympäristön lämpötilan hallinta Ilmanvaihdon keinot vaikuttaa: - ilmanvaihdon määrän lisääminen - ei ilmanvaihtoa/huuhdeltua lantaisilta pinnoilta; aina puhtaalta alueelta likaiselle päin - kohdepoisto lantakanavasta tai läheltä ammoniakkiähdettä Kohdepoisto- ja puhdistuslaitteet, ammoniakkipesurit	HTP 8h: 20 ppm	Vaikutus työntekijään Jo alle HTP-tasolla ärsytysvaikutuksia, yli 50 ppm pitoisuudella voimakasta ärsytystä Yhteisvaikutukset pölyn kanssa alentavat hengityselinten ärsytyskynnystä
Hiilidioksidi, CO₂	Hengitys, syrjäyttää hapen ja huonontaa ilman laatua sitä kautta	Ilmanvaihdon lisääminen	MMM RMOC2.2: 3000 ppm	Ei määräysten/ohjeiden pitoisuuksilla havaittua tuottavuusmuutosvaikutusta
		Kohdepoistot	HTP 8h: 5000 ppm	Vaikutus työntekijään Ei välitöntä vaaraa alle 10000 ppm:n pitoisuuksissa
Rikkivety, H₂S	Lietelannasta	Ilmanvaihdon lisääminen	MMM RMOC2.2: 0,5 ppm	Vastaava välitön hengenvaara korkeilla pitoisuuksilla kuin työntekijöillä.
		Kohdepoistot Lietelantajärjestelmän vesilukot	HTP 8h: 5 ppm	Vaikutus työntekijään 10-20 ppm silmän ärsytysoireita, 50-100 ppm kyynelvuotoa ja näön sumenemista, >700 ppm välitön hengenvaara

3. Ilmanvaihdon suunnitteluperusteet ja suunnittelun prosessi

3.2.3 Eläinten lämmön ja kosteuden tuotto eri olosuhteissa

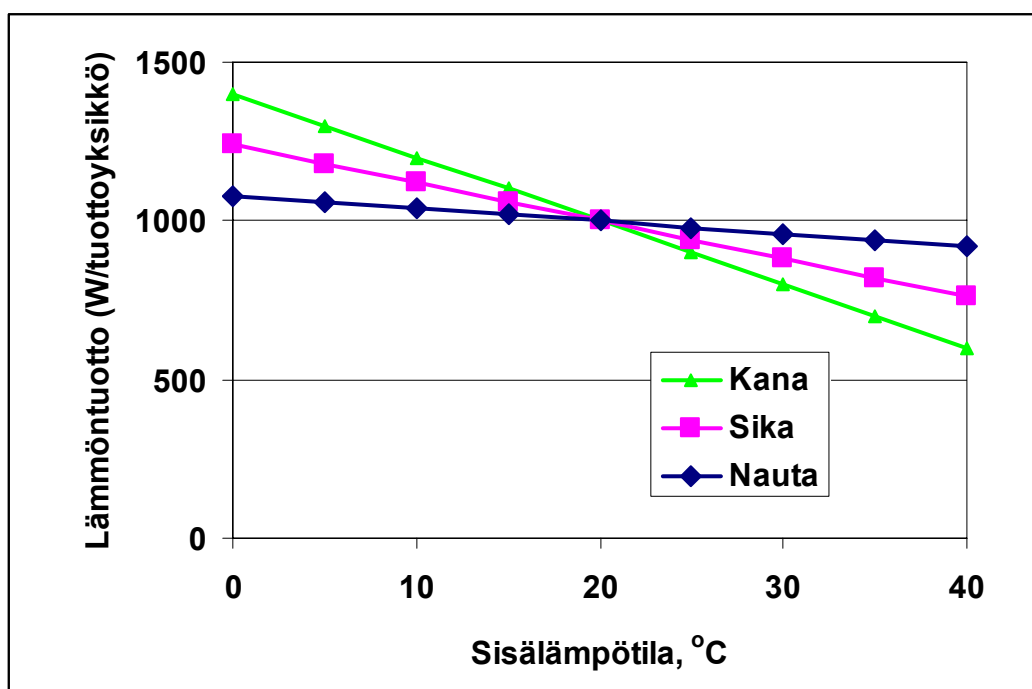
Ilmanvaihdon ja lämmitystarpeen laskennan lähtökohtana on eläimen aineenvaihdunnan tuottama lämpö. Eri eläinryhmien kokonaislämmöntuoton määrälle on olemassa taulukoita ja kaavoja, joista täydellisin lienee kansainvälisen CIGR-järjestön kaavakokoelma (CIGR 2002). Kokonaislämmöntuotto riippuu muun muassa eläimen painosta, tuotosta (maito, liha, munat, tiineys) ja rehun laadusta. Lämmöntuotto on tapana ilmoittaa kilowatin suuruisina lämmöntuottoyksikköinä kuten taulukossa 8. Esimerkiksi 25 kg painava pikkuporsas tuottaa 0,11 lämmöntuottoyksikköä eli 110 W lämpöä 20 °C:n lämpötilassa. Tämä on eläimen kokonaislämmöntuotto, joka sisältää myös eläimestä haihtuvan kosteuden mukana tulevan lämmön.

Taulukko 8. Esimerkkejä eläinten lämmöntuotosta ja suositeltavista lämpötiloista (Poulsen & Pedersen 2005). Yksi lämmöntuottoyksikkö vastaa 1 000 W:n lämmöntuottoa 20 °C:n lämpötilassa.

	Paino, kg	Lämmöntuotto
Vasikka 0–6 kk	50	0,12
	75	0,18
	100	0,23
Lihakarja 6–15 kk	200	0,42
	300	0,58
	400	0,72
	500	0,86
Nuorkarja 6–24 kk	200	0,37
	300	0,52
	400	0,65
Hieho ja ummessa oleva lehmä (1 kk ennen vasikointia)	400	0,72
	500	0,80
	600	0,88
Lypsylehmä, 20 kg 4 % maitoa päivässä, 3 kk tiineysaika	400	1,08
	500	1,16
	600	1,24
Pikkuporsas	5	0,04
	15	0,11
	25	0,08
Lihotussika, 700 g/päivä	40	0,14
	60	0,18
	80	0,21
	100	0,22
Lihotussika, 1 000 g/päivä	40	0,17
	60	0,21
	80	0,24
	100	0,25
Kantava emakko ja karju	175	0,30
Imettävä emakko	175	0,44
Broileri	0,5	0,007
	1,0	0,010
	1,5	0,012
Kana	2,5	0,013
Kilpahevonen	500	0,65
Työhevonen	800	0,96
Lammas	20	0,06
	40	0,11
	60	0,12
	80	0,15

3. Ilmanvaihdon suunnitteluperusteet ja suunnittelun prosessi

Edellä mainitut lämmöntuotot pätevät, kun ympäristön lämpötila on 20 °C. Lämpötilan laskiessa lämmöntuotto kasvaa, koska eläin pyrkii pitämään ruumiinlämpönsä entisellään. Pienten eläinten ihon pinta-ala on suhteessa suurempi, ja siksi ne ovat herkkiä ympäristön lämpötilan vaihtelulle (kuva 16). Aikaisemmat, 1980-luvulla käyttöön otetut (CIGR 1999, Tuunanen & Karhunen 1984) lämmöntuoton lämpötilariippuvuudet olivat samanlaisia kaikille eläimille ja perustuivat alemman ja ylemmän kriittisen lämpötilan käsitteeseen. Nämä on nykyään hylätty ja korvattu kuvan 16 kaltaisilla eläinkohtaisilla arvoilla.

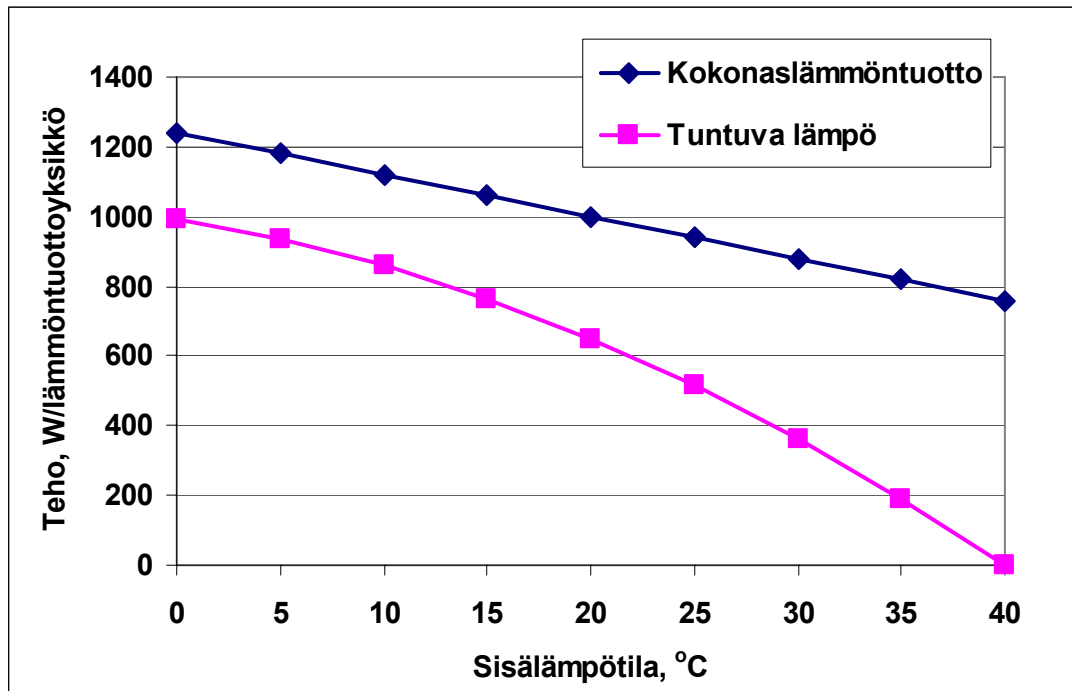


Kuva 16. Kun lämpötila muuttuu, pienen eläimen lämmöntuotto muuttuu enemmän kuin suuren.. Kuva perustuu CIGR-kaavoihin (CIGR 2002).

Eläimen kokonaislämmöntuotosta voidaan suoraan laskea eläimen hiilidioksidin tuotto, joka on eräs ilmanvaihdon määrää mitoittava tekijä. CIGR suosittelee kaavaa, jossa hiilidioksidin tuotto on 0,185 m³/h tuhannen watin kokonaislämmöntuottoa kohti (CIGR 2002). Hiilidioksidin tuotto riippuu muun muassa eläintyypistä ja ruokinnasta, ja sen lukuarvo on vuosien mittaan kasvanut tuotannon tehostuksessa. Tulevaisuudessa lukuarvo voi nousta arvoon 0,2 m³/h (Pedersen 2005).

Eläinsuojan ilmaan tuleva kosteus on tärkeä ilmanvaihtoa ja myös lämmöntarvetta mitoittava tekijä. Sen arvioiminen oikein on vaativa tehtävä ja edellyttää eläinten ja tuotanto-olosuhteiden tarkkaa tuntemista. Ilmaan tulee kosteutta ensi sijassa eläinten hengityksestä, iholta ja virtsasta. Kuva 17 esittää tähän kuluvaan osuutta kokonaislämmöntuotosta. Rakennuksessa kosteutta haihtuu myös juomasta, rehusta ja märiltä lattiapinnoilta. Sen haihuttamiseen tarvittava energia tulee pääosin eläimen lämmöntuotosta. Esimerkiksi litran vesimäärän haihuttamiseen tunnissa tarvitaan 695 watin teho. Siten eläimen lämmöntuotosta vain osa jää hyödynnettäväksi rakennuksen lämmittämisessä.

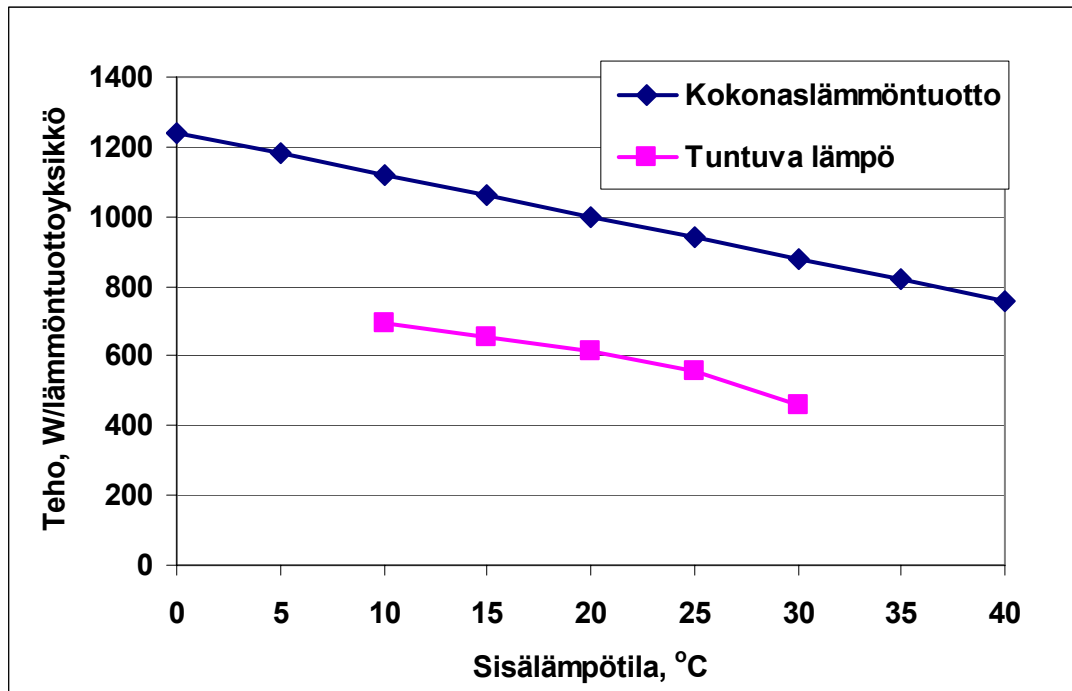
3. Ilmanvaihdon suunnitteluperusteet ja suunnittelun prosessi



Kuva 17. Eläimen kokonaislämmöntuotto ja tuntevan (*sensible*) lämmön osuus siitä. Käyrien ero on kosteudentuoton lämpö (latentti lämpö, 100 W:n teho vastaa kosteustuottoa 144 g tunnissa). Kuva koskee pelkkää eläintä; rakennuksessa kosteudentuoton osuus on usein tässä esitettyä suurempi. Kuva perustuu CIGR:n kaavaan *General*, joka koskee eläimiä sekä tuotanto-oloja, joista ei ole tarkempia tietoja.

CIGR (2002) antaa eri eläinlajeille ja eri tuotantotavoille kaavoja, joilla voidaan laskea kokonaislämmöntuoton jakautuminen kuivaan (eläinsuojan ilmaa lämmittävään) ja latenttiin lämpöön. Lämmön tuoton jakautumisen kaavat perustuvat laajaan kansainväliseen tutkimusaineistoon, mutta siitä huolimatta käytännössä voi ilmetä suuriakin poikkeamia kaavoista lähinnä tuotanto-olojen erilaisuuden takia. Kuvassa 18 on esimerkki lihotussikalasta.

3. Ilmanvaihdon suunnitteluperusteet ja suunnittelun prosessi



Kuva 18. Esimerkki eläimen kokonaislämmöntuotosta ja eläinsuojan ilmaan tulevasta tuntuvastä lämmöstä eri sisälämpötiloissa. Käyrien ero kattaa kostean lämmöntuoton (100 W:n teho vastaa kosteustuottoa 144 g tunnissa). Kuva koskee lihotussikalaa, jossa on osittainen ritilälattia.

Toinen esimerkki siitä, miten kosteudentuotto riippuu tuotanto-olosuhteista, koskee lattiakanaloita. Niissä kosteutta tulee ilmaan keskimäärin 36 % enemmän kuin häkkikanaloissa. Tämä johtaa siihen, että häkkikanaloissa ilmaan tulee keskimäärin 22 % enemmän kuivaa lämpöä kuin lattiakanaloissa. Nämä tiedot perustuvat CIGR-kaavoihin 20 °C:n lämpötilassa.

3.2.4 Ilmavirran mitoitus

Rakennuksen tai rakennuksen osan ilmavirran mitoitus tehdään lämmönpoiston, kosteudenpoiston tai epäpuhtauksien poiston tarpeen perusteella. Mitoituslaskelmat tehdään kuvan 19 kaavojen perusteella.

3. Ilmanvaihdon suunnitteluperusteet ja suunnittelun prosessi

Ilmavirta		
• Kosteudenpoiston perusteella	$q_v = \frac{F}{\rho(x_s - x_u)}$	F=kosteudentuotto (kg/h) x _s =sisäilman kosteus x _u =ulkoilman kosteus
• Hiilidioksidin poiston perusteella	$q_v = \frac{K}{c_{\text{tavoite}} - c_o}$	K=hiilidioksidin tuotto, m ³ /h c=tavoitepitoisuus, ppm c _o =ulkoilman pitoisuus, 400 ppm
• Muut kaasut analogisia edellisen kaavan kanssa		
• Lämmönpoiston perusteella	$q_v = \frac{Q_s}{\rho \cdot c_p (t_s - t_u)}$	Q _s =eläimen lämmönluovutus, tuntuva t _s =ylin tavoitelämpötila t _u =ulkolämpötila mitoitustilanteessa c _p = ilman ominaislämpökapasiteetti

Kuva 19. Ilmavirtamitoituksen kaavat.

3.2.4.1 Maksimi-ilmavirran mitoituksen perusteet

Ilmanvaihdon tehtävänä on myös poistaa eläinsuojassa kehittyvä lämpö. Ulkolämpötilan ollessa korkea, kuten kesällä, siihen tarvitaan suurempi ilmavirta kuin kosteuden ja epäpuhtauksien poistoon. Siten kesän ilmavirta on ilmanvaihtojärjestelmän maksimi-ilmavirta, jonka perusteella ilmanvaihtolaitteiden koko ja paljolti myös investointikustannukset määräytyvät.

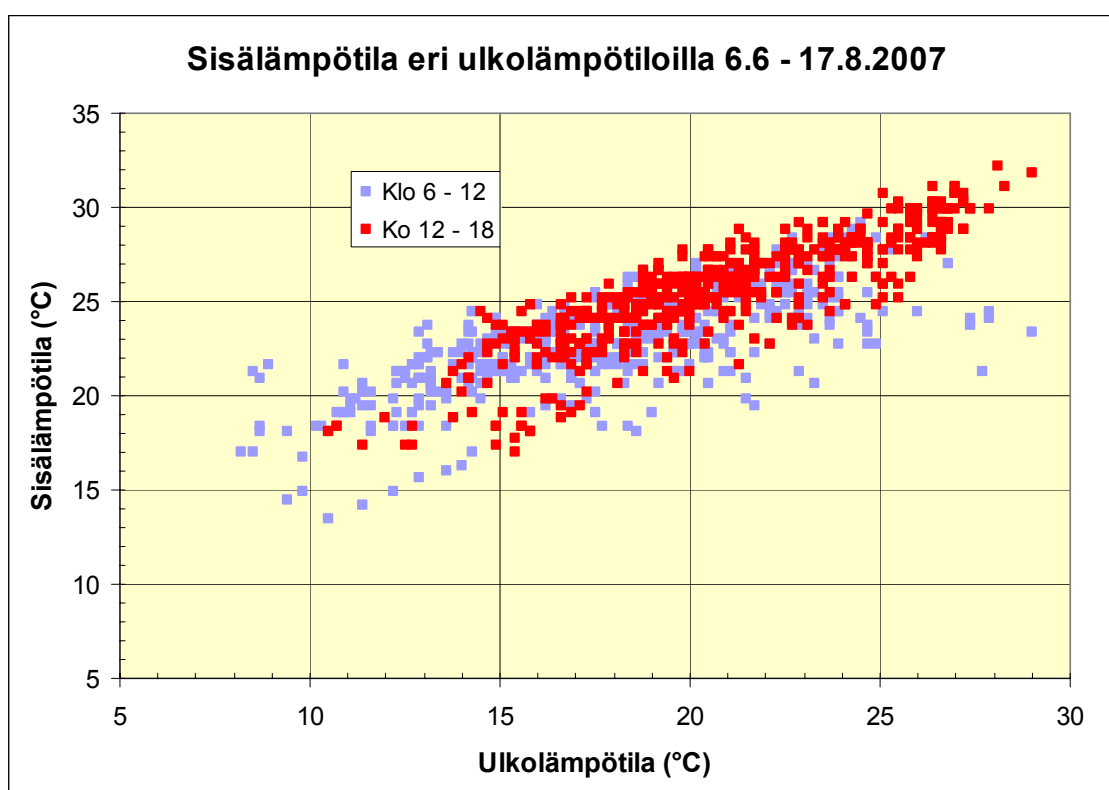
Mitoituksen lähtökohtana on, että sisälämpötila on korkeintaan 5 °C ulkolämpötilaa korkeampi silloin, kun ulkolämpötila on 20 °C. Tätä parempi ilmanvaihdon taso perustuu 4, 3 tai 2 °C:n lämpötilaeroon. Ilmavirran perusteella määräytyvä ilmanvaihtolaitteiden (kanavistot, puhaltimet) koko on silloin vastaavasti 25 %, 67 % tai 150 % suurempi kuin 5 °C:n lämpötilaerolla.

Eläin tuottaa kuvan 17 mukaan noin 500 W tuntuvaa lämpöä lämmöntuottoyksikköä kohti 25 °C:n lämpötilassa. Tämän tehon poistamiseen tarvitaan 5 °C:n lämpötilaerolla ilmavirta 300 m³ tunnissa. Eri maiden standardeissa ja suosituksissa on taulukoitu maksimi-ilmavirtoja eri eläinlajeille. Nämä ovat yleensä hieman suurempia kuin 5 °C:n yllämpötila edellyttäisi. Suomalaisissa ilmanvaihdon ohjearvoissa (MMM-RMO C2.2) maksimi-ilmavirta vastaa eläinlajista riippuen lämpötilaeroa 3,5–4,5 °C, kun lämmöntuotto lasketaan Tuunasen ja Karhusen raportin mukaan (1984). Saksalainen standardi DIN 18910 käyttää sikaloille lämpötilaeroa 2 tai 3 °C riippuen ulkolämpötilavyöhykkeestä.

Esimerkki lihasikalan kesän aikaista lämpötiloista

Lihasicalan (kuvaus luvussa 5.8) mittaustulokset esittävät, mitä tapahtuu, kun ulkolämpötila on korkeampi kuin 20 °C ja mitoitus on perustunut ulkolämpötilaan 20 °C (kuva 20). Tulokset osoittavat, että 20 °C:n ulkolämpötilalla sisälämpötila on keskimäärin 25 °C, vaihdellen hetkellisesti välillä 20–28 °C. Lihasialle asetettu ylempi kriittinen lämpötila 27 °C ylittyy näiden mittausten mukaan keskimäärin ulkolämpötilalla 23,6 °C. Tällöin ulko- ja sisälämpötilan ero on keskimäärin 3,4 astetta eli hieman pienempi kuin ulkolämpötilassa 20 °C. Ero sisä- ja ulkolämpötilan välillä siis pienenee ulkolämpötilan

nousteissa, ilmeisesti sisätilan lämpökapasiteetin ansiosta. Tämä on selvästi nähtävissä, kun verrataan aamupäivän ja iltapäivän mittaustuloksia. Aamupäivällä sisälämpötila oli keskimäärin alhaisempi kuin iltapäivällä, vaikka ulkolämpötila olisi ollut sama. Lämpötilaero (lämpökuormien aiheuttama lämpötilan nousu eli sisälämpötilan ja ulkolämpötilan erotus) pienenee hieman sisälämpötilan noustessa myös sen takia, että tuntuva lämmön tuotto pienenee sisälämpötilan noustessa (kuva 17). Sen vaikutus ei kuitenkaan ole kovin suuri.

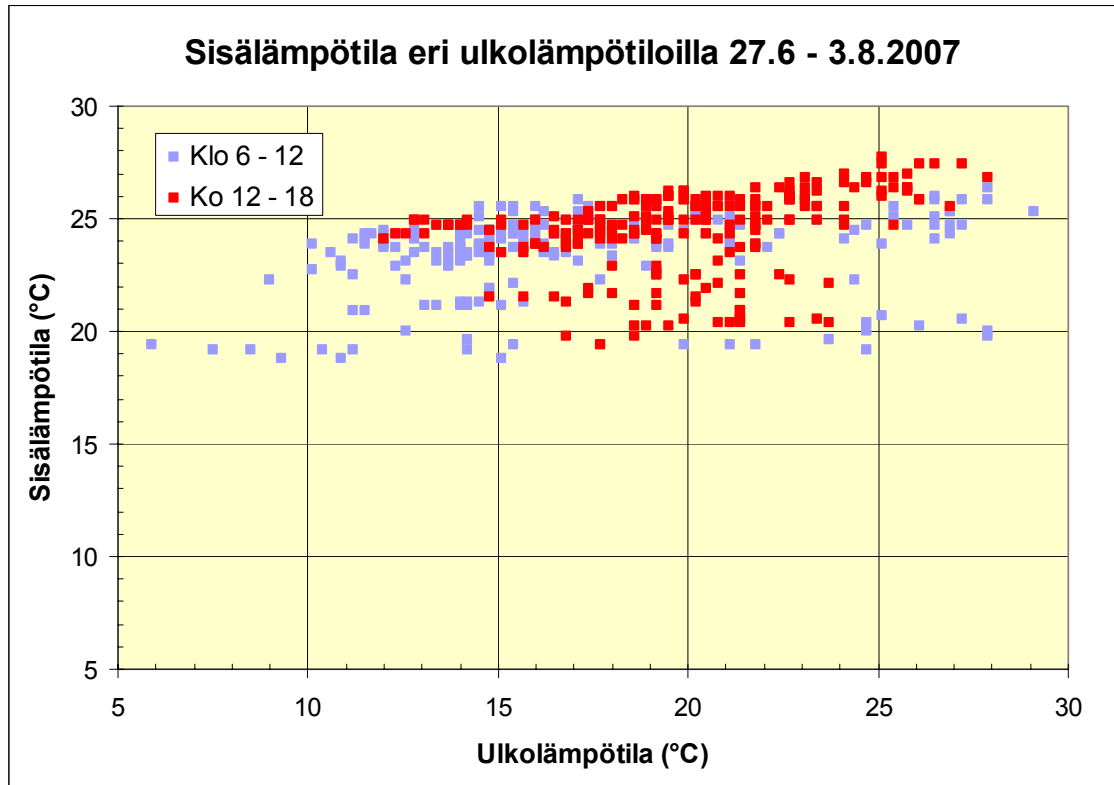


Kuva 20. Sisälämpötila lihasikalassa kesällä. Koneellisen ilmanvaihdon mitattu maksimi-ilmavirta oli 64 % MMM-RMO C2.2:n ohjeavosta. Sikalassa pidettiin kesällä ikkunoita ja ovia auki. Kuivikkeena oli kutterinpurua.

Esimerkki porsitussikalan kesän aikaisista lämpötiloista

Porsitussikalan (kuvaus luvussa 5.9) tilannetta esittävässä kuvassa 21 lämpötilaero on 5 °C, kun ulkolämpötila on 20 °C. Ulkolämpötilalla 25 °C lämpötilaero on vain noin 2 °C, eli lämpötilaero pienenee selvästi ulkolämpötilan noustessa. Ilmeisesti rakennuksen jäähdyttävä massa tulee tässä sikalassa hyväksikäytetyksi, koska ilma tulee sikalaan alapohjan kautta.

3. Ilmanvaihdon suunnitteluperusteet ja suunnittelun prosessi



Kuva 21. Sisälämpötila porsitussikalassa kesätilanteessa. Koneellisen ilmanvaihdon mitattu maksimiilmavirta oli 122 % MMM-RMO C2.2:n ohjeavosta. Ilma tulee sikalaan alapohjan kautta.

Kesäaikana tarvittavan jäähdytysilmavirran mitoitus määrittää eläinsuojan ilmanvaihtolaitteiden koon ja laitteista aiheutuvat investointikustannukset. Jos mitoitus perustetaan 20 °C:n ulkolämpötilalle, ei järjestelmän toimivuus korkeammilla ulkolämpötiloilla ole täysin taattu. Mitoitus perustuu oletukseen, että ulkolämpötila on aina 5 °C alhaisempi kuin sisälämpötila. Ulkolämpötila voi kuitenkin toisinaan nousta yli 20 °C:n. Eläimen lämmöntuoton pieneneminen sisälämpötilan noustessa vähentää hieman poistettavan lämmön määrää ja ilmavirran tarvetta, mutta rakennuksen massalla ja sen hyväksikäytöllä eläinsuojan ilman jäähdytyksessä on silti suurempi merkitys.

3.2.4.2 Minimi-ilmavirran mitoituksen perusteet

Maatalouden kotieläinrakennusten ilmanvaihtojärjestelmien mitoittaminen poikkeaa monessa suhteessa teollisuuden ratkaisuksista. Minimi- ja maksimi ilmamäärien ero voi olla jopa 25-kertainen. Esimerkiksi kertatäytteisessä lihasikalassa porsaas tulevat sisään noin 25-kiloisina ja lähtevät teurastamolle elopainoltaan yli satakiloisina, jolloin ilmanvaihto porsasta kohti voi talvella olla noin 5 m³/h. Kesähelteellä ilmanvaihtotarve on puolestaan yli 100 m³/h.

Ilmanvaihdon mitoitus tehdään maksimieläinmäärään perustuen. Järjestelmä voidaan silti suunnitella niin, että se voi tarvittaessa huolehtia myös pienemmän eläinmäärän ilmanvaihdosta. Nautakarjarakennuksissa eläinpaikat ovat harvoin täynnä heti rakennusta käyttöönotettaessa. Sikalassa taas eläinten

3. Ilmanvaihdon suunnitteluperusteet ja suunnittelun prosessi

koko ja määrä muuttuvat koko ajan. Tämän vuoksi on arvioitava pienin eläinmäärä, joka rakennuksessa tulee olemaan. Minimi-ilmanvaihto on tärkeä rakennukseen sopivien ilmanvaihtolaitteiden ja niiden säätöjärjestelmien valintaan vaikuttava asia. Liian suuri minimi-ilmanvaihto lisää rakennuksen lämmityskustannuksia merkittävästi. Esimerkiksi siipikarjarakennusten energiankulutus muodostuu pääosin ilmanvaihdon lämpöhäviöistä, joten tarpeetonta ilmanvaihtoa tulisi välttää.

Yhden ilmakuution lämmittämiseen tarvittava teho on noin 0,345 W/K/(m³/h). Näin ollen 1 000 m³:n ylimääräinen ilmanvaihto tunnissa merkitsee 20 °C:n pakkasella noin 13,8 kW:n ja vuorokaudessa 331 kWh:n lisäkulutusta, kun sisäilma on +20-asteista. Energian hinnalla 0,06 €/kWh laskettuna tämä merkitsee yli 20 euron lisäkustannusta vuorokaudessa. Toisaalta jos ilmanvaihtojärjestelmällä ei pystytä poistamaan kesäaikana eläinten tuottamaa lämpöä, eläimet kärsivät lämpöstressistä, jolloin niiden kasvu hidastuu ja stressi altistaa siipikarjaa erilaisille taudeille. Menetykset näkyvät muun muassa lintujen kohonneena kuolleisuusprosenttina.

Tarvittaviin ilmanvaihtomääriin vaikuttavat monet eri tekijät, jotka voidaan ottaa huomioon tietokone-laskureissa. Yksi tärkeimpiä asioita on tavoiteltava hiilidioksiditaso, jonka maa- ja metsätalousministeriön ohjeiden mukaan tulisi olla alle 3 000 cm³/m³. Toinen tärkeä asia on huonetilan suhteellinen kosteuspitoisuus, jonka tulisi olla 50–80 % riippuen sisäilman lämpötilasta. Kesäaikana määrävänä tekijänä on sisäilman lämpötila.

Lämpimänä aikana sisäilma pidetään halutun lämpöisenä maksimi-ilmanvaihdolla. Laskennassa käytetään yleensä 3–4 °C:n lämpötilaeroa. Lypsykarjarakennuksissa lypsävien lehmien määrä tavallisesti kasvaa vuosien myötä. Sikaloissa taas eläinten painot ja määrät muuttuvat. Vain harvoissa kotieläinrakennuksissa laitteet on valittu siten, että tavoiteltuun lämpötilaeroon päästään kaikissa tuotantotaksoissa.

Taulukon 9 laskelmat on tehty TTS:n ilmanvaihto- ja energiantarvelaskentatyökalun avulla. Lasketut ilmamäärän arvot esitetään kahtena lukuna, esim. minimi-ilmamäärä 125 kg:n lihotussioilla on 16–20 m³/h. Ensimmäisen luvun perustana on käytetty hiilidioksidin raja-arvoa 3 500 ppm ja toisen luvun perustana 3 000 ppm. Taulukosta huomataan, että tuotantoneuvonta suosittelee hieman korkeampia arvoja kuin MMM-RMO C2.2 -ohje. Päivitettyjä ohje-arvoja löytyy muun muassa www.farmit.net-sivustolta, joka pohjautuu AtriaSika-tuotanto-ohjelmaan. Sivustolla todetaan, että suositeltava ilman lämpötila riippuu myös kuivikkeiden käyttöasteesta, vedosta, kosteudesta ja lattiamateriaalista.

3. Ilmanvaihdon suunnitteluperusteet ja suunnittelun prosessi

Taulukko 9. Sikalan huoneilman lämpötilasuositukset maa- ja metsätalousministeriön ja tuotantoneuvonnan mukaan. Ilmanvaihdon minimi- ja maksimi-ilmavirrat MMM:n ohjeiden ja laskennan perusteella.

	MMM ohje	Neuvonta suosittelee	MMM ohje, minimi	Laskennallinen, minimi	MMM ohje, maksimi	Laskennallinen, maksimi
	°C	°C	m ³ /h	m ³ /h	m ³ /h	m ³ /h
Emakko, porsitusosasto	18	18–20	35	45–60	250	340
Emakko, joutilasosasto	12	17–18	20	15–20	150	150–180
Emakko, tiineytys	12	19–20	20	15–20	150	150–180
Porsas, 10 kg	22	24	3	4	30	30–50
Porsas, 20 kg	20	22	5	6	30	40–60
Porsas, 30 kg	18	20	10	8	40	50–70
Lihotussika, 25..30 kg	20	22	7	8	30	50–70
Lihotussika, 50 kg	16	18	10	9–12	60	70–90
Lihotussika, 75 kg	16	18	12	12–15	70	80–120
Lihotussika, 100 kg	16	18	14	14–17	90	100–150
Lihotussika, 125 kg	16	18	16	16–20	120	110–180

MMM:n ohjeet jäävät kautta linjan hieman alle laskennallisen tarpeen, varsinkin maksimi-ilmamäärän kohdalla. Johtopäätöksenä voidaan todeta, että jos pidetään kiinni 3 000 ppm:n hiilidioksiditasosta, tulisi vaihdettavan ilmamäärän ohjearvoja korottaa. Tuotantoneuvonnan suosittelema ohjearvoja korkeampi kasvatuslämpötila puolestaan tarkoittaa lisääntyvää energiankulutusta.

Hiilidioksidipitoisuus ja energiankulutus sikaloissa

Kaikissa lihantuotantorakennuksissa energiankulutus on huomattava kustannustekijä. Kulutuserot tilojen välillä ovat suuria. Merkittävimmät kulutuskohteet ovat ilmanvaihto, rakennuksen seinä- ja yläpohjarakenteiden lämpöhäviöt, ruokintalaitteet sekä valaistus. Näistä ilmanvaihdolla on ratkaiseva merkitys energiakustannusten muodostumisessa. Tuotantotilojen ilman laatu vaikuttaa eläinten liikkumiseen, syömiseen ja terveyteen kuten tuotantotilan valaistuskin. Jos energialaskua pienennetään tinkimällä optimiolosuhteista, kustannukset siirtyvät muualle: eläinten kasvu hidastuu, kasvatusaika pitenee ja kuolleisuus voi lisääntyä.

Taulukossa 10 on laskettu 240 lihasian osaston ilmanvaihtomäärät erilaisilla hiilidioksidipitoisuuksilla. Energiankulutus on lisäksi jaettu rakenteiden ja ilmanvaihdon kulutuksiin. Lämmityskausi muodostuu sitä pidemmäksi, mitä suuremmat vaatimukset ilmanvaihdolle asetetaan. Tämä tarkoittaa myös sitä, että lämpöä poistuu rakenteiden kautta pidempään. Esimerkkilaskelmassa energiankulutus rakenteiden kautta on keskimäärin 15 % ja ilmanvaihdon kautta 85 %.

3. Ilmanvaihdon suunnitteluperusteet ja suunnittelun prosessi

Taulukko 10. Lihasikalan 240 lihasian osaston ilmanvaihtomäärät ja energiankulutus vuodessa lasketuna sisäilman eri hiilidioksidipitoisuuksilla

Kulutuskohde:	Hiilidioksidipitoisuus CO ₂		
	3 500 ppm	3 000 ppm	2 500 ppm
Rakenteet, kWh	3 359	5 238	7 532
Ilmanvaihto, kWh	12 736	30 187	58 943
Yhteensä, kWh	16 095	35 425	66 475
Sikapaikkaa kohti:			
Rakenteet, kWh	15	20	30
Ilmanvaihto, kWh	55	125	245
Yhteensä, kWh	70	175	275

Taulukosta nähdään, että nykyisin voimassa olevan tuotantotilojen sisäilman hiilidioksiditason (3 000 ppm) mukainen kokonaisenergiankulutus lihasikaosastossa on 35 425 kWh. Mikäli hiilidioksidipitoisuudeksi sallittaisiin 3 500 ppm, pienenesi osaston energiankulutus 16 095 kWh:iin. Vastaavasti sikapaikkaa kohti laskettuna energiankulutus vähenisi 175 kWh:sta 70 kWh:iin. Säästö energian hinnalla 0,08 €/kWh laskien on 8 € sikapaikkaa kohti ja 1920 € 240 lihasian osastoa kohti.

Mikäli sallittaisiin, että hiilidioksidipitoisuus voisi tuotantotiloissa osan aikaa ylittää 3 000 ppm, olisi energiansäästö huomattava. Voitaisiin esimerkiksi määrittää, että hiilidioksidipitoisuus saisi ylittää 3 000 ppm kuukauden ajan vuodessa. Jos hiilidioksidipitoisuus nousee yli 3 500 ppm:n, nousevat tavallisesti myös ilman muut haitallisten aineosien pitoisuudet, muun muassa kosteus- ja ammoniakkipitoisuudet. Näin ei kuitenkaan vielä juuri tapahdu hiilidioksidipitoisuuden ollessa 3 000–3 500 ppm.

Energian kulutus lihasikapaikkaa kohti eri lämpötilavyöhykkeillä

Lämpötilavyöhyke vaikuttaa merkittävästi kotieläinrakennuksen energiankulutukseen. Taulukkoon 11 on merkitty kakkosalueella sijaitsevan lihasikalan sikapaikka kertoimella yksi. Siihen verrattuna esimerkiksi kolmosalueella olevan sikapaikan energiankulutus on yli puolitoistakertainen ja Lapissa, nelosalueella, sikapaikan energiankulutus on jo yli kaksinkertainen. Näin ollen sianlihantuotannon kustannukset kasvavat ratkaisevasti pohjoiseen päin mentäessä. Tilanne on sama, kun verrataan Suomen ja Keski-Euroopan sianlihantuotantoa keskenään.

Taulukosta näkee myös, että lihasikapaikan energiankulutus riippuu suuresti sisäilman tavoiteltavasta hiilidioksidipitoisuudesta. Mikäli sikalan sisäilmalle sallittaisiin 3 500 ppm:n hiilidioksidipitoisuus, olisi sikapaikan energiankulutus 40 % tavoitteena olevan hiilidioksidipitoisuuden (3 000 ppm) energiankulutuksesta.

3. Ilmanvaihdon suunnitteluperusteet ja suunnittelun prosessi

Taulukko 11. Lämpötila-alueen ja hiilidioksidipitoisuuden vaikutus lihasikapaikan energiankulutukseen.

		CO ₂		
		3 500 ppm	3 000 ppm	2 500 ppm
Alue	Kerroin	kWh	kWh	kWh
I	0,85	60	150	235
II	1	70	175	275
III	1,6	112	280	440
IV	2,15	150	380	590

Hiilidioksidipitoisuus ja energiankulutus navetoissa

Ilmanvaihdon mitoitukseen vaikuttaa eläinten laji, ikä, paino ja tuotostaso. Jokaisella eläinlajilla on oma optimilämpötila, jossa tuotostaso saavutetaan parhaalla mahdollisella hyötysuhteella ja joka eläimen terveyden kannalta on paras mahdollinen. Tavoiteltavaan ilmanlaatuun vaikuttavia tekijöitä on paljon: esimerkiksi kuivikkeet ja niiden käyttömäärät, lannankäsittely, ruokintamenetelmät sekä ilmanvaihdon jako- ja poistotavat. Lisälämmönlähteet mahdollistavat riittävän ilmanvaihdon kylminäkin vuodenaikoina. Lämpimässä navetassa tarvitaan aina lisälämpöä, jos lämpötilan ei haluta laskevan kovimman pakkasen aikana.

Taulukosta 12 nähdään, että nostamalla sisäilman hiilidioksidipitoisuutta 3 000 ppm:sta 3 500 ppm:ään ulkolämpötilan tasapainolämpötila (lämpötila, jossa eläinten lämmöntuotto riittää sisälämpötilan ylläpitämiseen) laskee. Näin ollen lisälämpöä aletaan tarvita -13 °C :n sijaan vasta $-16,5\text{ °C}$:n jälkeen, ja näin energiaa säästyy. Lämpöenergian tarve 3 000 ppm:n hiilidioksiditasolla on 26 000 kWh vuodessa, kun se 3 500 ppm:n tasolla on 9 700 kWh. Energian hinnalla 0,08 €/kWh laskien 16 300 kWh:n ero merkitsee energiakustannuksissa 1 300 €:a.

Taulukosta 12 nähdään myös, että sisäilman suhteellinen kosteus nousee 80 %:iin, jos hiilidioksidipitoisuus nousee yli 3 500 ppm:n. Tästä voidaan päätellä, että hiilidioksidipitoisuutta ei ole syytä päästää niin korkealle.

Taulukkoon on vastaavasti lihavoitu rakennuksen maksimitehon tarve II vyöhykkeellä. Hiilidioksidipitoisuuden ollessa 3 000 ppm lämmitykseen tarvittava teho on 41 kW. Teho kuitenkin laskee 28 kW:iin, jos hiilidioksidipitoisuus nousee 500 ppm:llä. Jos hiilidioksidipitoisuus nousee edelleen, kosteuspitoisuudesta tulee määräävä tekijä.

Taulukko 12. Lämmitystehon tarve ja lämpöenergian kulutus eri ilmanvaihtomäärillä 48 lehmän pihattossa sekä vastaavat ilman hiilidioksidipitoisuudet.

Sisäilman CO ₂ -pitoisuus	Ulkolämpötila, °C	Ulkoilman suht. kost. %	Sisälämpötila °C	Sisäilman suht. kost. %	Ilmanvaihtomäärä m ³ /h	Tarvittava lämpöenergia kWh	Tarvittava tehontarve kW
3 000	-13	70	10	71	5 800	26 000	
3 500	-16,5	70	10	79	4 800	9700	
4 400	-22	70	10	97	3 700	2000	
3 000	-29	70	10	60	5 800		41
3 500	-29	70	10	72	4 800		28
4 400	-29	70	10	93	3700		13

3.2.5 Jäteilman ulospuhallus, hajut ja ympäristövaikutukset

Rakennusta ympäröivälle alueelle aiheutuvaa hajua ja ympäristöhaittoja arvioitaessa haasteena on hajuhaitan objektiivinen mittaus ja merkittävän viihtyisyyshaitan määrittäminen (Arnold 2002). Viihtyisyyshaitan turvarajana pidetään hollantilaisten tutkimusten mukaan sitä, että 10 % asukkaista kokee hajun häiritseväksi. Merkittävän viihtyisyyshaitan rajana taas pidetään 25–50 %:n asukasosuutta. Kotieläintuotannon hajun haittavaikutuksesta on tehty 3–5 laajahkoa eurooppalaista tutkimusta 1980- ja 1990-luvuilla. Näiden tutkimusten mukaan esiintymistiheys aiheuttaa ympäristön asukkaiden keskuudessa selvää viihtyisyyshaittaa, jos hajukuorman on suuruudeltaan 3–5 %. Vastaavasti turvallisena hajukuorman rajana pidetään 2 %:n esiintymistiheyttä. Haju ei suoranaisesti aiheuta terveyshaittaa. Tutkimukset kuitenkin osoittavat, että sikalan hajulla voi olla merkittävä vaikutus ihmisen mielialaan ja että stressitekijänä se vaikuttaa epäsuorasti ihmisten terveyteen. Suuren hajupitoisuuden eläinsuojan sisällä on myös todettu haittaavan eläinten kasvua ja altistavan niitä sairauksille.

Eläinsuojien poistoilmaa voidaan periaatteessa käsitellä erilaisilla suodattimilla tai pesureilla (Mikola ym. 2002). Menetelmistä on hyvin vähän käyttökokemusta Suomessa, ja kotieläinrakennuksissa käytetty kaasunpuhdistus on melko harvinaista myös muualla. Käytettyjä tekniikoita ovat biosuodatus, biopesu ja otsonointi. Eläintuotantorakennusten poistoilman hajua voidaan merkittävästi vähentää myös pölysuodattimella. Pölynpoisto on yleensä kaasumaisten yhdisteiden poistoon verrattuna teknisesti yksinkertaisempaa ja taloudellisempaa. Puhdistustekniikan valinnassa tulee varmistaa tarjolla olevien laitteiden kapasiteetti, oikea mitoitus ja laitteiden pitkäaikaiskestävyys sekä kyky käsitellä pölypitoista ilmaa.

Suurin osa tutkimuksista, jotka käsittelevät kotieläintuotannon hajua vähentäviä tekniikoita, on kohdistunut sikaloihin. Hajun vähentämistä kanaloissa on tutkittu vähemmän. Navetoiden hajunhallinnasta on hyvin vähän kirjallista tietoa.

4. Ilmanvaihtojärjestelmän valinta ja mitoitus

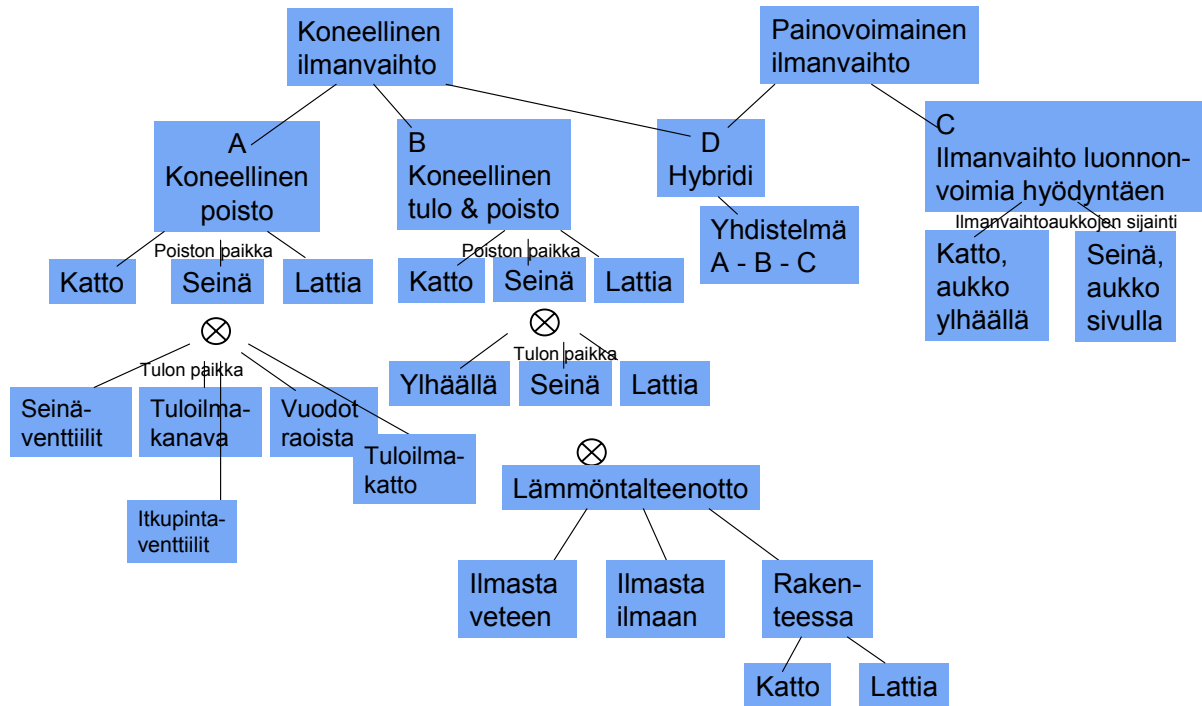
Ilmanvaihto- ja energiajärjestelmän tyyppin ja yksityiskohtien valinta ei ole aina yksinkertainen prosessi (kuva 9). Järjestelmätyyppi vaikuttaa ilmanjaon toteutukseen, lämmitysjärjestelmään, kanavointiin, ilmanjakolaitteisiin sekä säätö- ja ohjausjärjestelmään. Joillakin suunnittelunäkökohdilla on merkittävä vaikutus järjestelmän valintaan. Kylmässä ilmastossa kriittisiä suunnittelunäkökohtia ovat

- tarvittava maksimi-ilmavirta ja maksimi-ilmavirta suhteessa minimi-ilmavirtaan
- ilmanjaon toteutus: ilmanjaon tehokkuus ja ilmavirran maksiminopeus, nopeuden vaihtelulle asetetut vaatimukset ja ilmanvaihtomäärän vaihtelu
- lämpötilan tavoitetaso ja lämmitysjärjestelmävaatimukset, lisälämmön tarve
- vaatimukset säädölle ja säädön tarkkuudelle
- erilaisten profiilien ja asetusarvojen käyttömahdollisuus (esim. erilaiset lämpötilavaatimukset ja säädön tarkkuusvaatimukset kasvatusjakson eri vaiheissa)
- energiankäytön näkökulmat: ilmavirran lämmitystarve ja kannattavan lämmöntalteenoton toteutus.

4.1 Järjestelmätyypit

Ilmanvaihdon toteutustapoja ovat koneellinen poistoilmanvaihto (alipainejärjestelmä), koneellinen tulo-poistoilmanvaihto (tasapainejärjestelmä) ja painovoimainen ilmanvaihto (usein käytetään myös nimitystä *luonnollinen ilmanvaihto*, jolla viitataan luonnolliseen, ei koneelliseen käyttövoimaan). Ns. hybridi-ilmanvaihto hyödyntää painovoimaisen ja koneellisen ilmanvaihdon periaatteita käyttötilanteen mukaan. Painovoimaisesti toimivat verhoseinälypsykarjapihatot (Kivinen ym. 2006, 2007) ovat yleistymässä Suomessakin. Niiden määrä on lisääntynyt meillä nopeasti: vuonna 2005 valmiina oli 15 ja 2009 arviolta 110 toimivaa pihattoa.

Edellä esitetyjä periaatteita voidaan yhdistellä lukuisiksi eri variaatioiksi. Mäittälä & Louhelainen (2006) esittää eri järjestelmätyyppien osuudet Suomessa seuraavasti: 64 % järjestelmistä perustuu koneellisen poistoilmanvaihtoon, 15 % on koneellisen tulo-poistoilmanvaihdon järjestelmiä, 17 % on painovoimaan perustuvia järjestelmiä ja loput ovat em. periaatteiden yhdistelmiä. Kuva 22 esittää järjestelmien pääperiaatteet (Heimonen 2008).



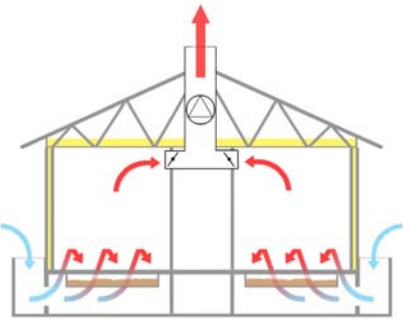
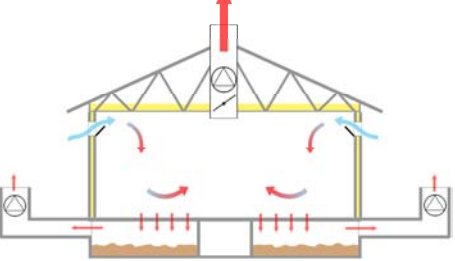
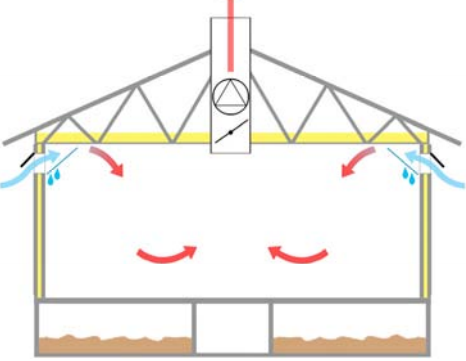
Kuva 22. Ilmanvaihtojärjestelmien toimintaperiaatteiden jaottelu (Heimonen 2008).

4.2 Järjestelmien ominaisuuksia ja valintaperusteita

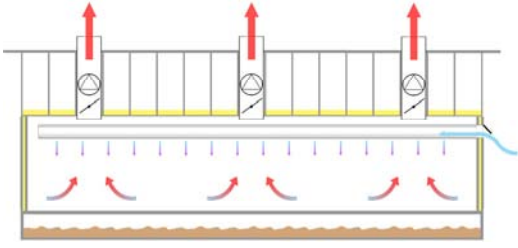
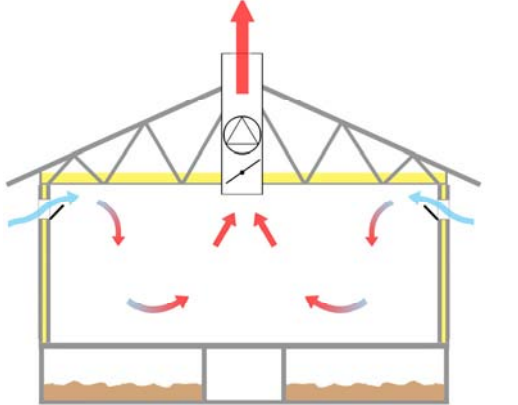
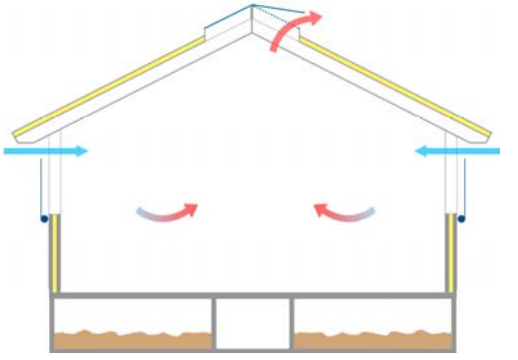
Taulukossa 13 on esitetty tavallisimpia ilmanvaihtojärjestelmien tyyppejä sekä valintaan vaikuttavia tekijöitä. Lisäksi taulukossa on arvioitu niiden soveltuvuutta eri kohteisiin.

4. Ilmanvaihtojärjestelmän valinta ja mitoitus

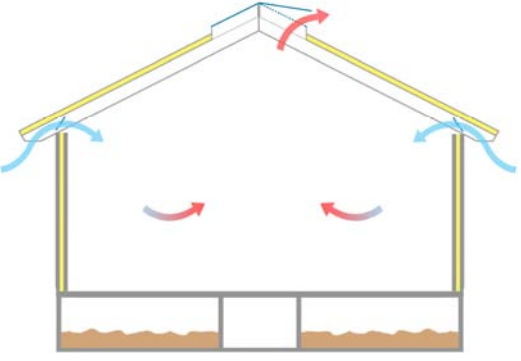
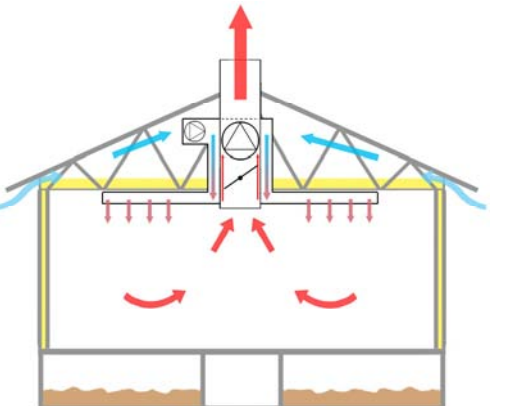
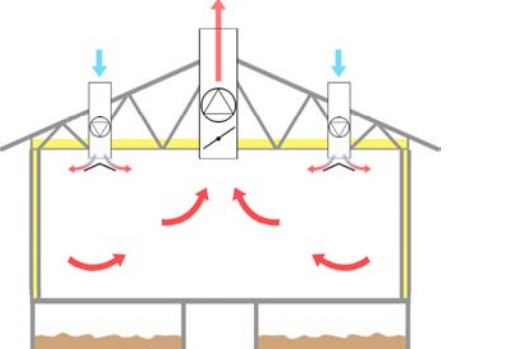
Taulukko 13. Ilmanvaihtojärjestelmien tyyppejä, niiden toimintaperiaatteet, valintaan vaikuttavia tekijöitä sekä soveltuvuus eri kohteisiin. Kuvissa on esitetty ilmanvaihdon periaate; seinä, katto ja alapohjarakenteet voivat poiketa esitetystä.

 <p>(1) Alapuhallus, yläpoisto</p>	<p>Periaate: Tuloilma tuodaan alajakoisesti alapohjan kautta, jossa tuloilmaa tarvittaessa myös lämmitetään. Poisto yläkautta. Ilmavirran säätö poistopuhaltimella ja/tai säätöpelileillä.</p>	<p>Suunnittelunäkökohtia:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Puhdas ilma tuodaan suoraan eläinten vyöhykkeelle. • Ilman lämpötila ja nopeus (yhdistetty vaikutus, veto) eläinvyöhykkeellä on sovittava sopivaksi. • Alapohjarakenteessa otetaan lämpöä talteen lannasta ja alapohjasta/maasta. <p>Soveltuvuus/käyttökohteet:</p> <ul style="list-style-type: none"> • sikalat.
 <p>(2) Seinäpuhallus, ylä- ja alapoisto</p>	<p>Periaate: Tuloilma tuodaan ulkoseiniltä venttiileistä. Poisto ala- ja yläkautta. Alapoiston tavoite on poistaa lantaperäiset epäpuhtaudet alakautta. Ilmavirran säätö poistopuhaltimella ja/tai pelleillä.</p>	<p>Suunnittelunäkökohtia:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Alapoistolla hoidetaan lantaperäiset epäpuhtaudet. • Yläpuolista poistoa tehostamalla hoidetaan ylitilanteissa tarvittavat suuremmat ilmavirrat. <p>Soveltuvuus/käyttökohteet:</p> <ul style="list-style-type: none"> • navetat • sikalat (jos lisälämpö tuloilmaan?).
 <p>(3) Seinätulo, itkupinta, yläpoisto</p>	<p>Periaate: Tuloilma tuodaan ulkoseiniltä venttiileistä, joissa on ns. itkupinta. Poisto yläkautta. Ilmavirran säätö poistopuhaltimella ja/tai pelleillä.</p> <p>[Huom.! Poistokanan pää voidaan tuoda myös alas lähelle oleskeluvyöhykettä.]</p>	<p>Suunnittelunäkökohtia:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Itkupintaventtiilillä poistetaan kosteutta tilasta, ja korvausilma lämpenee samalla venttiilissä. • Jäätymisen estämiseksi tarvitaan mahdollisesti lisälämpöä venttiilin alle. <p>Soveltuvuus/käyttökohteet:</p> <ul style="list-style-type: none"> • navetat • sikalat.

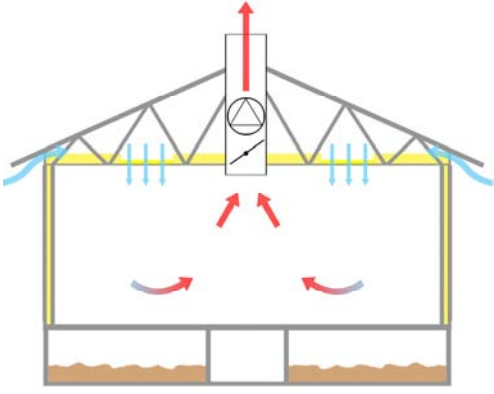

4. Ilmanvaihtojärjestelmän valinta ja mitoitus

 <p>(4) Yläjakoinen tulokanava, kattopoisto</p>	<p>Periaate: Tuloilma tuodaan tulokanavalla tilan eri osiin. Poisto yläkautta. Ilmavirran säätö poistopuhaltimella ja/tai säätöpelleillä.</p>	<p>Suunnittelunäkökohtia:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Tuloilma tuodaan tasaisesti koko tilan pituudelta. • Poistopuhaltimia ja peltejä voidaan säätää ilmavirran tarpeen mukaisesti. • Tulokanava voidaan liittää myös koneellisen tulon järjestelmään, jolloin myös lämmön talteenotto poistoilmasta on mahdollista. <p>Soveltuvuus/käyttökohteet:</p> <ul style="list-style-type: none"> • navetat • sikalat.
 <p>(5) Tuloilma seiniltä, kattopoisto</p>	<p>Periaate: Tuloilma tuodaan ulkoseiniltä venttiileistä. Poisto yläkautta. Ilmavirran säätö poistopuhaltimella ja/tai säätöpelleillä.</p> <p>[Huom.! Poistokanavan pää voidaan tuoda myös alas lähelle oleskeluvyöhykettä.]</p>	<p>Suunnittelunäkökohtia:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Vedon estämiseksi tarvitaan mahdollisesti lisälämpöä venttiilin alle. <p>Soveltuvuus/käyttökohteet:</p> <ul style="list-style-type: none"> • navetat • sikalat.
 <p>(6) Painovoimainen, verhoseinä, yläluukku</p>	<p>Periaate: Tuloilma tuodaan ulkoseiniltä ns. verhoseinän kautta. Poisto ylhäältä luukun kautta. Ilmavirran säätö verhoseinän avausta muuttamalla ja/tai kattoluukun avausta muuttamalla.</p>	<p>Suunnittelunäkökohtia:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Verhoseinän ja yläluukun säätö ja ohjaus käyttötilanteen mukaan on suunniteltava (kuten muissakin järjestelmätyypeissä). • Painovoimainen järjestelmä tuottaa erisuuruisen ilmanvaihdon säätötilasta riippuen. • Järjestelmä suunnitellaan toteuttamaan haluttu ilmavirta tietyn ajan vuodesta (esim. 90–95 % ajasta) ja hyväksytään, että haluttuja olosuhteita ei voida toteuttaa 100 % ajasta. (Käytännössä myös muissa järjestelmätyypeissä voidaan mitoitaa siten, että < 1 % ajasta ilmanvaihto ei ole riittävä.) <p>Soveltuvuus/käyttökohteet:</p> <ul style="list-style-type: none"> • navetat.

4. Ilmanvaihtojärjestelmän valinta ja mitoitus

 <p>(7) Painovoimainen, seinäventtiilit, yläluukku</p>	<p>Periaate: Tuloilma tuodaan ulkoseiniltä venttiilien kautta. Poisto ylhäältä luukun kautta. Ilmavirran säätö venttiilin avausta muuttamalla ja/tai kattoluukun avausta muuttamalla.</p>	<p>Suunnittelunäkökohtia:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Venttiilin ja yläluukun säätö ja ohjaus käyttötilanteen mukaan on suunniteltava (kuten muissakin järjestelmätyypeissä). • Painovoimainen järjestelmä tuottaa erilaisen ilmanvaihdon säätötilasta riippuen. • Järjestelmä suunnitellaan toteuttamaan haluttu ilmavirta tietyn ajan vuodesta (esim. 90–95 % ajasta) ja hyväksytään, että haluttuja olosuhteita ei voida toteuttaa 100 % ajasta. <p>Soveltuvuus/käyttökohteet:</p> <ul style="list-style-type: none"> • navetat.
 <p>(8) Tulo-poisto, LTO, tulo alakaton kautta</p>	<p>Periaate: Tuloilma tuodaan alakatosta tulokanavalla tilan eri osiin. Poisto yläkautta. Ilmavirran säätö poistopuhaltimella ja/tai pelleillä. Lämpöä otetaan talteen poistoilmasta tuloilmavirtaan.</p>	<p>Suunnittelunäkökohtia:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Tuloilma tuodaan tuloilmakanavaan alakattotilan kautta, jolloin ilma on jo hieman lämpimämpää kuin ulkoilma. • Poistopuhaltimia ja säätöpeltejä voidaan käyttää ilmavirran tarpeen mukaisesti. • Poistoilmakanava on tuloilmakanavan sisällä, jolloin lämpöä otetaan talteen kanavan seinämän läpi tuloilmaan. • Kesäkäyttötilanteessa lämpöä otetaan talteen, vaikka se ei olisi sikaan tarpeen. Kesäaikainen vaihtoehtoinen tuloilmareitti tehostaa jäädytystä. <p>Soveltuvuus/käyttökohteet:</p> <ul style="list-style-type: none"> • navetat • sikalat.
 <p>(9) Tulo-poisto, molemmat ylhäältä</p>	<p>Periaate: Tuloilma tuodaan tulokanavalla ylhäältä ja poistetaan poistokanavan kautta yläkautta. Ilmavirran säätö poistopuhaltimella ja/tai pelleillä.</p>	<p>Suunnittelunäkökohtia:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Tuloilma tuodaan erillisellä tuloilmakanavalla ylhäältä tilaan. • Poistopuhaltimia ja peltejä voidaan käyttää ilmavirran tarpeen mukaisesti. <p>Soveltuvuus/käyttökohteet:</p> <ul style="list-style-type: none"> • navetat.

4. Ilmanvaihtojärjestelmän valinta ja mitoitus

 <p>(10) Tuloilmakatto, poisto ylhäältä</p>	<p>Periaate: Tuloilma tuodaan alakatosta eristekerroksen läpi tilan eri osiin. Poisto kanavasta yläkautta. Ilmavirran säätö poistopuhaltimella ja/tai pelleillä. Lämpöä otetaan talteen alakattorakenteesta ja eristekerroksesta.</p> <p>[Huom.! Poistokanavan pää voidaan tuoda myös alas lähelle oleskeluvyöhykettä.]</p>	<p>Suunnittelunäkökohtia:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Tuloilma tuodaan alakaton läpi eristekerroksen kautta. • Tuloilmakaton tavoitellaan tasaista ilman jakautumista tilaan. • Tuloilmakaton eristeen mitoitus vaatii paljon asiantuntemusta, jotta ilman oikea jakautuminen varmistetaan (lämpöolot, virtausnopeudet, vedon estäminen). • Ilmavirran kasvaessa voi olla tarpeen järjestää myös muita korvausilmareittejä. • Huollettavuus ja puhdistettavuus on varmistettava, jotta ilmavirta voidaan toteuttaa käyttöajan ajan. <p>Soveltuvuus/käyttökohteet:</p> <ul style="list-style-type: none"> • sikalat.
 <p>(11) Tulo päädyistä, poisto vastakkaisesta päädyistä, tunneli-ilmanvaihto</p>	<p>Periaate: Tuloilma tuodaan rakennuksen päädyistä ulkosäleikön kautta ja poistetaan seinäpuhaluksella vastakkaisesta päädyistä. Ilmavirran säätö poistopuhaltimella ja/tai pelleillä.</p>	<p>Suunnittelunäkökohtia:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ilmanvaihtojärjestelyllä voidaan sijoittaa tilat ilman epäpuhtauden/puhtaustarpeen mukaan, puhtaimmat tilat lähelle tuloilmasäleikköä. <p>Soveltuvuus/käyttökohteet:</p> <ul style="list-style-type: none"> • lehmät.

4.3 Ilmanjaon perusratkaisut

Ilmanvaihdon tehokkuuden kannalta ei riitä, että tilaan toimitetaan tarvittava määrä puhdasta ilmaa. Oleellista on myös, kuinka puhdas tuloilma jaetaan ja epäpuhdas ilma poistetaan. Periaatteena on, että ilman virtaussuunta tilassa on epäpuhtauslähteistä kohti poistoilmalaitteita.

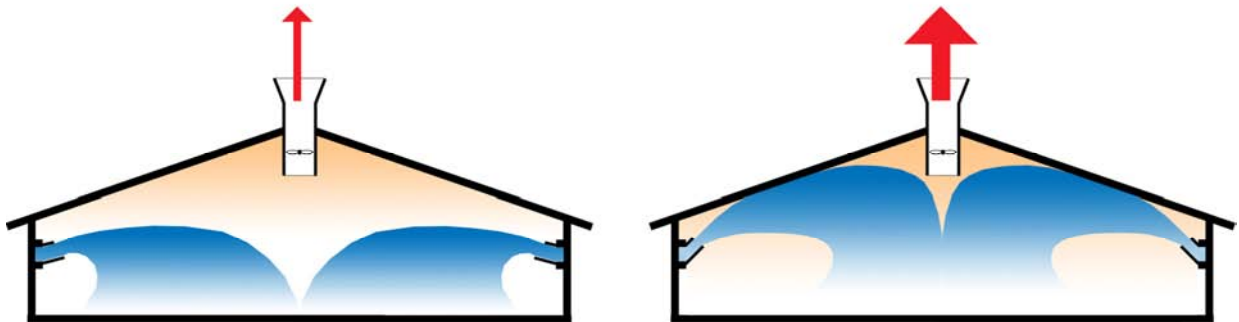
Tuloilman jaossa haasteena on saada raitis ja usein kylmä tuloilma oikeaan paikkaan ilman vedon tunnetta – toisin sanoen riittävän pienellä ilman nopeudella ja sopivan lämpöisenä. Eläimet sietävät vetoa hyvin eri lailla. Pikkuporsaat sietävät vetoa jopa vähemmän kuin ihmiset, ja siksi sikaloiden ilmanvaihtojärjestelmät ja tuloilman jakotavat ovat periaatteessa samalla tavalla kanavoituja kuin teollisuuslaitoksissa. Naudat taas kestävät suuria lämpötilan ja ilman nopeuden vaihteluja, joten navetoissa voidaan käyttää halvempia ja yksinkertaisempia poistoilmavaihtojärjestelmiä.

Myös koneellisessa poistoilmavaihtojärjestelmässä tuloilman jakaminen on haasteellista, koska tuloilma on lähes ulkoilman lämpöistä ja ilmanvaihdon ilmavirta voi vaihdella suuresti. Siksi seuraavas-

4. Ilmanvaihtojärjestelmän valinta ja mitoitus

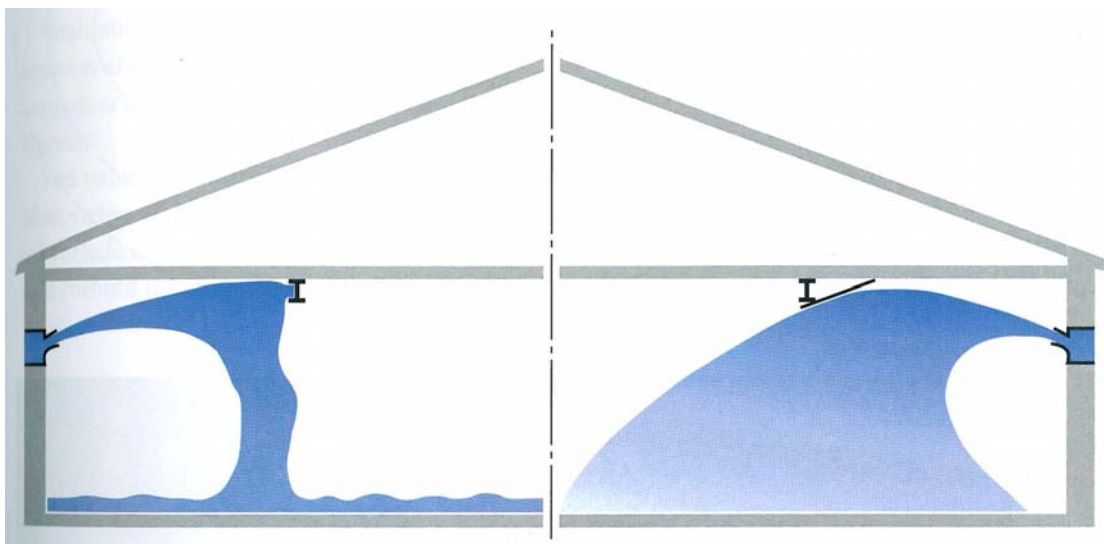
sa on käsitelty seinältä tapahtuvaa ilman puhallusta eri ilmavirroilla ja eri alilämpötiloilla. Alilämpötilalla tarkoitetaan eläinsuojan ja ulkoilman lämpötilojen eroa.

Seinäpuhalluksessa tuloilmasuihku pyritään levittämään laajalle alueelle, jolloin ilmasuihku ehtii lämmitä lähes huonelämpötilaan ja vectoriski on pienempi. Suihku saadaan etenemään pidemmän matkan, jos se saadaan kiinnittymään kattoon kuvan 23 mukaisesti (ns. coanda-efekti).



Kuva 23. Alilämpöinen tuloilmasuihku etenee pidemmälle, jos se kiinnittyy kattopintaan ns. coanda-efektin vaikutuksesta (kuva oikealla) (Poulsen & Pedersen 2005).

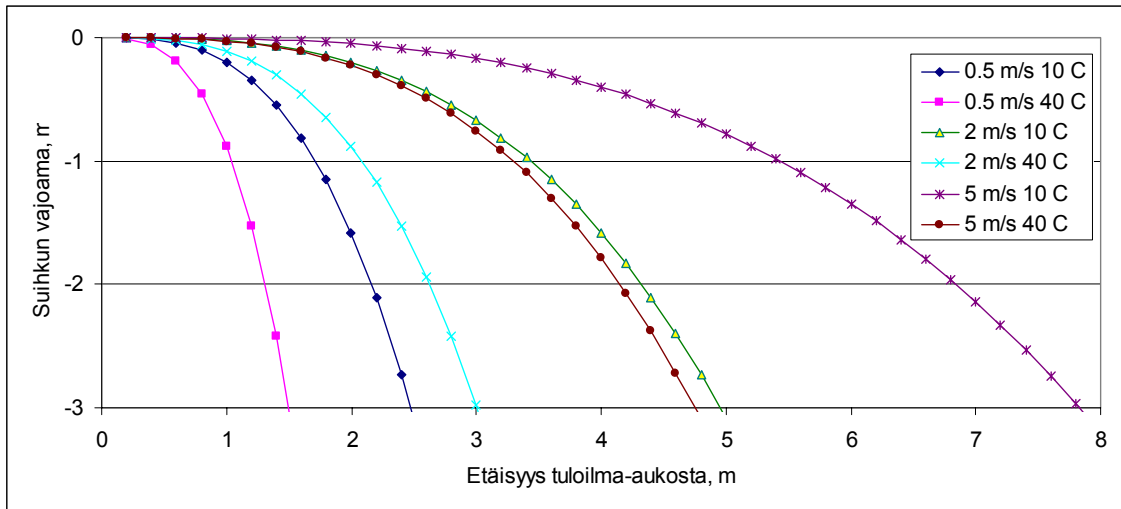
Valaisimet tai muut esteet tuloilmasuihkun tiellä voivat kääntää suihkun liian nopeasti alaspäin, jolloin ilma tulee suurella nopeudella eläinten oleskelualueelle ja voi aiheuttaa vetoa (kuva 24).



Kuva 24. Tavallinen virhe ilmanjaossa on, että virtauseste pudottaa suihkun alas liian varhain ja aiheuttaa vetoa (Poulsen & Pedersen 2005).

Alilämpöinen ilmasuihku kääntyy kohti lattiaa sitä nopeammin mitä pienempi on ilman lähtönopeus ja mitä suurempi on huoneilman ja ulkoilman lämpötilaero. Kuvassa 25 on esimerkki lähtönopeuden ja lämpötilan vaikutuksesta ilmasuihkun lentorataan (ns. ratakäyrät).

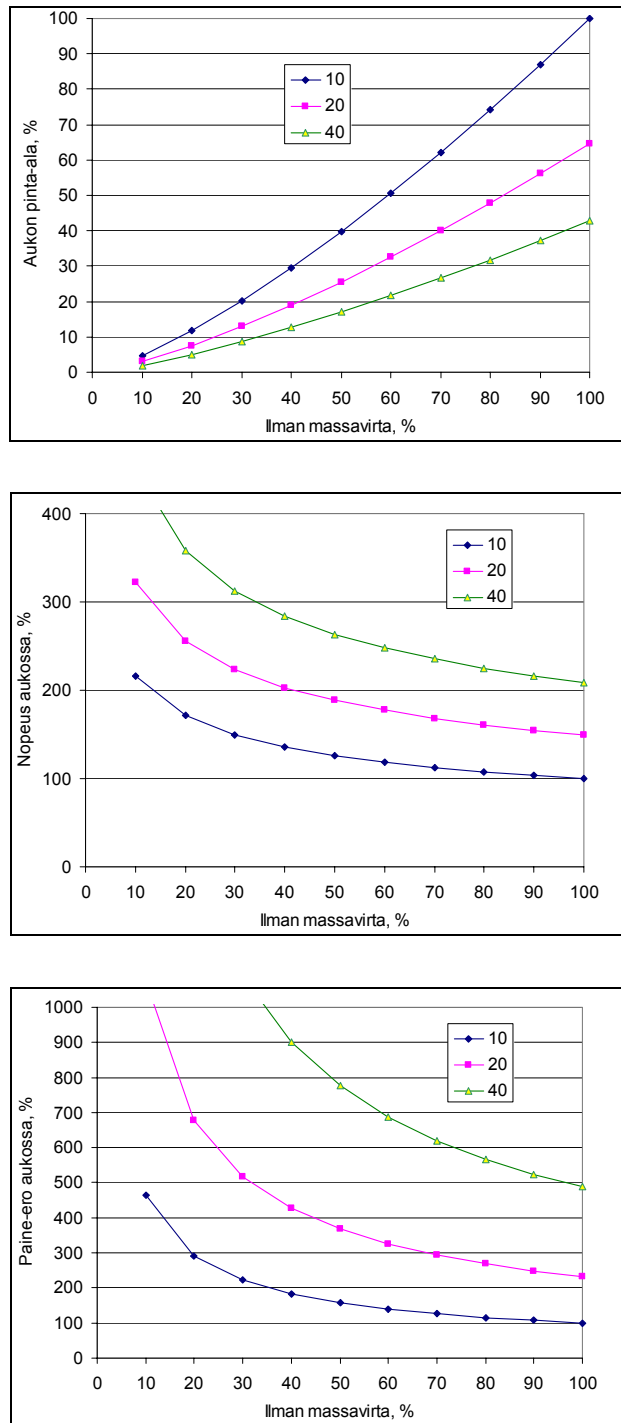
4. Ilmanvaihtojärjestelmän valinta ja mitoitus



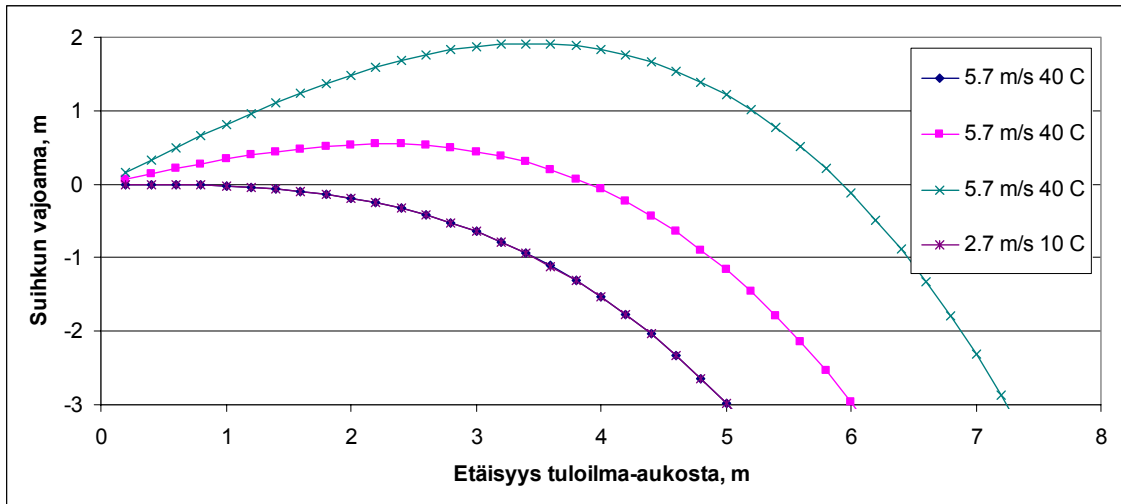
Kuva 25. Vapaan aksiaalisuihkun ratakäyrät ilmavirralla $0,1 \text{ m}^3/\text{s}$ ($360 \text{ m}^3/\text{h}$), kun puhallusnopeus on 0,5, 2 tai 5 m/s ja ilman alilämpötila 10 tai $40 \text{ }^\circ\text{C}$ (sisäilman ja ulkoilman lämpötilaero).

Kun rakennuksen poistoilmavirtaa pienennetään, on samalla syytä pienentää tuloilma-aukkoa, jotta ilmasuihku ei putoaisi pienentyneellä ilmavirralla liian nopeasti oleskelualueelle. Jos pyritään vakioimaan suihkun heittopituus (etäisyys, jolle ilmasuihku kulkeutuu), on tuloilma-aukkoa pienennettävä enemmän kuin ilmavirta pienenee suhteessa alkuperäiseen – etenkin jos tuloilman lämpötila on alhainen (kuva 26). Tämä johtaa siihen, että tuloilman lähtönopeus ja samalla tuloilmaventtiilin painehäviö kasvavat. Painehäviö ei voi kuitenkaan poistoilmavaihtojärjestelmässä olla kovin suuri, enintään noin 30 Pa, koska se on sama kuin rakennuksen ulkovaipan paine-ero. Pienet ilmavirrat ja alhainen ulkolämpötila johtavat käytännössä siihen, että aukkoa ei voida pienentää em. teorian mukaisesti ja tuloilmasuihku putoaa aikaisemmin. Jonkin verran auttaa, jos ulkoilmaventtiili suuntaa ilmasuihkuun viistosti ylöspäin samalla, kun ilmavirta pienenee (kuva 27). Nykyään ulkoilmaventtiilien säätö toimii yleensä tällä tavalla (kuva 28).

4. Ilmanvaihtojärjestelmän valinta ja mitoitus



Kuva 26. Seinäpuhallusventtiilin säätö ilmavirran ja alilämpötilan muuttuessa siten, että suihku vajoaa eri käyttötilanteissa yhtä paljon kuin mitoitusilmavirralla (100 %) ja 10 °C:n alilämpötilalla (koskee aksiaalisuihkua). Esimerkki 1: Ilmavirta pienenee 10 °C:n alilämpötilalla arvoon 40 %. Yläkuvasta näkyy, että aukon ala on 30 % alkuperäisestä; keskikuvasta näkyy, että ilman lähtönopeus on 135 % alkuperäisestä; ja alakuvasta näkyy, että paine-ero venttiilissä on 185 % alkuperäisestä. Esimerkki 2: jos samalla 40 % ilmavirralla alilämpötila onkin 40 °C:n, on aukon ala 13 %, lähtönopeus 280 % ja paine-ero peräti 900 % alkuperäisestä.



Kuva 27. Puhalluskulman vaikutus vapaan ilmasuihkun (aksiaalinen ilmasuihku) ratakäyrään ilmavirralla $0,04 \text{ m}^3/\text{s}$ ($144 \text{ m}^3/\text{h}$). Tuloilma-aukon koko vastaa kuvan 26 esimerkkiä, kun perustapauksena (100 % aukon ala) on kuvan 25 tilanne nopeudella 2 m/s ja alilämpötilalla $10 \text{ }^\circ\text{C}$.

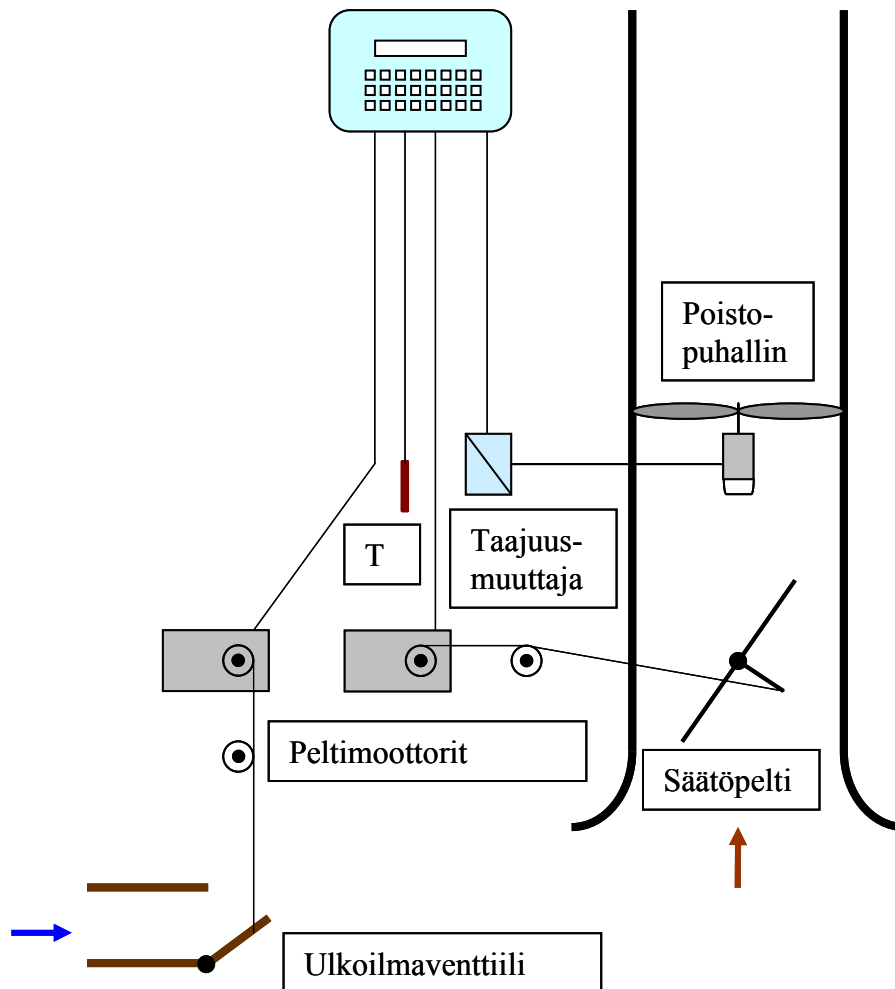


Kuva 28. Esimerkki seinään asennettavasta ulkoilmaventtiilistä, jonka säätölappä sulkeutuessaan suuntaa ilmavirran ylöspäin (Pellonpaja Oy).

4.4 Säädön toteutusmalleja

Ilmanvaihdon säätö ja ohjaus voidaan toteuttaa kuristamalla virtausta säätöpelleillä, säätämällä puhaltimen kierrosnopeutta tai käyttämällä puhallinyksiköitä tarpeen mukaan (esimerkiksi perusilmanvaihto kahdella puhaltimella, maksimi-ilmavirta neljällä puhaltimella). Kuvassa 29 näkyy järjestelmä, jossa ohjaustietokone voi säätää erikseen puhaltimen pyörimisnopeutta, säätöpellin asentoa ja ulkoilmaventtiilin avausta.

4. Ilmanvaihtojärjestelmän valinta ja mitoitus

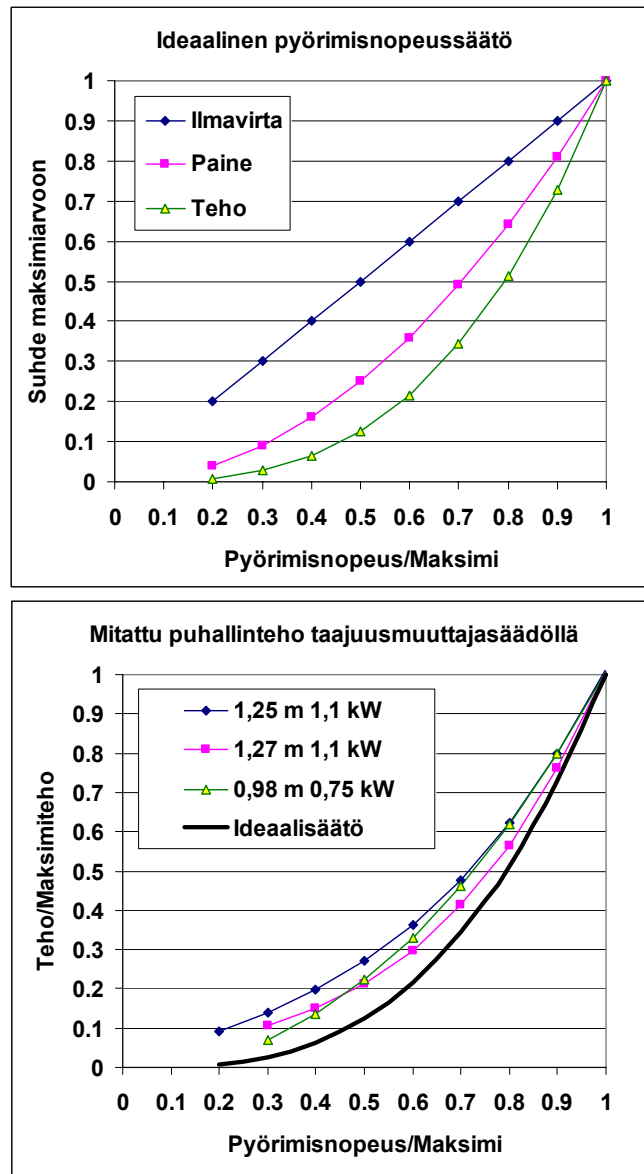


Kuva 29. Esimerkki poistoilmapuhaltimen ja ulkoilmaventtiilin säätöjärjestelmästä (Poulsen & Pedersen 2005).

Ohjaus puhallinta säätämällä

Kotieläinrakennusten ilmanvaihdossa voidaan tarvita suuria ilmavirtoja, mutta toisaalta puhaltimen ei tarvitse tuottaa kovin suurta paine-eroa. Tällöin myös pienpaineiset aksiaalipuhaltimet ovat käyttötarkoitukseen sopivia. Niiden hyötysuhde ja säädettävyys laajalla ilmavirta-alueella ovat hyvät. Puhaltimien sähköenergian kulutus on merkittävä kustannustekijä, joten ei ole samantekevää, miten puhallinta säädetään.

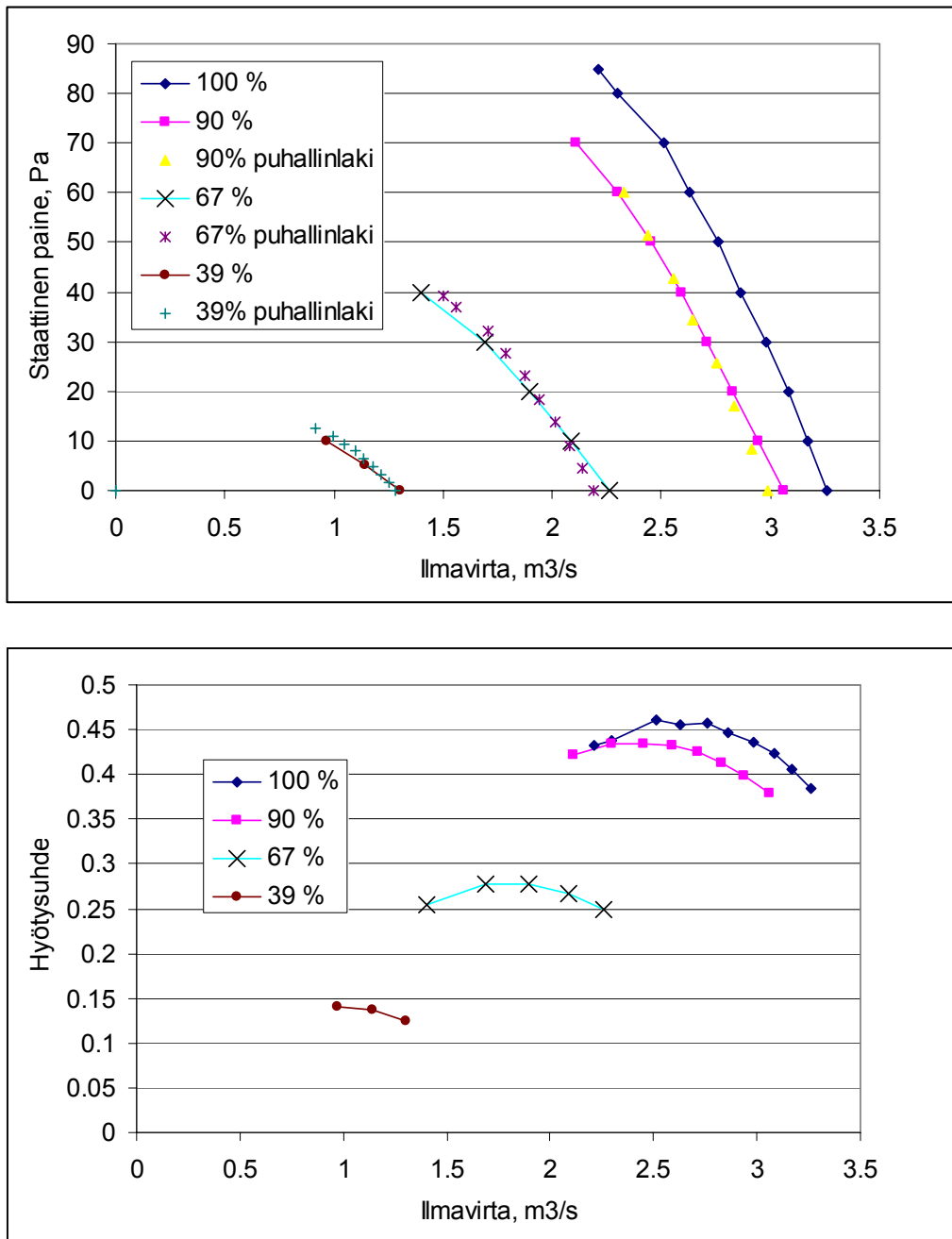
Puhaltimen ilmavirta pienenee, kun pyörimisnopeutta pienennetään pyörimisnopeuksien suhteessa (kuva 30, ylempi kuva). Puhallinteho pienenee ideaalisessa säädössä suhteessa vielä paljon enemmän kuin ilmavirta. Käytännössä tehontarve pienenee vähemmän kuin ideaalisäädöllä, koska sähkömoottorin säädön hyötysuhde pienenee. Kuvan 30 alakuvassa näkyy tyypillinen tehontarve taajuusmuuttajakäytössä. Pyörimisnopeutta ei voi pienentää kuin 20–30 %:iin nimellisarvosta, jottei puhallin kuumene liikaa. Tehontarve on näillä ilmavirroilla noin 10 % nimellistehosta, vaikka teoreettinen teho ideaalisäädöllä on paljon pienempi.



Kuva 30. Ideaallinen pyörimisnopeussäätö (yläkuva) ja tyypillinen tehontarve taajuusmuuttajakäytössä (alakuva) (Teitel ym. 2008).

Esimerkki puhaltimen ominaiskäyrän muuttumisesta ilmavirran muuttuessa esitetään kuvassa 31. Puhaltimen hyötysuhde heikkenee selvästi, kun ilmavirta pienenee.

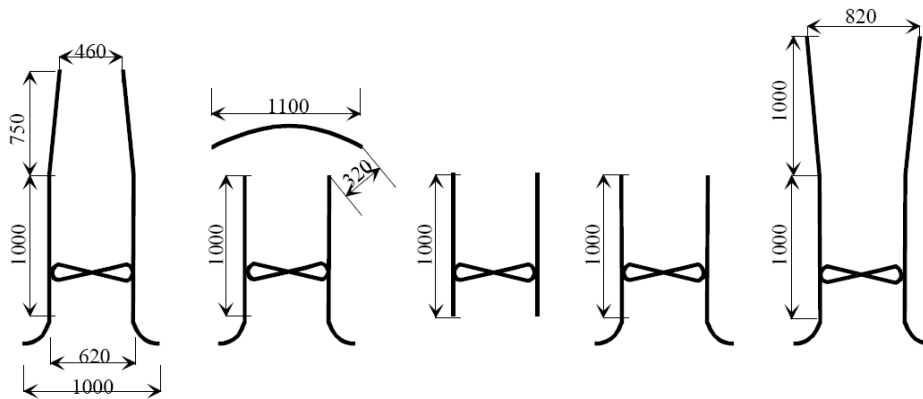
4. Ilmanvaihtojärjestelmän valinta ja mitoitus



Kuva 31. Puhaltimen mitattu ominaiskäyrä verrattuna ideaaliseen pyörimisnopeussäätöön (yläkuva), ja kokonaispaineenkorotusta vastaava hyötysuhde (alakuva). Kolmivaihevirtakäyttö jännitesäädöllä, ZIEHL-ABEGG FC 063, DLG Prüfbericht 5025.

4.5 Puhaltimien mitoitus ja valinta

Poistopuhallinyksikön ilmavirta ja energiankulutus riippuvat puhaltimen ominaisuuksien lisäksi imu-puolen ja poistokanavan muotoilusta (kuva 32, Pedersen 2005). Kaikissa kuvan tilanteissa puhallin on sama. Vertailukohteena on poistoilmayksikkö, jossa puhallin on asennettu pelkkään puhaltimen kokoi-seen kanavaan. Imukanavan pyöristys lisää ilmavirtaa 9 % ja kilowattitunnilla siirrettyä ilmamäärää 10 %. Ulospuhalluskanavan diffuusorin avulla vastaavat lisäykset ovat jo 27 ja 35 %, kun ulospuhall-luksen keskinopeus laskee 43 % ja vastaava dynaaminen paine 67 %. Sadekatos pienentää merkittä-västi ilmavirtaa ja tehoyksikköä (kW) kohti saatavaa ilmavirtaa. Samoin vaikuttaa ulospuhalluskanava-n supistaminen, jota on käytetään Saksassa asutuilla alueilla, kun poistoilmavirta halutaan sekoittaa tehokkaasti ulkoilmaan hajuhaittojen ehkäisemiseksi. Ulospuhallusnopeus halutaan myös pitää suu-rehkona, koska tällöin ilmavirrat eivät ole niin herkkiä tuulelle.



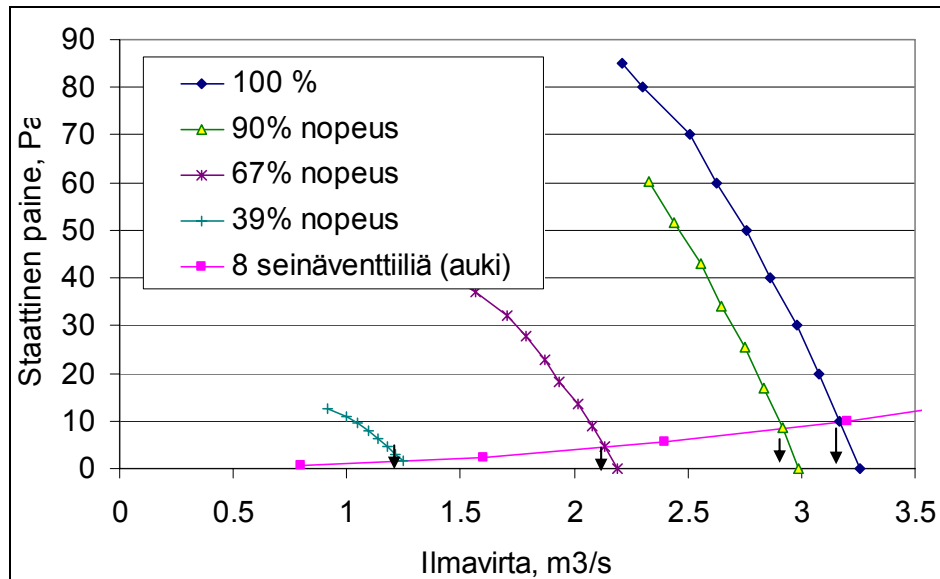
Pyörimisnopeus	1/min	821	814	790	805	832
Teho	W	390	390	403	401	378
Ilmavirta	m ³ /h	5 870	6 090	8 620	9 410	10 930
	%	68	71	100	109	127
Siirretty ilmatilavuus/energia	m ³ /kWh	15 050	15 620	21 390	23 470	28 920
	%	70	73	100	110	135

Kuva 32. Poistopuhallinyksikön suorituskyky kun imu- ja puhalluskanavan muoto muuttuu (Pedersen 2005). Puhallinpyörä ja sähkömoottori ovat samat kaikissa tapauksissa. Paine-ero puhallinyksikön yli on 0 Pa. Vertailutilanteessa (kolmas vasemmalta) ilman keskinopeus on 7,9 m/s ja vastaava dynaaminen paine 38 Pa.

Esimerkkimitoitus – koneellinen tulo-poisto

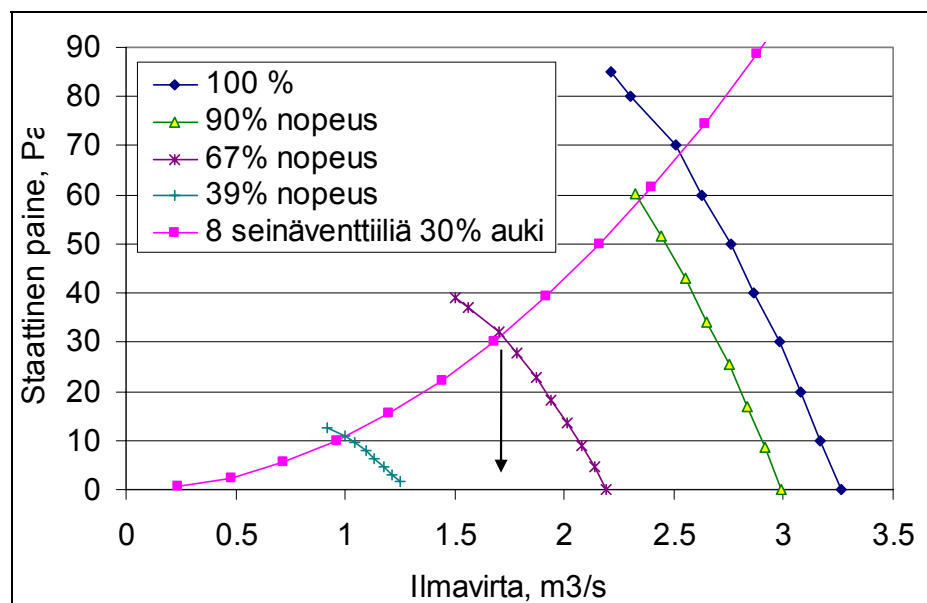
Koneellisessa poistoilmanvaihdossa puhaltimien ja tuloilmaventtiilien mitoitus perustuu tulo- ja poistoilmavirtojen tasapainoon, eli tuloilmaventtiilien kautta tuleva ilmavirta on yhtä suuri kuin poistoilmavirtojen poistama ilmavirta. Paine-ero on venttiileissä sama kuin poistoilmavaihtimissa, jos sisä- ja ulkolämpötilat ovat lähellä toisiaan ja tuulta ei ole. Kuvassa 33 esitetään esimerkki siitä, mihin ilmavirrat asettuvat puhaltimen eri pyörimisnopeuksilla, kun on valittu kahdeksan tuloilmaventtiiliä yhtä puhallinta kohti.

4. Ilmanvaihtojärjestelmän valinta ja mitoitus



Kuva 33. Poistopuhaltimen (kuva 31) ja seinäventtiilien (kahdeksan kuvan 28 mukaista venttiiliä) yhteiset toimintapisteet löytyvät puhallinkäyrän ja venttiilikäyrän leikkauspisteestä. Kuvassa on esitetty ilmavirrat puhaltimen neljällä eri pyörimisnopeudella.

Kuten luvussa 4.3 esitettiin, tuloilman seinäpuhalluksessa on toivottavaa pienentää tuloilmaventtiilin avausta silloin, kun ilmavirta pienenee (aukkoa pienennetään suhteellisesti enemmän kuin ilmavirta pienenee). Tällöin venttiilin paine-ero kasvaa ja tuloilmasuihkun heittopituus saadaan suuremmaksi. Kuvassa 34 näkyy tilanne, jossa seinäventtiilit on säädetty siten, että ne ovat vain 30 % auki. Tällöin saadaan 67 %:n pyörimisnopeudella ilmavirta 1,7 m³/s ja paine-ero 32 Pa venttiilin yli.



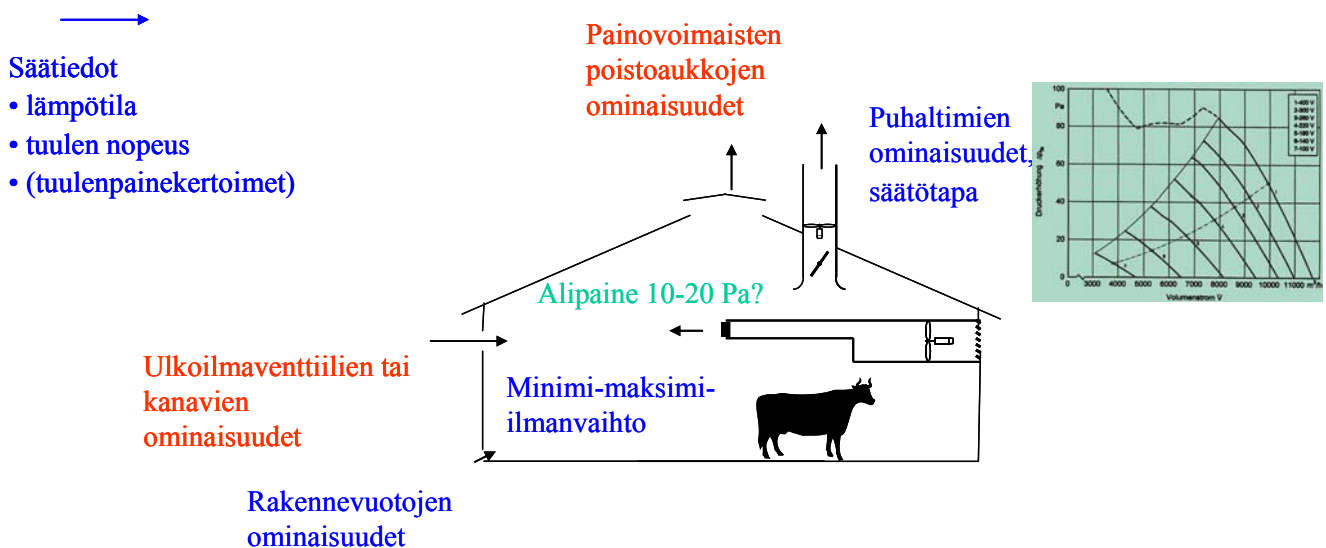
Kuva 34. Poistopuhaltimen (kuva 31) ja seinäventtiilien (kahdeksan kuvan 28 mukaista venttiiliä, 30 % avaus) ilmavirta 67 %:n pyörimisnopeudella.

4. Ilmanvaihtojärjestelmän valinta ja mitoitus

Tarkemmissa mitoituslaskelmissa on otettava huomioon sisä- ja ulkolämpötilan ja tuulen vaikutus paine-eroihin sekä rakennuksen ilmavuodot.

Projektissa on kehitetty ilmanvaihdon laskentamalli, jolla voidaan ottaa huomioon monia ilmanvaihtoon, rakennukseen ja niiden yhteistoimintaan liittyviä tekijöitä (kuva 35). Laskentaohjelmassa voidaan valita tulo- ja poistopuhaltimet, niihin liittyvät kanavat, ulkoilma-aukot, rakennevuodot, tuuli ja ulkolämpötila. Laskennan tuloksena saadaan ilmavirrat eri virtausreittien kautta, ulkovaipan ja puhaltimien paine-erot sekä puhallintehot. Malli soveltuu sekä painovoimaisen että koneellisen ilmanvaihdon tarkasteluun. Suunnittelukäyttöön malli on tarpeettoman yksityiskohtainen, mutta sillä voidaan kokeilla erilaisia käyttötilanteita ja suunnitteluvaihtoehtoja. Esimerkiksi ulkolämpötila, tuuli tai ilmavirtojen pienentäminen vaikuttavat merkittävästi ulkovaipan paine-eroon ja ulkoilma-aukkojen kautta tulevaan ilmavirtaan. Toisaalta mallilla voidaan laskea, miten puhallinta, säätöpeltiä ja ulkoilmaventtiileitä ohjataan kun ilmavirrat muuttuvat.

Kuvassa 36 on esimerkki tilanteesta, jossa tuuli lisää ilmavirtoja tuulen puoleisissa ulkoilma-aukoissa ja vaikuttaa myös puhaltimien ilmavirtoihin.



Kuva 35. Ilmanvaihdon laskentamallissa mukana olevat tekijät.

4. Ilmanvaihtojärjestelmän valinta ja mitoitus

Maatalousrakennuksen ilmavirrat komponentteittain				Kohde: Pihatto								
	Lähtötiedot			Ilmanvaihdon tarve, m ³ /s			Koko rakennuksen tulokset:					
Rakennuksen ilmatilavuus, m ³	10000			Max. min.	10.7	2.1	10.487 m ³ /s					
Ulkolämpötila, °C	20						3.78 1/h					
Sisälämpötila °C	25						12.1 n50tot					
Tuulen nopeus, m/s	5											
Virtausreittien lukumäärä	12											
				Aukot		Puhaltimet		Virtausreittien tulokset:				
Virtausreittein kuvaus	Korkeus lattiasta	Lukumäärä	Tuuli-kerroin	Avaus	Ala, m ²	Vastus-kerroin	Pyör. nopeus	Tyyppi	Ilmavirta m ³ /s	Paine-ero Pa	Puhallin-aine	Puhallinteho, W
Harjaluukku 1	6.8	0	0.3	0.1	10	2.5						
Harjaluukku 2	6.8	0	-0.3	1	10	2.5						
Seinäventtiili	2.8	26	0.4	0.8	0.0774	2			6.269	18.3		
Seinäventtiili	2.8	26	-0.4	0.8	0.0774	2			3.658	6.2		
Rakennevuoto	0	1	-0.2	1	0.05	2.5			0.127	9.8		
Rakennevuoto	1.5	1	0.2	1	0.05	2.5			0.160	15.5		
Rakennevuoto	3	1	-0.4	1	0.05	2.5			0.101	6.2		
Rakennevuoto	7	1	0.4	1	0.05	2.5			0.170	17.4		
Alapoistopuhallin, fasadi 1	0	1	-0.2	1	0.2827	2	-1	15	-2.263	9.8	85.6	618
Alapoistopuhallin, fasadi 3	0	1	0.2	1	0.2827	2	-1	15	-2.191	15.8	86.8	596
Säädettävä poistopuhallin	6	1	-0.4	1	0.2827	0.4	-1	15	-3.008	5.6	32.3	600
On-off poistopuhallin	6	1	-0.5	1	0.2827	0.4	-1	15	-3.023	4.1	31.1	600

Kuva 36. Esimerkki ilmanvaihdon laskentamallin tulostuksesta.

4.6 Painovoimaisen järjestelmän mitoitus

Painovoimaisen järjestelmän toiminta perustuu varsinkin talviolosuhteissa rakennuksen lämpimämmän sisäilman ja kylmemmän ulkoilman väliseen paino- ja tiheyseroon. Se saa aikaan nosteen, jolloin lämmin sisäilma pyrkii ylöspäin kohti kattoa ja siellä olevia poistoaukkoja. Kesäolosuhteissa lämpimällä säällä ulkoilma voi joissain tapauksissa olla jopa lämpimämpää kuin sisällä pihatossa. Tällöin ilma ei välttämättä nouse poistoaukkoihin. Kesäolosuhteissa ilmanvaihto perustuu suurelta osin tuulen vaikutukseen, eli on suotavaa, että ilma pääsee mahdollisimman suurista aukoista sisään rakennukseen ja virtaa omavoimaisesti rakennuksen läpi.

Luonnollisen ilmanvaihdon ns. verhoseinäratkaisu on vakiinnuttanut asemansa Yhdysvaltain ja Kanadan lypsykarjarakennuksissa viimeisen kymmenen vuoden aikana. Painovoimaisesti toimivat verhoseinälypsykarjapihatot ovat yleistymässä myös Suomessa.

Painovoimaisen ilmanvaihdon mitoitusperusteita on esitetty kanadalaisissa suunnitteluoppaista. Ontarion maatalousministeriö on julkaissut mitoitusohjeen (House & Rodenburg 2003). Sisältö on keskeisiltä osiltaan seuraava:

- Pihatto voi olla täysin eristämätön, mutta eristekerrosta suositellaan suoraan vesikatteen alle minimoimaan kondenssi-ilmiötä talvella sekä pienentämään kesäaikaista auringon säteilylämpökuormaa rakennuksen sisällä.
- Eristekerroksen paksuuden voi valita suhteellisen vapaasti (5, 10, 12, 15 cm). Eristäminen nostaa samalla pihatton sisälämpötilaa siten, että ilman liikkuvuus ja noste paranevat eristetyssä rakennuksessa verrattuna eristämättömään.
- Ilman sisääntuloaukkona toimii koko se seinäpinta-ala, jolle verho on asennettu. Tästä syystä tuloaukon mitoitus on hyvin vapaata, kun otetaan huomioon, että aukon varsinainen säätö ta-

4. Ilmanvaihtojärjestelmän valinta ja mitoitus

pahtuu säätilanteiden mukaan verhoa manuaalisesti tai automatiikan avulla sulkemalla tai avaamalla.

- Kanadalaiset suosittelevat 2,4–3,0 m korkeaa verhoaluetta 3–4-rivisissä pihatoissa ja 3,0–3,6 m korkeaa verhoaluetta 6-rivisissä pihatoissa. Tämä vaikuttaa pitkän sivuseinän korkeuteen ja siten koko rakennuksen korkeuteen.
- Ilman poistoaukot voi toteuttaa useilla eri tekniikoilla. Suosittu ja yksikertainen ratkaisu on koko harjan pituinen vapaa aukko, joka suositellaan katettavaksi, jotta sadevesi ja lumi eivät pääse lattiapinnoille tai vaurioittamaan kattorakenteita.
- Jatkuvan harja-aukon leveysmitoitukseksi sopii 3–5 cm jokaista pihaton 3 leveysmetriä kohden. Jos pihatto on siis 30 metriä leveä, harja-aukoksi riittää 30–50 cm. Harja-aukkoa ei viedä aivan rakennuksen pääty asti vaan se päätetään 2,5–3 metriin päädyistä. Aukon reunoihin suositellaan kauluspeltiä, joka yhtäältä estää sadeveden nousemista harja-aukkoon ja toisaalta parantaa aukon veto-ominaisuutta. Kauluspellin korkeudeksi suositellaan 1,5 x harja-aukon leveys.
- Jatkuvan harja-aukon sijasta voidaan käyttää myös hormeja, jotka on valmistettu eristemateriaalista kondenssi-ilmion minimoimiseksi. Hormi voi olla tehty polyuretaanilevyistä. Hormeihin suositellaan säätöläppiä, jotka voivat olla samaa polyuretaanilevyä kuin itse kanavat.
- Hormien suositeltavia poikkileikkausmittoja ovat 60 x 60 cm:n ja 60 x 90 cm:n kanavat. 120 x 120 cm:n kanavat ovat mahdollisia, mutta niihin sisältyy ilman takaisinvirtausriski. Useampi pieni hormi on suositeltavampi toteutustapa kuin muutama iso hormi. Hormi kannattaa kattaa vesilipalla.
- Hormien mitoitusperusteena käytetään seuraavia suhdelukuja:
 - o hormipinta-alaa tarvitaan 0,05 m² jokaista pihaton 10 m² kohden
 - o pihaton jokaista alkavaa 140 m² kohden tarvitaan hormi
 - o hormien etäisyys voi olla korkeintaan 7,5–9 metriä.
- **Esimerkki:** Jos pihatto on kooltaan 2 000 m² (leveys 25 m ja pituus 80 m), hormipinta-alaa tarvitaan 10 m² 14 hormiin, jotka sijoitetaan noin 5,7 metrin etäisyydelle toisistaan. Hormit ovat kooltaan 90 cm x 90 cm. Jos hormikokoa pienennetään 60 cm x 60 cm:iin, niitä tarvitaan 27 kpl. Hormien välinen etäisyys on tällöin vastaavasti noin 3 m.
- Myös vanhoja rakennuksia voidaan muuttaa verhoseinäisiksi, jos seinän kantavat rakenteet sen sallivat. Tällöin verhoseinäalan suositeltava minimipinta-ala on 10 % eläintilan lattia-alasta. Poistohormien mitoitus tehdään edellä kuvatulla tavalla.

Luvussa 5.5 on esitetty esimerkki suomalaisesta verhoseinäpihatosta.

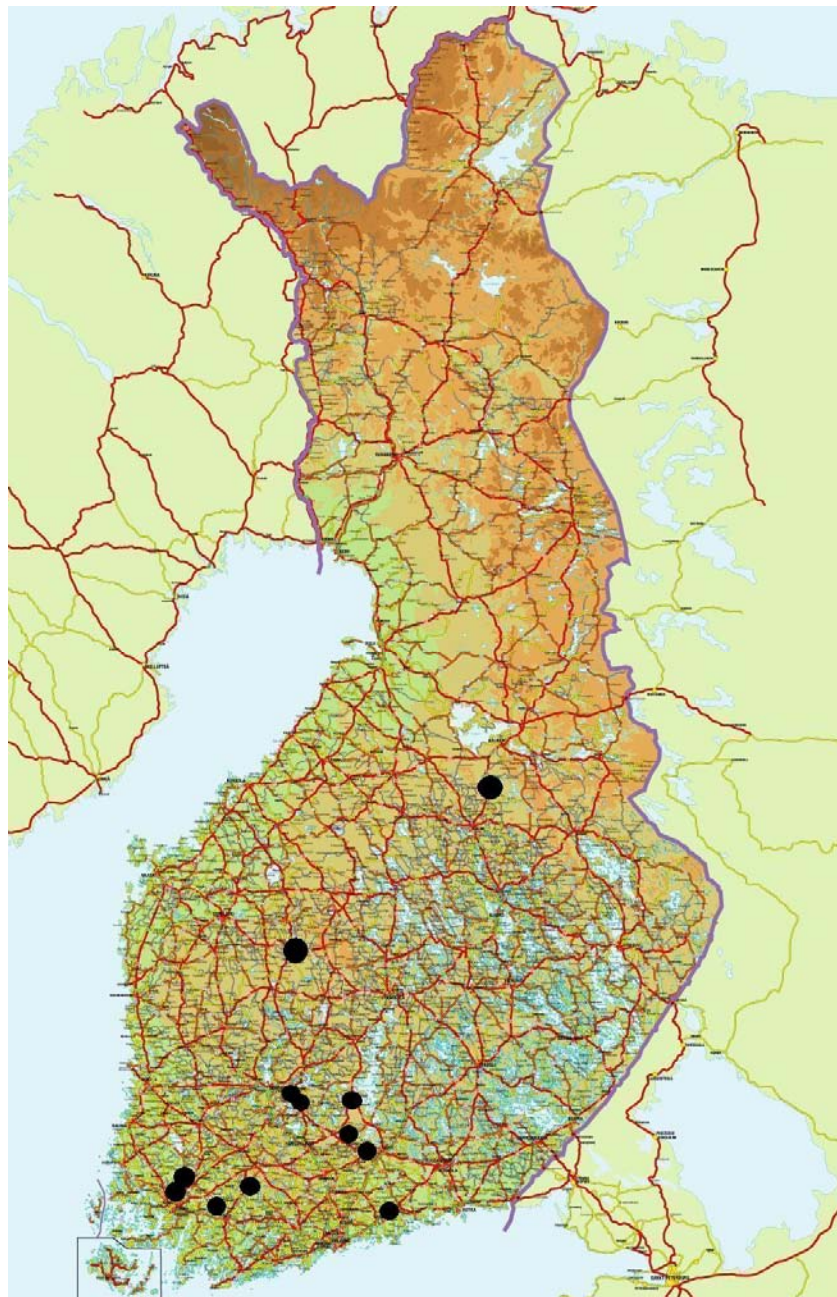
5. Ilmanvaihtojärjestelmien toimivuus käytännössä – esimerkkijärjestelmiä

Hankkeen aikana tehtiin kaksitoista tiläkäyntiä, joilla selvitettiin ilmanvaihdon perusratkaisujen toimivuutta erityyppisissä kotieläinrakennuksissa. Taulukossa 14 on esitetty kohdekäyntien yleiskuvaus ja kuvassa 37 kohteiden sijainti.

Taulukko 14. Kohdetilojen ilmanvaihtojärjestelmien tyypit kotieläinrakennuksessa.

Kohde	Ilmanvaihtojärjestelmä	Tuotantorakennus
A	Koneellinen poisto, seinäpuhallus, ylä- ja alapoisto	Lypsykarjarakennus
B	Koneellinen poisto, yläpoisto, ylätulo (LTO tulopois-toyksikkö)	Lypsykarjarakennus
C	Koneellinen tulo, koneellinen poisto	Lypsykarjarakennus
D	Koneellinen poisto, kattopuhallus, yläpoisto	Lypsykarjarakennus
E	Painovoimainen, verhoseinä	Lypsykarjarakennus
F	Koneellinen tulo ja poisto, yläjakoinen tulo, yläpoisto	Sonnijalostamo
G	Koneellinen poisto, yläjakoinen tulo, yläpoisto	Porsitussikala
H	Koneellinen tulo ja poisto, yläjakoinen tulo, yläpoisto	Lihasukkala
I	Koneellinen poisto, alajakoinen tulo, yläpoisto	Porsitussikala
J	Koneellinen poisto, alajakoinen tulo, yläpoisto	Porsitussikala
K	Koneellinen poisto, tuloilma seiniltä, yläpoisto	Broilerikasvattamo
L	Koneellinen tulo ja poisto, yläjakoinen tulo, yläpoisto	Hevostalli

5. Ilmanvaihtojärjestelmien toimivuus käytännössä – esimerkkijärjestelmiä



Kuva 37. Koekohteiden sijainti.

Seuraavassa on kuvattu tarkastellut kohteet tarkemmin. Niiden ilmanvaihtojärjestelmät esitellään ja järjestelmien toimivuus arvioidaan kohdekäyntien ja tehtyjen mittausten perusteella. Lisäksi esitetään yleiset kehitystarpeet havaintojen perusteella. Kussakin kohteessa on mitattu ja tarkasteltu yleensä seuraavia tekijöitä:

- ilmanvaihtovirrat (tulo ja poisto)
- lämpöolot (sisäilman lämpötila ja kosteus, veto)
- sisäilman laatu (CO₂, NH₃)

5. Ilmanvaihtojärjestelmien toimivuus käytännössä – esimerkijärjestelmiä

- painesuhteet (paine-erot sisä- ja ulkoilman tai viereisten tilojen välillä)
- ilman jaon visualisointi merkkisavulla.

Mittauksia tehtiin sekä hetkellismittauksina että 2–4 viikon seurantamittauksina.

5.1 Kohde A, koneellinen poistoilmanvaihto lypsykarjarakennuksessa

Järjestelmäkuvaus

Lypsykarjatilalle on rakennettu vuonna 2006 moderni noin 2 100 m²:n parsipihatto. Pihatossa on 140 eläinpaikkaa, joista mittausten aikana oli käytössä noin 110 (kuva 38).



Kuva 38. Uusii lypsykarjarakennus. Oikealla periaatteellinen kuva ilmanvaihdosta.

Ilmanvaihtojärjestelmänä on koneellinen poistoilmanvaihto. Vesikaton läpi johdetuissa poistoilmakanavissa (5 kpl) on poistoilmapuhaltimet (ϕ 50 cm, max. 7 600 m³/h) (kuva 39a). Poistoilmakanavan alapää on noin 0,5–1,0 m kattopintaa alempana. Kolme poistoilmapuhallinta säätyy sisäilman lämpötilan mukaan ja kaksi käy vain maksimiteholla tarpeen mukaan. Tämän lisäksi neljä poistoilmapuhallinta on lattian alla (alapoisto, ϕ 40 cm, max. 3 400 m³/h) (kuva 39c). Näiden laitteiden lisäksi tilassa on lämmittimiä ja viilennyspuhaltimia.

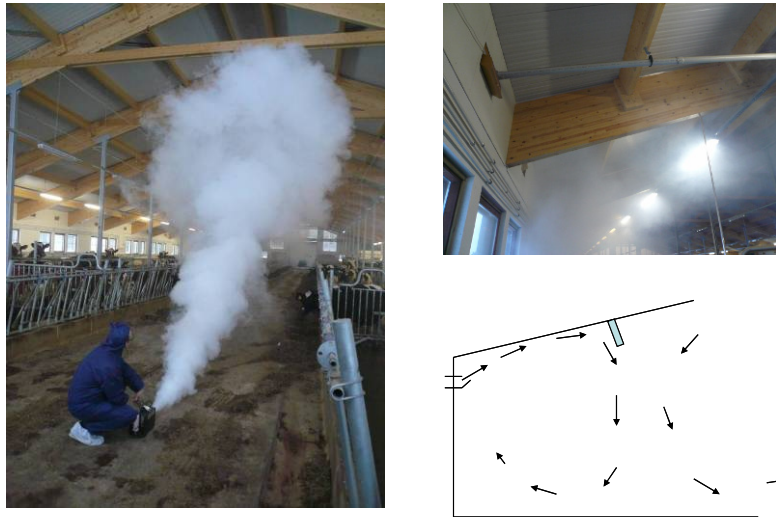
Ulkoilma johdetaan sisään sivuseinissä olevien ulkoilmaventtiilien kautta (kuva 39b). Venttiilejä on 28 kpl/sivuseinä eli yhteensä 56 kpl. Venttiiliaukkojen koko säätyy sisäilman lämpötilan mukaan. Kovilla pakkasilla aukot ovat lähes kiinni, jolloin osa tuloilmasta tulee rakennevuotoina. Lämmöntalteenottoa ei tässä ilmanvaihtojärjestelmässä ole.



Kuva 39. a) Poistoilmakanava katossa, b) tuloilmaventtiilit seinässä ja c) vetomittaus alapoiston kohdalla.

Toimivuuden arviointi ja tehdyt mittaukset

Sisäilmastomittaukset käsittivät lämpöolosuhteiden (ilman lämpötila ja suhteellinen kosteus sekä veto), ilman laadun (CO₂ ja NH₃) ja painesuhteiden mittauksen. Tämän lisäksi ilmavaihtoa visualisoitiin merkisavun avulla (kuva 40). Mittaukset tehtiin tammi–helmikuussa 2007.



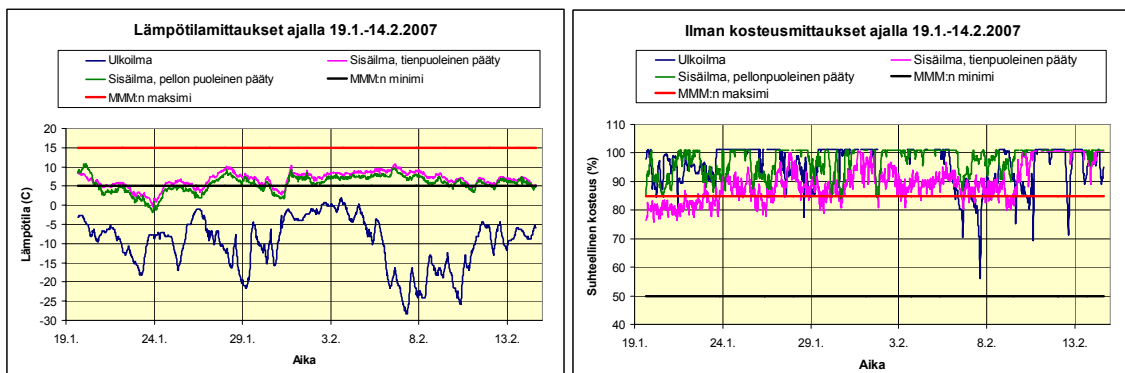
Kuva 40. Ilman liikkeen visualisointi merkisavulla, jonka avulla nähdään tuloilmasuihkun törmääminen kattopalkkiin.

Yhteenveto toimivuudesta mittaustulosten ja asiantuntija-arvion perusteella

Poistoilmavirtoja ei mitattu, koska katolla oleviin poistoilmahormeihin ei päästy mittaamaan. Samoin alapoistojen mittaaminen luotettavasti ei ollut mahdollista. Paine-eromittauksen mukaan pihatto oli noin 15 Pa alipaineinen ulkoilmaan nähden.

Merkisavun avulla havaittiin tuloilman suuntautuvan ylöspäin kohti kattoa, josta se eteni kohti ensimmäistä kertopuupalkkia. Palkkiin osuessaan ilmasuihku kääntyi alas kohti lattiaa. Ensimmäisen parsirivin kohdalle muodostui oma pyörre ja keskeemmälle pihattoa oma (kuva 40).

Kuvassa 41 on esitetty noin kolmen viikon ilman lämpötilaa ja kosteutta koskevat mittaustulokset.



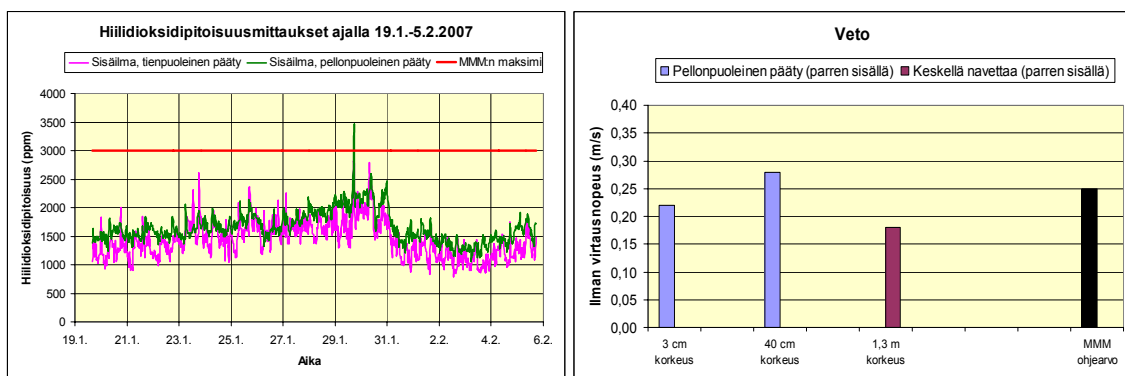
Kuva 41. a) Ilman lämpötila eri pisteissä b) Ilman suhteellinen kosteus eri pisteissä.

5. Ilmanvaihtojärjestelmien toimivuus käytännössä – esimerkkijärjestelmiä

Kuvan 41a mukaan sisäilma kylmeni liikaa (tavoitearvo $> +5$ °C) ja meni jopa pakkasen puolelle tammikuun loppupuolella. Syynä oli se, että katon rajassa olleet poistoilmapuhaltimet eivät säätyneet kään pakkasjakson alettua pienemmälle vaan pyörivät täysillä. Noin viikon kuluttua tästä puhaltimet saatiin automatiikan avulla toimimaan siten, että niiden kierrosnopeus säätyi ulkolämpötilan mukaan.

Kuvan 41b mukaan ilman suhteellinen kosteus oli mittausjaksolla pääosin välillä 85–95 % eli suurempi kuin MMM-RMO C2.2:n ohjearvo. Ilman laatua tarkkailtiin tekemällä mittauskäynti. Silloin ilmanvaihdon teho oli 18 % kesikäytävällä keskellä pihattoa (jossa oli heikoin ilman laatu). Hiilidioksidipitoisuudeksi saatiin 1 200 ppm ja ammoniakkipitoisuudeksi 6–7 ppm.

Kuvaan 42a on merkitty CO₂-pitoisuudet noin kolmen viikon ajalta. Kuvaan on merkitty myös MMM-RMO C2.2:n maksimiohjearvo. Kuvaan 42b on merkitty vetomittausten tulokset. Vetomittaukset edustavat kolmen minuutin keskiarvoa. Kuvan 42a mukaan CO₂-pitoisuus oli alhainen. Mittausjaksolla pitoisuus oli selvästi alle MMM-RMO C2.2:n ohjearvon 3 000 ppm (myös selvästi alle HTP-arvon 5 000) ja suurimman osan ajasta alle 2 000 ppm. Kuvan 42b mukaan vedon kannalta pahimmaksi paikaksi arvioitiin pellonpuoleinen pääty alapoiston vieressä. Siellä ohjearvo ylittyi lievästi 40 cm korkeudelta mitattuna.



Kuva 42. a) Seurantamittauksen tulokset CO₂-pitoisuudelle. b) Ilman nopeus (veto) eri paikoissa.

Kehitystarpeet ja -ehdotukset

Kosteuspitoisuuden alentamiseksi ulkoilmavirtoja olisi lisättävä ja vastaavasti lämmitystehoja nostettava. Tämä johtaa energiankulutuksen kasvuun. Myös kylmän ulkoilmavirran kasvattaminen lisää vetoriskiä. Isännälle suositeltiin ilman kosteuden seuranta ja tarvittaessa sisäilman tavoitelämpötilan nostoa.

5.2 Kohde B, koneellinen tulo-poistoilmanvaihto lämmöntalteenotolla lypsykarjarakennuksessa

Järjestelmäkuvaus

Lypsykarjatilan ilmanvaihto on toteutettu koneellisen tulo-poiston järjestelmällä, jossa tulo ja poisto on integroitu kattoyksikköön. Kattoyksikkö ottaa samalla poistoilmasta lämpöä talteen (kuva 43).

5. Ilmanvaihtojärjestelmien toimivuus käytännössä – esimerkkijärjestelmiä



Kuva 43. Lypsykarjatila. Oikealla periaatekuva ilmanvaihdosta.

Ilmanvaihto alkuperäisessä suunnitelmassa perustui seuraavaan ilmanvaihdon mitoitukseen: minimi 2 650 m³/h, maksimi 14 860 m³/h, eläinmäärät 30 lypsylehmää, 15 hiehoa (yli 8 kk) ja 15 vasikkaa (alle 8 kk). Suunnitelmassa oli esitetty kolme poistoilmapuhallinta. Korvausilma tulisi korvausilmakokkojen kautta. Myyjän tarjouksessa maksimi-ilmanvaihto oli 13 875 m³/h (perustui eläinmääriin 23/26/23), jolloin tarjottiin kahta 8 000 m³/h -konetta. Suunnitelma toteutettiin Mikko2000-ilmastointi- ja lämmöntalteenottolaitteella (2 kpl). Lisäksi maitohuoneessa on yksi poisto-/siirtopuhallin. Tarvittava lisälämpö tuotetaan lämpökeskuksessa puulla ja lämpö jaetaan putkiston välityksellä rakennuksen ulkoreunoille.

Toimivuuden arviointi

Kohteessa oli havaittu suuria kosteuspitoisuuksia, minkä perusteella epäiltiin, ettei ilmanvaihto toiminnut tarkoitetulla tavalla. Kohde valittiinkin tämän perusteella. Kohdekäynnillä todettiin, että puhallimen siipipyöriä oli rikkoutunut kondenssijään pudottua siipipyörien päälle. Myös puhallinta suojaava muovinen verkko oli rikkoutunut. Navetan poistopuhallimen yksi siipipyörä oli vaihdettu metalliseen ja toinen poistopuhallin kokonaan ulkomitoiltaan pienempään malliin. Poistokanavan yläpäässä ei ole suojaa, jolloin vesi ja lumi pääsevät suoraan poistoputkeen (ainakin silloin, kun puhallin ei ole päällä).

Tehdyt mittaukset

Mittaukset koostuivat seuraavista osa-alueista: poistoilmavirrat (kartiomittaus ja ilman nopeus), painesuhteet (paine-erot navetta–maitohuone–ulkotila), lämpötila, kosteus, hiilidioksidipitoisuus ja ammoniakkipitoisuus. Lisäksi tehtiin visuaalinen havainnointi ns. diskosavulla. Taulukossa 15 on esitetty kohteesta saatuja mittaustuloksia.

5. Ilmanvaihtojärjestelmien toimivuus käytännössä – esimerkkijärjestelmiä

Taulukko 15. Mittaustuloksia lypsykarjatilalta (koneellinen tulo-poisto).

Mittaus 15.11.2006 klo 14-16				
Ulkoilman lämpötila			1 - 1.5 C	
Ulkoilman kosteus			yli 90 %	
Ilman lämpötila (navetta kiertäen)			15.2 - 16.3 C	
Ilman kosteus (navetta kiertäen)			71 - 78 %	
Hiilidioksidi (navetta kiertäen)			noin 3000 ppm	
Hiilidioksidi (ampullimittaus)			4000 ppm	
Ammoniakki (ampullimittaus)			20 ppm	
Suurempi puhallin on maitohuoneen puoleinen Multifan 4E/50, 0Pa 8310 m ³ /h, 50 Pa 7050 m ³ /h, noin 500 mm				
Pienempi puhallin EMI, aukon halkaisija 400 mm				
Huom! Suuremman puhaltimen yksi kolmesta kiinnitysruuvista on irti, putoamisvaara, korjattava välittömästi				
Ilmavirran mittaustarkkuus on toistaiseksi tuntematon!				
Ilman nopeudet puhaltimen imuaukosta mitattu anemometrillä				
Ilmavirran ja paineen mittarit VTT:n, muut Työtehoseuran				
Tilanne	Käytössä oleva säätö	Minimi-ilmavirta	Maksimi-ilmavirta	Maksimi-ilmavirta
	Perusnopeus	Perusnopeus 30%,	Käsiohjaus	2
	60%, lämpötila 15, alaraja 10	lämpötila 20, alaraja 10	(maksimikierrokset)	Perusnopeus
Säätimen asento				60%, lämpötila
Suurempi puhallin, m ³ /s	0.37			12, alaraja 10
Pienempi puhallin, m ³ /s	0.36		0.38	
Suurempi puhallin, m/s			6.8	
Pienempi puhallin, m/s			8.0	7.6
Tuloilma suurempi puhallin, m/s			4.5	
Tuloilma pienempi puhallin, m/s			4.0	
Tuloilma suurempi puhallin, C			3.6	
Tuloilma pienempi puhallin, C			3.6	
Alipaine ulos, Pa	36		36	37
Alipaine maitohuoneessa, Pa	39			

Mittaustuloksiin ja asiantuntija-arvioon perustuva yhteenveto toimivuudesta

Lypsykarjarakennuksessa sisälämpötila oli 15–16 °C ja kosteus 71–78 %. Hiilidioksidipitoisuus vaihteli välillä 3 000–4 000 ppm; ammoniakkipitoisuus oli 20 ppm. Mitattu ammoniakkipitoisuus on työntekijän HTP-arvon tasolla, joten toimenpiteisiin pitoisuuden alentamiseksi on ryhdyttävä. Tulosten perusteella voitiin päätellä, että ilmanvaihto ei toiminut riittävän tehokkaasti. Kohteessa pystyttiin mittaamaan ainoastaan puhaltimien minimi-ilmavirta: maksimi-ilmavirtaa ei voitu todentaa, koska automaattikka ei toiminut suunnitellusti.

Kehitystarpeet ja -ehdotukset

Kohdekäynnin tuloksena esitettiin seuraavat toimenpide-ehdotukset:

1. Automaatiikan toimivuustarkistus ja -korjaus tulee tehdä ja todentaa, jotta ohjaus toimisi suunnitellusti korjauksen jälkeen.
2. Tulo-poistoilmalaitteisiin tulee vaihtaa oikeat, toimivat osat.
3. Ilmanvaihtolaitteet tulee puhdistaa.

5.3 Kohde C, koneellinen tulo-poistoilmanvaihto lypsykarjarakennuksessa

Järjestelmäkuvaus

Lypsykarjarakennus (kuva 44) on rakennettu vuonna 1926. Ensimmäisessä kerroksessa sijaitsevat eläintilat aputiloineen sekä henkilöstön sosiaalilat. Käyttöullakko toimii heinävarastona. Rakennus peruskorjattiin vuonna 1986 ja muutettiin parsipihatoksi. Eläintilat jakautuivat kolmeen osastoon: lypsylehmiin, hiehoihin ja vasikoihin. Lypsylehmäosastossa ilmanvaihtolaitteina oli kaksi Kärppä-seinäilmanvaihtolaitteita.

Ulkoseinät ovat tiiltä ja välipohja betonirakenteinen. Lämpöeristeenä on käytetty betonipalkkien välissä olkipehkuja ja turvetta. Alapohja on maavarainen betonilattia. Vesikaton kannatus on toteutettu kehäristikoilla ja katteena on tiilikuvioinen pelti. Rakennuksessa on aluelämpö, ja se lämmitetään vesikiertoisella patterijärjestelmällä. Ilmanvaihdosta huolehtii koneellinen poisto-tulojärjestelmä. Rakennuksen kokonaispinta-ala on 2 561 Br m² ja tilavuus 11 248 m³.



Kuva 44. Lypsykarjarakennus, joka on rakennettu vuonna 1926 ja peruskorjattu vuonna 1986.

Toimivuuden arviointi

Eläinmäärä on melko vakio ympäri vuoden, eikä eläinten eri-ikäisyys aiheuta ongelmia. Ilmanvaihtolaitteet puhdistetaan kerran vuodessa: edellisen kerran ne puhdistettiin keväällä 2006. Ilmanvaihtolaitteiden ongelmana on niiden likaisuus. Säilörehun kosteus on 30–40 % ja vuorokautinen kulutus noin 2–2,5 tonnia. Rehu tuodaan navettatilaan talvella sulana. Kuivikkeena käytetään kutterinpurua.

Eläinten hoitajat kokevat navetan olosuhteet hyväksi. Kova pakkanen ja nopeat vuorokautiset ulkolämpötilaerot kuitenkin haittaavat. Kosteus kondensoituu kylminä pakkaspäivinä ikkunoihin, oviin ja kattoon. Juottoastian vesijohto kerää kondenssivettä lähes aina, samoin metallirakenteet. Kesäaikana joudutaan avaamaan ikkunoita ja ovia liikalämmön poistamiseksi. Sähkökatkoksiin ei ole varauduttu.

5. Ilmanvaihtojärjestelmien toimivuus käytännössä – esimerkkijärjestelmiä

Tehdyt mittaukset

Sisäilmastomittaukset käsittivät lämpöolosuhteiden (ilman lämpötila ja suhteellinen kosteus), ilman laadun (CO₂ ja NH₃) ja melun mittauksen. Mittaukset tehtiin 25.1.2007 iltapäivällä, jolloin ulkolämpötila oli –20 astetta, ja 26.1.2007 aamupäivällä, jolloin lämpötila oli noussut –9 asteeseen. Taulukoissa 16–18 esitetyt lukemat ovat useiden mittauspisteiden keskiarvoja.

Melua mitattiin eri tiloissa useasta pisteestä. Lisäksi melua mitattiin noin metrin etäisyydeltä melulähteestä. Navetan melutaso ylittää selvästi tuotantotiloille asetetun raja-arvon 65 dB, varsinkin ilmanvaihtolaitteiden täyskuormituksen aikana.

Ammoniakki- ja paikoin myös hiilidioksidipitoisuudet ylittävät selvästi kotieläinrakennuksen huoneilmalle asetetut raja-arvot, erikoisesti vasikkatiloissa, joissa HTP-arvo ylitettiin. Näissä tiloissa tingittiin ilmanvaihdosta lämpötilan hyväksi.

Taulukko 16. Lämpötila eläinrakennuksen eri osissa.

Mittauspaikka	Lämpötila °C
Lypsyasema	18,4
Pihatto	18,4
Maituhuone	13,3
Lihakarjapihatto	12,0
Ulkotila	–1,5

Taulukko 17. Melutaso eläinrakennuksen eri osissa.

Mittauspaikka	Melu (dB)
	vaihtelu
Hiehopuoli, ilmastointilaitteen läheisyydessä	61–73
Vasikkapuoli, perimmäinen osasto	52–68
Pihatto	66–86
Lypsyasema, lypsy käynnissä	64–77
Maituhuone, lypsy käynnissä	71–79

Taulukko 18. Hiilidioksidi- ja ammoniakkipitoisuudet mittausjakson aikana.

Mittauspaikka	CO ₂ (ppm)	NH ₃ (ppm)
Hiehopuoli töiden alkaessa	3 100	28
Vasikkapuoli töiden alkaessa	4 000	37
Pihatto, ruokintapöytä	3 000	20
Lypsyasema, lypsy	2 800	16
Hiehopuoli lopussa	3 300	23
Vasikkapuoli lopussa	3 100	22

5. Ilmanvaihtojärjestelmien toimivuus käytännössä – esimerkkijärjestelmiä

KPM Rakenne Oy oli lämpökuvannut navettarakennuksen 20.12.2006 (kuvat 45–48). Ulkolämpötila oli tällöin ollut $-6,2\text{ °C}$. Sää oli ollut puolipilvinen ja tuulen nopeus 5 m/s. Navetan keskimääräinen sisälämpötila oli ollut $+13,3\text{ °C}$ ja suhteellinen kosteus-RH 61 %.

Kahden mitatun Kärppä IV -koneen tuottaman ilman lämpötila oli $+16,0\text{ °C}$. Yhdeltä ilmanvaihtokoneelta mitattu tuloilman lämpötila oli $+46,0\text{ °C}$ ja poistoilman lämpötila 13 °C . Ikkunan pintalämpötila oli $+3,1\text{ °C}$. Sähkölaitteissa ei todettu ylisuuria lämpötiloja. Rakolattiassa lämpötila oli $+6,5\text{ °C}$ ja parsitilassa lattian lämpötila $+11,3\text{ °C}$. Vasikkaosastossa lattian lämpötilaksi mitattiin $+8,5\text{ °C}$. Betoniyläpohjan lämpötila vaihteli $+6,3\text{ °C}$:sta $10,4\text{ °C}$:een. Ullakolta mitattaessa yläpohjan lämpötila vaihteli $-6,8\text{ °C}$:sta $-3,3\text{ °C}$:een. Ulkoseinän ulkopinnan lämpötila oli alhaisimmillaan $-9,1$ ja ylimmillään $-6,7\text{ °C}$. Yläpohjan ja ulkoseinän mittaustulokset kertovat, että ko. rakenteiden lämmöneristyskyky on heikko. Infrapunakuvauksen lämpötilat ovat tarkkoja niillä pinnoilla, jotka ovat kohtisuorassa infrapunakameraan nähden. Kameraan nähden vinoilla pinnoilla lukeman luotettavuus heikkenee.

Yhden ilmanvaihtokoneen tuloilman lämpötila $+46,0\text{ °C}$ ei ole suunnitellulla tasolla, varsinkaan kun kahdella muulla koneella vastaava lukema oli $+16,0\text{ °C}$. Tavanomaisesta poikkeava lämpötila voi johtua moottorin ylikuumenemisesta, jolloin tulipalon uhka on olemassa. Navetan sisäilman lämpötila oli mittaushetkellä keskimäärin $+13,3\text{ °C}$. Lattian lämpötila rakolattian kohdalla oli $+6,5\text{ °C}$.

Maitohuoneen tuloilma-aukko oli tukittu styrox-levyllä, jolloin paineolosuhteet muuttuvat ja korvausilma maitohuoneeseen voi tulla eläintilasta. Poikimakarsinaan tuli lattian tasolla ilmavirta, jonka lehmä koki vetona ja hakeutui karsinan takareunaan. Poikimakarsinan etuseinään voisi asentaa esimerkiksi matalan vaneriseinän, jolloin ilmavirta ei tulisi suoraan poikimakarsinan lattiatasolle. Navetassa oli yksi iso $1\,630\text{ mm} \times 1\,560\text{ mm}$:n kokoinen poistoilma-aukko, jota pystyi kuitenkin säätämään vain käsipelillä.

Ulkoseinän alaosassa ilmenevä kosteusvaurio johtuu navetan lattian pesuveden tai viistosateen pääsystä rakenteisiin, kapilaarisesti maasta nousevasta kosteudesta, pintavesien tunkeutumisesta rakenteen sisään tai rakenteen läpi kulkevasta sisäilman kosteudesta. Vähäisempikin kosteusrasitus voi aiheuttaa vaurioita, jos rakenne ei pääse kuivumaan. Kosteiden tilojen tehokkaalla ilmanvaihdolla ja oikein suunnitellulla lämmityksellä rakenteiden kuivumista voidaan nopeuttaa.

5. Ilmanvaihtojärjestelmien toimivuus käytännössä – esimerkkijärjestelmiä



Kuva 45. Ritiälattian lämpötila vaihteli +15,3 °C:sta +10,1 °C:een.



Kuva 46. Vasikkaosaston tuloilma-aukko, josta mitattiin tuloilman lämpötilaksi +15,1 °C. Seinärakenteen pintalämpötila oli vain +3,6 °C, mikä johtui yläpohjan heikosta lämmöneristyskyvystä.

5. Ilmanvaihtojärjestelmien toimivuus käytännössä – esimerkkijärjestelmiä



Kuva 47. Eläintilan lämpöpatterin pintalämpötila oli +38,5 °C.



Kuva 48. Ilmastointikone oli ensimmäisenä mittauspäivänä jäässä, kun ulkolämpötila oli –20 °C. Seuraavana päivänä ulkolämpötilan kohottua –9 °C:een, ilmastointikone oli sulanut ja jälleen toiminnassa.

Mittaustuloksiin ja asiantuntija-arvioon perustuva yhteenveto toimivuudesta

Tutkimuskäynnin tuloksien pohjalta tehtiin myös lämpötaselaskelma. Lasketun ja mitatun ilmanvaihdon erotus oli 66 m³/h, mikä on mittausmenetelmän aiheuttamaa virhemarginaalia pienempi. Mittauksen tuloksena todettiin, että ilmanvaihtolaitteiden kapasiteetti ei riitä maksimi-ilmanvaihtoon. Nykyiset ilmanvaihtolaitteet ovat elinkaarensa lopussa, ja uusien laitteiden valinta tulisi tehdä tavoitearvojen mukaan. Erityisesti ilmanvaihtolaitteet ovat puutteelliset vasikka- ja nuorkarjatiloiissa.

5. Ilmanvaihtojärjestelmien toimivuus käytännössä – esimerkkijärjestelmiä

Kehitystarpeet ja -ehdotukset

Poikimakarsina on tehtävä vedottomaksi: korjaustyön kustannukset ovat vähäiset. Ilmanvaihtokoneet on huollettava ja varmistettava, etteivät moottorit ylikuumentune. Maito huoneen tuloilma-aukon on oltava suunnitelman mukainen. Rikkinäiset ikkunat on korjattava, samoin ulko-ovet on tiivistettävä ja korjattava. Navettarakennuksen ilmastointilaitteet ovat teholtaan alimitoitettuja ja ne ovat elinkaarensa päässä. Ilmastointilaitteet olisi kaikilta osin uusittava.

Rakennuksen rakenteiden lämpöhukka on melkoinen. Yläpohjan käyttöullakon puolelle voidaan asentaa lisälämmöneriste. Paloturvallisuuden takia ullakolla ei pitäisi varastoida heiniä. Myös ikkunat ja ovet pitäisi uusida.

5.4 Kohde D, koneellinen poistoilmanvaihto ja korvausilmaluukut lypsykarjarakennuksessa

Järjestelmäkuvaus

Koneellisen poiston järjestelmä (kuva 49) on toteutettu lehmäpuolella kahdella poistopuhaltimella, max. 7 200 m³/h (30 Pa paine-ero), ja lietekuilun poistopuhaltimella (käsisäätoinen). Korvausilma tulee tilaan korvausilma-aukoista (max. 1 500 m³/h/kpl). Säätokekeskus säättää sekä poistopuhaltimia että luukkuja samassa suhteessa siten, että talvella minimikierrokset ovat vähintään 20 % maksimista. Lämpötilan noustessa ilmavirtaa kasvatetaan. Säätokekeskus lisää lämmityspattereiden vesivirtaa, jos lämpötila laskee alle 13 °C:een.



Kuva 49. Lypsykarjatila. Oikealla ilmanvaihdon periaate.

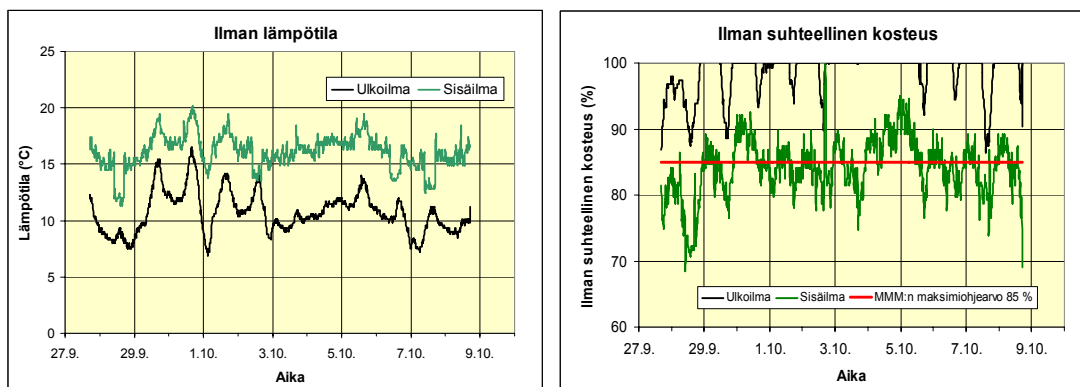
Toimivuuden arviointi ja tehdyt mittaukset

Ilmanvaihdon toimivuutta ei mitattu suoraan ilmavirtamittauksin, vaan ilman lämpötila ja suhteellinen kosteus selvitettiin kahden viikon seurantajaksolla.

Mittaustuloksiin ja asiantuntija-arvioon perustuva yhteenveto toimivuudesta

Kuvassa 50 on esitetty ilman lämpötila ja suhteellinen kosteus mittausjakson aikana.

5. Ilmanvaihtojärjestelmien toimivuus käytännössä – esimerkkijärjestelmiä



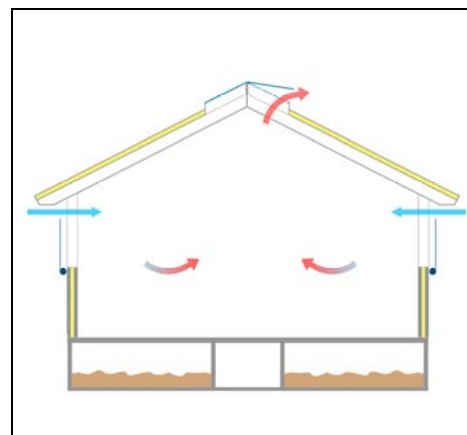
Kuva 50. a) Ilman lämpötilä. b) Ilman suhteellinen kosteus lypsykarjatilalla.

Kuvasta nähdään, että lämpötila on jakson aikana ollut pääsääntöisesti 15–20 °C ja suhteellinen kosteus pääsääntöisesti alle MMM:n maksimiohjearvon 85 %. Suhteellisen kosteuden tasoa voidaan tarvittaessa alentaa nostamalla sisälämpötilaa ja lisäämällä ilmanvaihtoa.

5.5 Kohde E, verhoseinä lypsykarjarakennuksessa

Järjestelmäkuvaus

Kohteena oli 2005 valmistunut verhoseinäinen 124 parsipaikan lypsykarjapihatto (kuva 51). Sen kokonaispinta-ala on 1 383 m² ja tilavuus 6 350 m³. Pihatton ruokintaratkaisu perustuu molemmilla ulkoseinillä oleviin visiiriseiniin eli avautuviin ruokintakaukaloihin. Kantavana pystyrakenteena ovat alaosaan kaareutuvat liimapuupalkit. Vesikattorakenteena on 150 mm paksu lämpöeristetty termisol-elementti ja erillinen vesikate. Verhoseinien aukkokorkeus on 1 metri, ja niiden pituus ulottuu miltei rakennuksen päästä päähän. Harjalla on keskeltä saranoidut kennolevyrakenteiset kattoikkunat, joita avaamalla ilmanvaihtoa säädetään. Päätuseinät ovat lämpöeristettyjä puurunkoseiniä ja ikkunat kolminkertaista akryylikennolevyä.

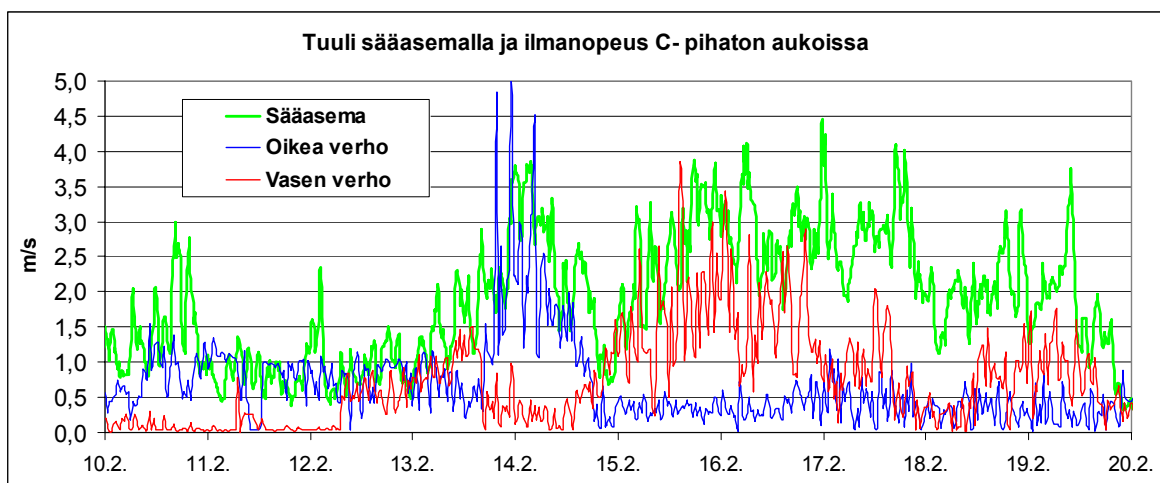


Kuva 51. Lypsykarjapihatto, jossa on luonnollinen ilmanvaihto verhoseinänjulkisivun kautta.

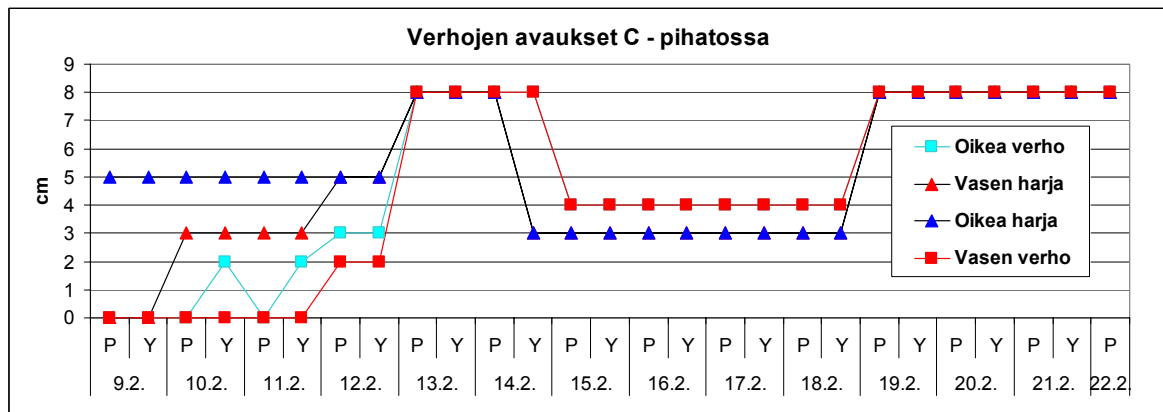
5. Ilmanvaihtojärjestelmien toimivuus käytännössä – esimerkkijärjestelmiä

Toimivuuden arviointi ja tehdyt mittaukset

Pihatossa tehtiin helmikuussa sekä jatkuvaan seurantaan perustuvia että hetkellisiä olosuhdemittauksia. Pitkäaikaisseurannassa selvitettiin lämpötila- ja tuoliolosuhteiden vaikutusta sisäolosuhteisiin, ja samalla kerättiin tietoa verhojen eli ilman tuloaukkojen ja harjaläpän aukaisutiheydestä. Kuvan 53 kaaviot esittävät samaa ajanjaksoa. Kuvassa 52 näkyy tuulen nopeus sääasemalla sekä tuloaukoissa. Ilman nopeus yleensä laski merkittävästi heti tuloaukon jälkeen, jolloin sisällä ei havaittu vetoa. Mittausjaksolla sisälämpötila vaihteli +1 ja +8 °C:n välillä; keskiarvo oli noin +4 °C (huom! poikkeuksellisen lämmin helmikuu).

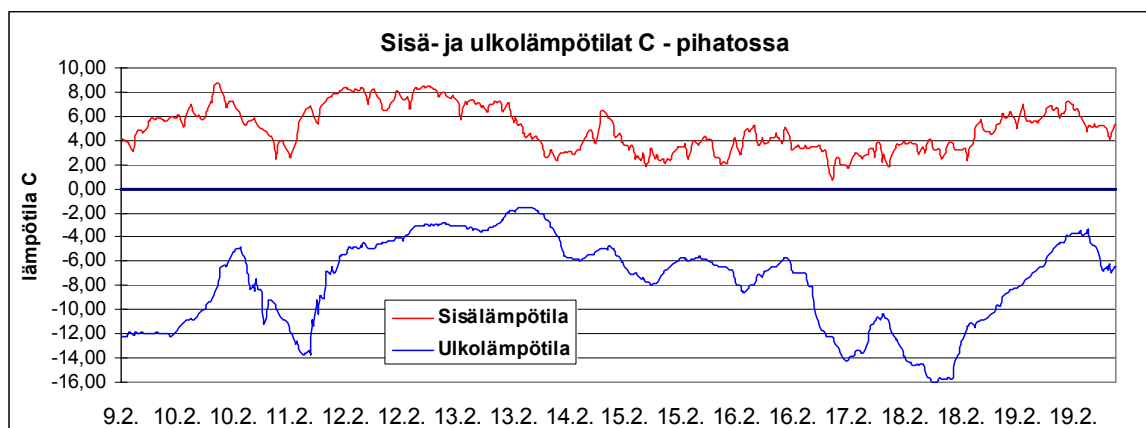


Kuva 52. Ilman virtausnopeudet verhojen aukoissa.



Kuva 53. Verhojen aukaisutiheys (P = päiväasento, Y = yöasento).

5. Ilmanvaihtojärjestelmien toimivuus käytännössä – esimerkkijärjestelmiä



Kuva 54. Sisä- ja ulkolämpötilat mittausjakson aikana. Sisälämpötila on useiden mittauspisteiden keskiarvo.

Mittaustuloksiin ja asiantuntija-arvioon perustuva yhteenveto toimivuudesta

Mittausjakson dataa verrattiin pitkän aikajakson säätilamalliin ja sen perusteella rakennuksessa oletettuihin lämpötiloihin ja kosteuspitoisuuksiin. Vertailun pohjalta laskettiin pihatön lämpötase, kosteustase ja hiilidioksiditase. Tulosten perusteella voitiin mallintaa lämpöeristetyin verhoseinäisen lypsykarjapihatön vuotuinen sisäolosuhteiden ennuste, jonka perusteella verhoseinäpihatön lämpötila pysyy 98,7-prosenttisesti nollarajan yläpuolella vuoden kaikkina tunteina.

5.6 Kohde F, koneellinen tulo-poistoilmanvaihto sonniasemalla

Järjestelmäkuvaus

Sonniaseman (kuva 55) ilmanvaihtojärjestelmänä on koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihto. Ilmanvaihdon mitoitus perustuu 60 sonnin (800 kg) eläinmäärään sekä tavoitetasoihin CO₂ 3 000 ppm ja sisälämpötila $T_{s,minimi} = 10\text{ °C}$. Mitoitusilmavirrat ovat minimi 4 900 m³/h (varautuminen myös minimiin 2 500 m³/h) ja maksimi 37 000 m³/h. Tuloilmavirrasta 18 000 m³/h tuodaan koneellisella tuloilmanvaihtojärjestelmällä ja seinäluukkujen (30 kpl) kautta 700 m³/h/kpl (650) => yht. 39 000 m³/h (37 500). Vesikaton läpi johdetuissa poistoilmakanavissa on poistoilmapuhaltimet (kuva 56). Poistoilmakanavien alapää on noin kolmen metrin korkeudella lattiasta.



Kuva 55. Sonnijalostamossa oli mittauspäivänä 55 sonnina. Oikealla ilmanvaihdon periaate.

5. Ilmanvaihtojärjestelmien toimivuus käytännössä – esimerkkijärjestelmiä

Vesikaton läpi johdetuissa poistoilmakanavissa (4 kpl) on poistoilmapuhaltimet (kuva 56a). Poistoilmakanavien alapää on noin kolmen metrin korkeudella lattiasta.



Kuva 56. a) Poistoilmavirrat mitattiin siipipyöranemometrillä. b) Katolla olevassa tuloilmavirran jakohuoneessa on kaksi tuloilmaukkoa ($d = 0,63$ m), joissa on tuloilmapuhallin. Jakohuoneessa sijaitsevat myös tuloilman esilämmittimet.

Ulkoilma johdetaan sisään katolla olevien ulkoilmasäleikköjen ja ilmavirran jakohuoneen kautta. Jakohuoneessa on 2×22 kW:n tuloilman esilämmittimet (kuva 56b). Jakohuoneesta ilma puhalletaan kahteen tuloilmakanavaan. Kanavien kyljessä olevat tuloilma-aukot ovat säädettävissä ulkoilman lämpötilan mukaan (kuva 57a). Ulkoilmaa voidaan ottaa sisään lisäksi myös painovoimaisesti sivuseinien säädettävien ulkoilmaventtiilien kautta (kuva 57b). Järjestelmässä ei ole lämmöntalteenottoa.

Ilmanvaihtoa ja lämpötiloja säädetään säätölaitteella, joka säätelee ilmanvaihtopuhaltimien kierrosnopeutta muuttamalla moottorille menevän jännitteen taajuutta. Sääto tapahtuu ulkolämpötilojen perusteella.



Kuva 57. a) Toinen tuloilmakanavista katossa. b) Sivuseinissä on 30 ulkoilman lämpötilan mukaan säätävää ulkoilmaventtiiliä.

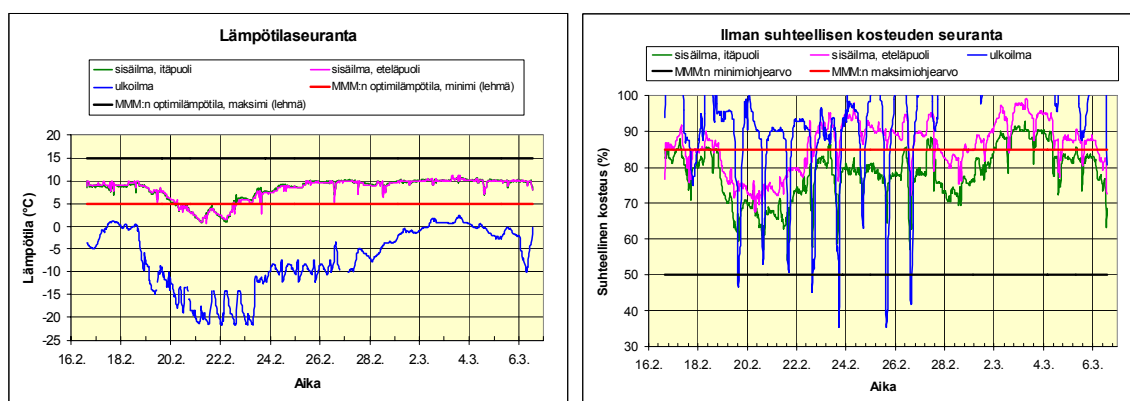
Toimivuuden arviointi ja tehdyt mittaukset

Sisäilmastomittaukset käsittivät ilmanvaihdon, lämpöolosuhteiden (ilman lämpötila ja suhteellinen kosteus sekä veto) ja CO₂-pitoisuuden mittauksen. Lämpötilojen, ilman suhteellisen kosteuden ja CO₂-pitoisuuden mittaukset tehtiin jatkuvatoimisilla seurantamittareilla helmi–maaliskuussa 2007.

Ilmanvaihdon toimivuutta arvioitiin mittaamalla kertamittauksella poistoilmavirta neljästä kanavasta säätöasetuksilla minimi (10 %) ja maksimi (100 %). Tuloilmavirta mitattiin kahdesta tulokanavasta (sekä jakohuoneen seinäsäleiköistä epätarkka arvio) 10 %:n ilmavirtatilanteessa.

Mittaustuloksiin ja asiantuntija-arvioon perustuva yhteenveto toimivuudesta

Kuvassa 58 on esitetty noin kolmen viikon ilman lämpötilaa ja kosteutta koskevat mittaustulokset.



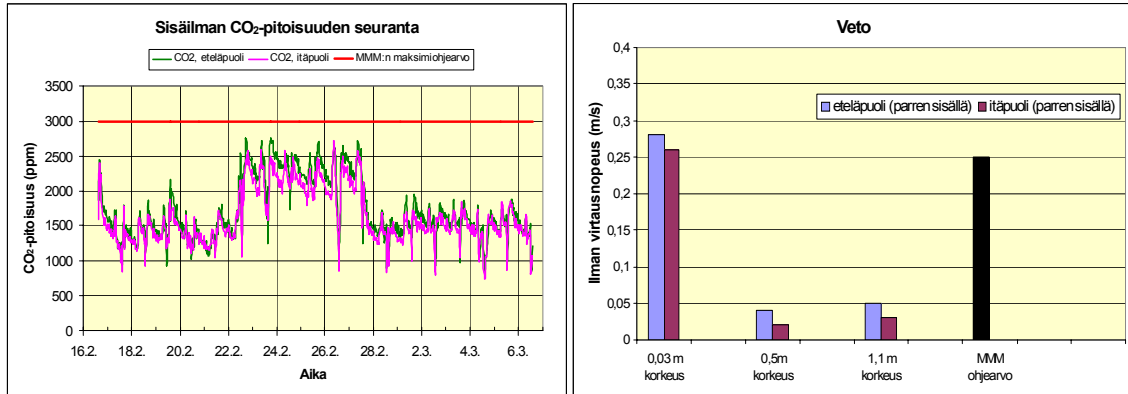
Kuva 58. Seurantamittausten tulokset ilman a) lämpötilalle ja b) kosteudelle.

Sisäilman lämpötilat olivat optimilämpötilarajojen mukaisia lukuun ottamatta ajanjaksoa 20.–22.2, jolloin sisäilman lämpötila laski lähelle 0 °C:ta. Silloin oli seurantajakson kylmin ajanjakso eikä ilmanvaihto ilmeisesti säätnyt pienemmäksi tai tuloilman lämmitystä ei lisätty tarpeeksi nopeasti. Ilmanvaihtoa pienentämällä lämpötila saatiin nousemaan normaalille tasolle. Seurantajakson lopulla ilman lämpötila oli yllättävän tasainen, vaikka ulkolämpötila vaihteli paljon. Tämä osoittaa, että sisäilman lämpötilan säätö voidaan saada onnistumaan säätölaitteella hyvin.

Sisäilman suhteellinen kosteus oli seurantajakson aikana useita päiviä yli maksimiohjeen 85 %. Muutamissa ikkunoissa kosteus oli tiivistynyt ikkunan sisäpinnalle. Liian suuri sisäilman kosteus voi pidempään jatkuessaan vaurioittaa rakenteita ja aiheuttaa korroosiota metallirakenteissa. Kosteusongelmat johtunevat siitä, että pakkasjaksolla ilmanvaihto pidettiin melko pienellä teholla (10–20 %). Tilanne paransi siten, että tuloilmaa esilämmitettäisiin pakkasjaksoina enemmän, jolloin ilmanvaihtoa ei tarvitsisi pienentää liikaa.

Kuvassa 59a näkyy CO₂-pitoisuudet noin kolmen viikon ajalta. Kuvaan on merkitty myös MMM-RMO C2.2:n maksimiohje. Kuvaan 59b on puolestaan merkitty vetomittausten tulokset. Vetomittaukset edustavat kolmen minuutin keskiarvoa.

5. Ilmanvaihtojärjestelmien toimivuus käytännössä – esimerkkijärjestelmiä



Kuva 59. a) Seurantamittausten tulokset CO₂-pitoisuudelle. b) Ilman nopeus (veto) mitattiin kolmen minuutin keskiarvona eri paikoissa.

Kuvan 59a mukaan CO₂-pitoisuuden keskiarvot molemmissa päädyissä olivat selvästi alle tuotantorakennuksen ohjearvon 3 000 ppm sekä alle HTP-arvon 5 000 ppm. Kuvan 59b mukaan vedon ohjearvo 0,25 m/s ylitettiin lattiatasolla rakennuksen molemmissa päädyissä, vaikka mittausta ei suoritettu aivan kylmimpänä aikana. Sen sijaan 0,5 m ja 1,1 m:n korkeudella veto jäi selvästi alle ohjearvon.

Kehitystarpeet ja -ehdotukset

Kohteessa ei poiston osalta saavutettu maksimi-ilmavirtaa. Lämmitys ei toiminut suunnitellulla tavalla, ja kosteus nousi yli maksimiarvon. Toimenpide-ehdotuksena esitetään, että automatiikan ja lämmittimien toimivuus sekä lämpötilan asetusarvo tarkistetaan. Lämpötilaa nostamalla saadaan suhteellista kosteutta pienennettyä.

Suurimpana syynä lattiatason ilman virtausnopeuden ylityksille olivat sonniaseman molempien päätyjen lannankuljetusaukkojen kautta tulevat kylmät ilmavirtaukset. Veto- ja jäätymisongelmaa voidaan vähentää tiivistämällä kaikki vuotoaukot paremmin. Rakentamalla kuljetinaukkoihin oviverhotyylinen lämminilmapuhallus veto- ja jäätymisongelma poistuisi kokonaan.

5.7 Kohde G, koneellinen poistoilmanvaihto porsitussikalassa

Järjestelmäkuvaus

Tilalle on rakennettu muutama vuosi sitten moderni 7 000 m²:n suursikala. Kyseessä on porsitussikala, jossa on enintään noin 1 800 porsasta ja sikaa (kuva 60).

5. Ilmanvaihtojärjestelmien toimivuus käytännössä – esimerkkijärjestelmiä



Kuva 60. Porsitussikala. Oikealla ilmanvaihdon periaate.

Ilmanvaihtojärjestelmänä on koneellinen poistoilmanvaihto. Vesikaton läpi johdetuissa poistoilmakanavissa on poistoilmapuhaltimet, mittauspropellit ja hormikuristin (kuva 61a). Poistoilmakanavan alapää on noin 50 cm kattopintaa alempana. Ulkoilma johdetaan sisään katolla olevien ulkoilmasäleikköjen kautta (kuva 61b). Lämmityskaudella ulkoilma otetaan räystäiden alla olevien ulkoilma-aukkojen välityksellä. Tiloihin tuloilma johdetaan polyeteenikalvosta tehtyjen muoviputkien kautta (kuva 61c). Putkien halkaisija on 1 m, ja niihin on puhkaistu tuloilma-aukot säännöllisin välein.



Kuva 61. a) Poistoilmapuhallin taka-alalla, edessä kaksisiipinen ilmavirran mittauspotkuri ja keskellä hormikuristin. b) Tuloilmasäleiköt katolla. Kuvassa näkyvät myös tuloilman kostutukseen käytettävät vesisuuttimet. c) Muovinen tuloilmakanava. Kanavaan on syötetty merkisavua tuloilmavirran visualisoimiseksi.

Lämmityskaudella poistoilman lämpöä siirretään tuloilmaan lämmöntalteenoton avulla. Poistoilman lämmönsiirto tuloilmaan tapahtuu poistoilmakanavien seinämien kautta. Seinämät ovat rypyttettyä alumiinipeltiä. Lämmityskauden aikainen tuloilmareitti kulkee poistoilmakanavien vieritse, jolloin tuloilma lämpenee. Jäähdytyskaudella tuloilmaa jäähdytetään sumuttamalla siihen vettä. Kuvassa 61 on esitetty sumuttamiseen käytettävät suuttimet. Myös ulkoilman ottaminen varjon puolelta jäähdyttää ilmaa.

Hajuhaittoja on pienennetty vähentämällä ammoniakkin tuottoa. Tämä on saatu aikaan jäähdyttämällä sikalan lietalannan lämpötilaa lämpöpumpulla. Sikalaa lämmitetäänkin ensisijaisesti lietalannan lämmöllä. Näillä toimenpiteillä on poistoilmavirtoja voitu alentaa 30 % normitukseen verrattuna.

Toimivuuden arviointi ja tehdyt mittaukset

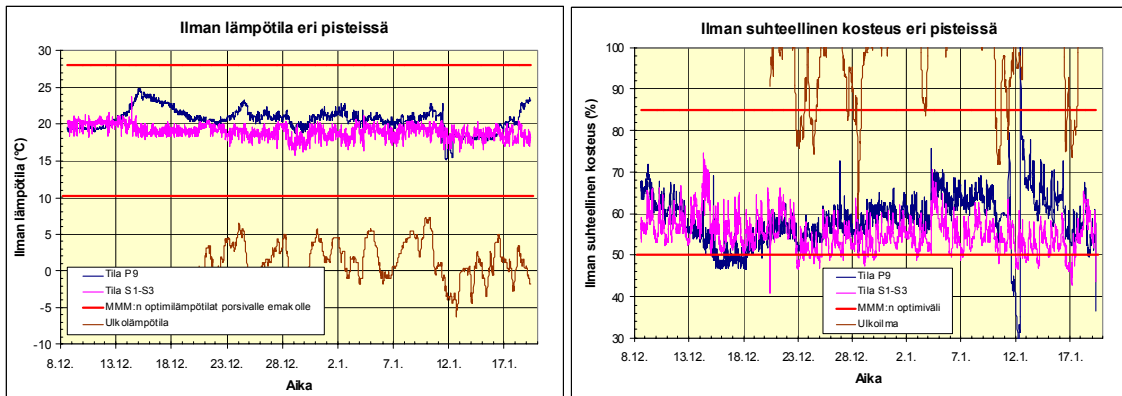
Sisäilmastomittaukset käsittivät ilmanvaihdon, lämpötilojen, ilman suhteellisen kosteuden, CO₂-pitoisuuden ja ilman kokonaispölypitoisuuden sekä vedon mittauksen kahdessa eri tilassa. Lämpötilojen,

5. Ilmanvaihtojärjestelmien toimivuus käytännössä – esimerkkijärjestelmiä

ilman suhteellisen kosteuden ja CO₂-pitoisuuden mittaukset tehtiin jatkuvatoimisilla seurantamittareilla joulukuussa 2006–tammikuussa 2007.

Mittaustuloksiin ja asiantuntija-arvioon perustuva yhteenveto toimivuudesta

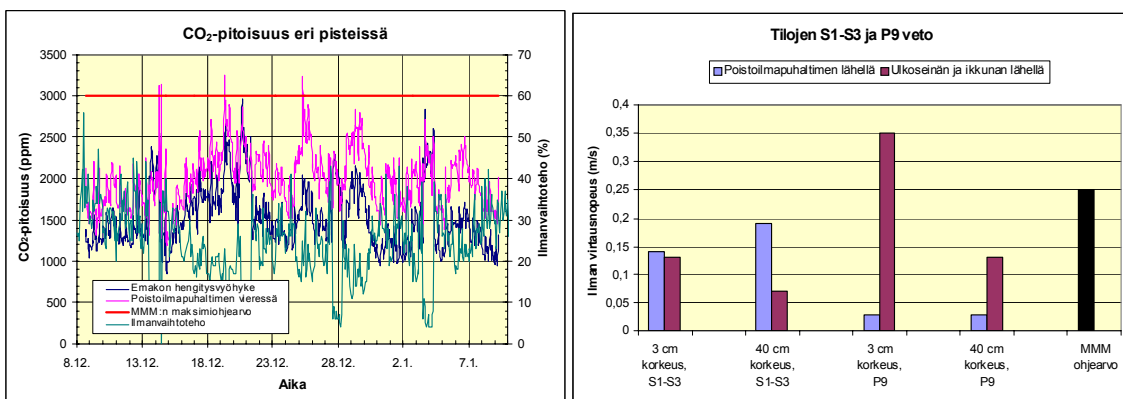
Kuvassa 62 on esitetty 4–6 viikon mittaukset ilman lämpötilalle ja kosteudelle.



Kuva 62. Seurantamittausten tulokset ilman a) lämpötilalle ja b) kosteudelle.

Lämpötilat olivat ohjearvojen mukaisia emakoiden tiloissa. Pikkuporsaiden alustan vierestä lämpötiloja ei mitattu. Molemmissa mitatuissa tiloissa ilman suhteellinen kosteus pysyi hyvin ohjearvon 50–85 % sisällä.

Kuvassa 63a on esitetty 4–6 viikon mittaukset CO₂-pitoisuudelle. Kuvaan on merkitty myös MMM-RMO C2.2:n maksimiohjearvo. Kuvassa 63b näkyvät vetomittausten tulokset. Vetomittaukset edustavat kolmen minuutin keskiarvoa.

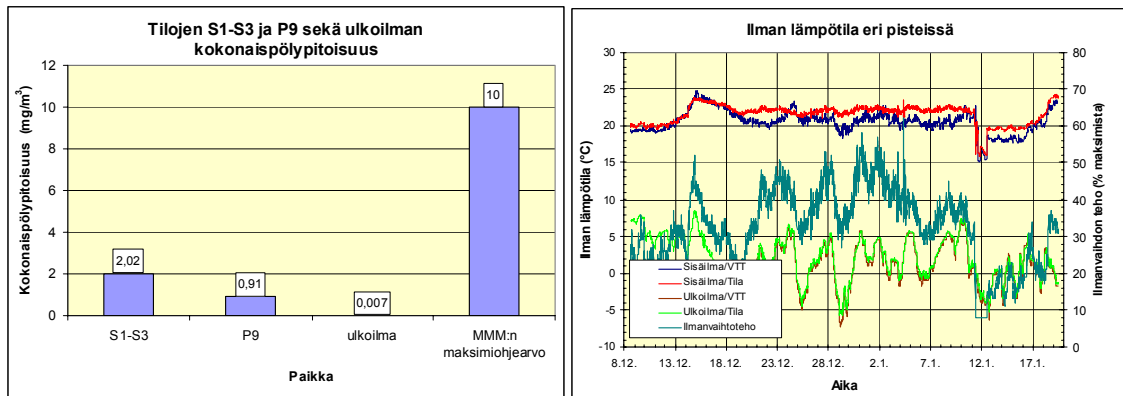


Kuva 63. a) Seurantamittausten tulokset CO₂-pitoisuudelle. b) Ilman nopeus (veto) mitattiin kolmen minuutin keskiarvona eri paikoissa.

5. Ilmanvaihtojärjestelmien toimivuus käytännössä – esimerkkijärjestelmiä

Kuvan 63a mukaan CO₂-pitoisuuden keskiarvot olivat selvästi alle tuotantorakennusten ohjearvon 3 000 ppm sekä alle HTP-arvon 5 000 ppm. Vetomittausten tulokset jäivät pääosin selvästi alle ohjearvon. Toisaalta ulkolämpötila ei ollut kovin alhainen mittausten aikana.

Kuvassa 64 on esitetty pölymittausten tulokset. Lisäksi siinä näkyy tilan automatiikkajärjestelmän tekemien lämpötilamittausten vertailu VTT:n mittauksiin (lämpötila-anturien toimivuustarkastelu).



Kuva 64. a) Ilman kokonaispölypitoisuus eri tiloissa. Tilasta S1-S3 siirreltiin mittausten aikana emakkoja muihin tiloihin. b) Lämpötilan ja ilmanvaihtotehon mittaukset yhdessä tilassa.

Kuvan 64a mukaan kokonaispölypitoisuus alitti selvästi orgaanisen pölyn ohjearvon 10 mg/m³ ja oli noin 40 % orgaanisen pölyn HTP-arvosta. Mitatuissa lukemissa on mukana myös epäorgaaninen pöly, mutta sen osuuden arvioidaan olevan erittäin pieni verrattuna orgaaniseen pölyyn.

Kuvan 64b mukaan tilan automatiikkajärjestelmän mitaamat lämpötila-arvot olivat ajoittain lähes samat kuin VTT:n anturien antamat lukemat mutta pääosin noin 2 °C korkeammat. Suoraa vertailua hankaloittaa se, että anturit eivät sijainneet vierekkäin. Ulkolämpötila-anturien mitaamat arvot sen sijaan olivat hyvin lähellä toisiaan. Lisäksi havaitaan, että ilmanvaihtoteho seurasi ulkoilman lämpötilavaihteluita.

5.8 Kohde H, koneellinen tulo-poistoilmanvaihto lämmöntalteenotolla poistoilmasta ja kattotilasta lihasikalassa

Rakennus on noin 1 000 m²:n lihasikala, jossa on 960 kasvatuspaikkaa (kuva 65). Sikalan yhteydessä ei ole erillistä lietalantaa, vaan lanta ja virtsa imeytetään karsinoiden lattialle levitettävään kuivikkeeseen, kutteripuruun. Purun levitys ja poisto tehdään noin kerran viikossa. Poistetut purut varastoidaan ulos sikalan pihalle, josta ne levitetään pellolle.

5. Ilmanvaihtojärjestelmien toimivuus käytännössä – esimerkkijärjestelmiä



Kuva 65. Lihasikala. Oikealla ilmanvaihdon periaate.

Ilmanvaihtojärjestelmänä on koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihto. Vesikaton läpi johdetuissa poistoilmakanavissa (8 kpl) on poistoilmapuhallin ja kanavan alaosassa manuaalinen kuristuslevy ja kondenssin keräys (kuva 66). Poistoilmakanavan alapää on noin 50 cm kattopintaa alempana.



Kuva 66. a) Sikalan poistoilmakanavat ovat katossa, tulokanavat niiden sivuissa (siniset). b) Poistoilmakanava, puhallin kanavassa, kuristuslevy sekä kondenssikeräysputket.

Ulkoilma johdetaan räystäiden alta sisään ullakolle, jossa se esilämpenee. Sitten ilma johdetaan poistoilmakanavan kyljessä olevien tuloilmapuhaltimien (8 kpl) avulla omaa tuloilmakanavaa pitkin sikalaan (kuva 67).



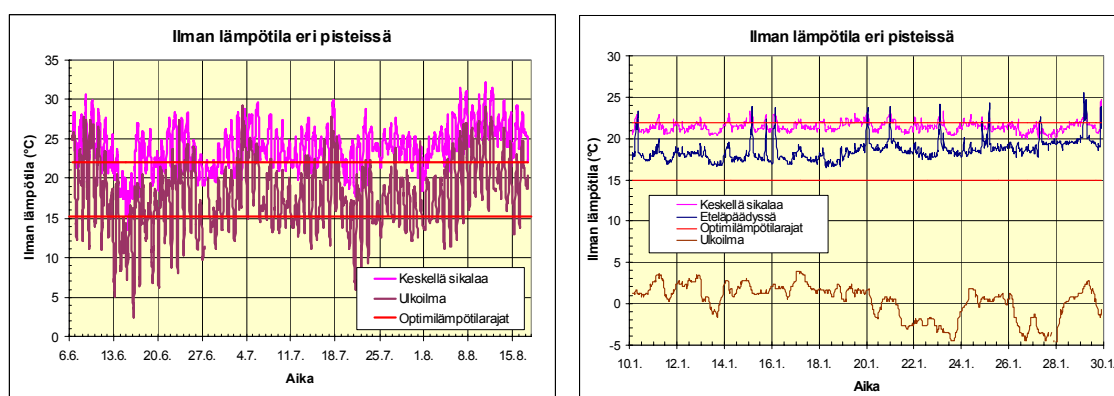
Kuva 67. a) Tuloilmapuhallin sijaitsee ullakolla poistoilmakanavan kyljessä. b) Tuloilma-aukkojen tarkoituksena on johtaa tuloilma sikalaan tasaisesti.

5. Ilmanvaihtojärjestelmien toimivuus käytännössä – esimerkkijärjestelmiä

Tuloilmareitti kulkee poistoilmakanavien vieritse. Tällöin poistoilmakanavien seinämien kautta tuloilmaan siirtyy lämpöä. Tuloilmareitti vaikuttaa tosin kovin ahtaalta. Poistoilman lämpöä siirretään tuloilmaan myös kesäisin, koska jos tulopuhaltimet sammutettaisiin, riskinä on sisäilman kosteuden siirtyminen ullakkotilaan tulokanavaa pitkin. Kesäaikaan tuloilma otetaan kuitenkin pääasiassa avoimena olevien ikkunoiden ja ovien kautta.

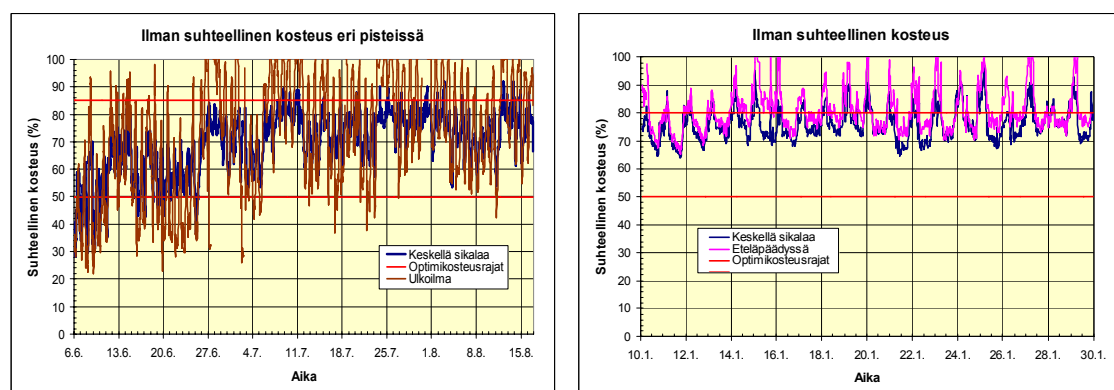
Pölynlähteitä eläinten lisäksi ovat muun muassa kuivikkeet ja rehupöly, jota pääsee ilmaan rehua siirrettäessä säiliöistä sikalan puolelle.

Sisäilmastomittaukset käsittivät ilmanvaihdon, ilman lämpötilan ja suhteellisen kosteuden sekä ilman pölypitoisuuden, vedon ja CO₂-pitoisuuden mittaamisen. Ilman lämpötilan, suhteellisen kosteuden ja CO₂-pitoisuuden mittaukset tehtiin jatkuvatoimisilla seurantamittareilla yli kahden kuukauden seurantana sekä kesällä 2007 että talvella 2007–2008. Kuvaan 68 on merkitty ilman lämpötilat eri pisteissä mittausseurannan ajalta kesällä ja talvella.



Kuva 68. Ilman lämpötila karsinassa noin kahden metrin korkeudella eri pisteissä a) kesällä ja b) talvella.

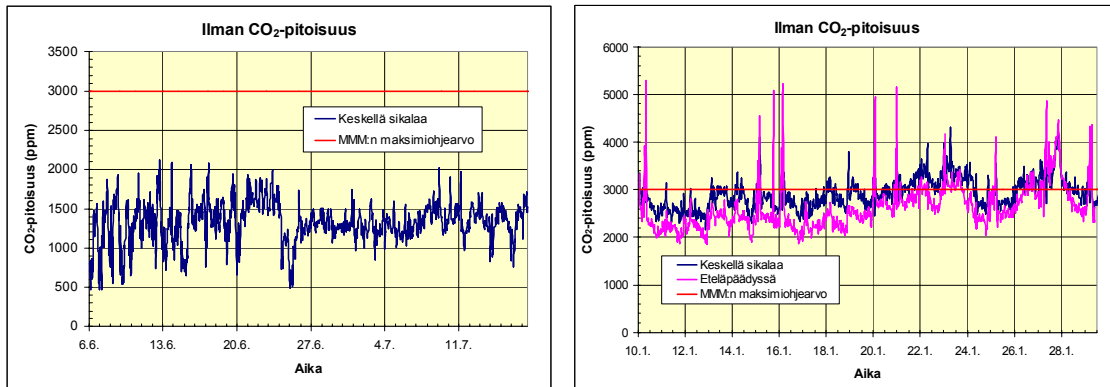
Kuvaan 69 on merkitty ilman suhteellinen kosteus eri pisteissä mittausseurannan ajalta kesällä ja talvella.



Kuva 69. Ilman suhteellinen kosteus karsinassa noin kahden metrin korkeudella keskellä sikalaa ja ulkoilmassa a) kesällä ja b) talvella.

5. Ilmanvaihtojärjestelmien toimivuus käytännössä – esimerkkijärjestelmiä

Kuvaan 70 on merkitty sikalan ilman CO₂-pitoisuus mittausseurannan ajalta kesällä ja talvella.

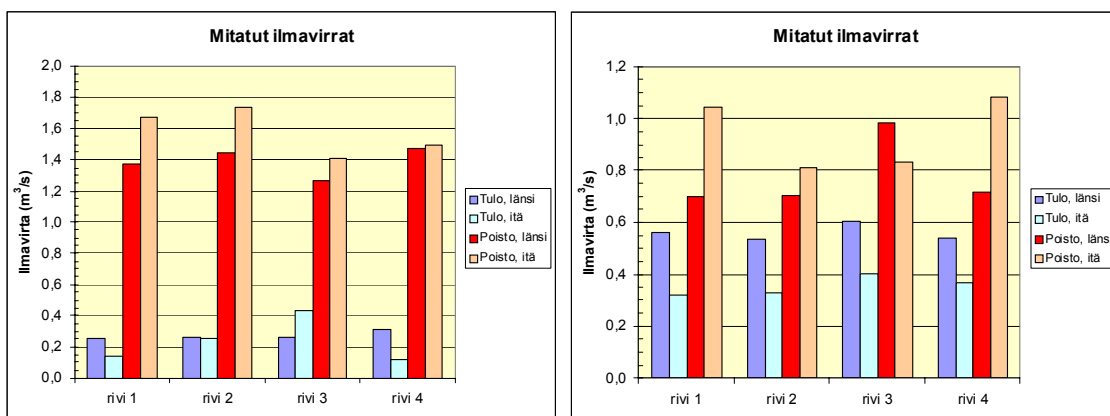


Kuva 70. Ilman CO₂-pitoisuus karsinassa noin kahden metrin korkeudella keskellä sikalaa a) kesällä ja b) talvella.

CO₂-pitoisuus oli kesällä 500–2 000 ppm, joka alitti maksimiohjearvon 3 000 ppm selvästi. Tämä johtuu todennäköisesti siitä, että sikalassa pidettiin ikkunoita ja ovia auki. Talvella läpituuletusta ei voinut käyttää, joten CO₂-pitoisuus oli talvella selvästi suurempi kuin kesällä. Mittausjakson aikana pitoisuus oli välillä 2 000–3 500 ppm. Pitoisuudet olivat lähellä maksimiohjearvoa ja välillä ylittivätkin sen. Tämäkin mittaus tukee käsitystä, että ilmanvaihtoa tulisi tehostaa.

Ilman kokonaispölypitoisuus (orgaaninen ja epäorgaaninen) oli kesällä keskimäärin noin 13 mg/m³ ja talvella 11 mg/m³. Mitatut pitoisuudet ylittivät selkeästi orgaanisen pölyn HTP-arvon 5 mg/m³ ja ovat työntekijän terveyden kannalta haitallisia.

Kuvaan 71 on merkitty eri venttiileistä mitatut hetkelliset ilmavirrat kesällä ja talvella.



Kuva 71. Tulo- ja poistoilmavirrat mitattuna a) kesällä ja b) talvella.

Mittausten mukaan MMM-RMO C2.2:n ilmavirtojen ohjearvo toteutui, kun ilmanvaihtopuhaltimet olivat 100 %:n käyttöteholla. Tuloilmaventtiilien kautta tuleva ilmavirta oli kuitenkin huomattavasti pienempi kuin poistoilmavirta. Tämän vuoksi suurin osa tuloilmasta tuli muita reittejä kuin kyseisten venttiilien kautta. Kesäaikaan, kun ikkunoita ja ovia pidettiin auki, suurin osa tuloilmasta (5/6-osa) tuli

5. Ilmanvaihtojärjestelmien toimivuus käytännössä – esimerkkijärjestelmiä

niiden kautta. Läpituuletus on voinut jopa lisätä kokonaisilmanvaihdon määrää. Talviaikaan noin puolet tuloilmasta tuli erilaisten rakojen ja vuotojen kautta, mikä lisäsi sikojen vedon saannin riskiä. Yhtenä syynä ilmiöön voidaan pitää tuloilmakanavien ahtautta. Talvella tuloilmavirrat olivat selvästi suuremmat kuin kesällä ja poistoilmavirrat taas selvästi pienemmät, vaikka ilmanvaihdon tehoilla ei ollut suurta eroa. Tämä johtuu siitä, että talvella ovet ja ikkunat olivat kiinni. Tällöin poistoilmapuhallin ei suuremman alipaineen (painehäviön) takia pystynyt pyörimään yhtä tehokkaasti. Sen sijaan tuloilmapuhaltimen toiminta tehostui suuren alipaineen vaikutuksesta. Sekä tulo- että poistoilmavirroissa eri kanavien välillä oli suuria eroja. Mittausten perusteella tuloilmavirtoja tulisi lisätä, jotta ilmavaihto olisi riittävän tasaista joka puolella sikalaa. Nyt vuotoilmavirrat viilensivät ja samalla laimensivat epäpuhtauspitoisuuksia vain sikalan päätyosissa. Lisäksi tuloilmavirtojen lisääminen vähentäisi suurta alipaineisuutta.

Kehitystarpeet ja -ehdotukset

Ilman kokonaispölypitoisuus oli suuri sekä kesällä että talvella, mikä myös näkyi pintojen pölyisyytenä. Tämän vuoksi rehun siirtotapaa säiliöistä sikalan puolelle avoimeen rehuastiaan pitäisi kehittää. Ilmanvaihtoa voitaisiin tehostaa lisäämällä tuloilmakanavia ja puhaltimia tai lisäämällä ulkoilmaventtiileitä. Samalla liian suuri paine-ero pienenesi.

5.9 Kohde I, koneellinen poisto- ja alajakoinen tuloilmanvaihto porsitussikalassa

Rakennus on 4 900 m²:n porsitussikala (kuva 72). Porsituspuoli on valmistunut vuonna 2006, ja sen pinta-ala on noin 990 m² (11 porsitusosastoa). Sikalassa on noin 500 emakkoa.



Kuva 72. Porsitussikala, jossa on noin 500 emakkoa. Oikealla ilmanvaihdon periaate.

Ilmanvaihtojärjestelmänä porsitusosastolla on ns. alajakoinen tuloilmajärjestelmä, jossa on koneellinen poistoilmanvaihto. Vesikaton läpi johdetuissa poistoilmakanavissa on poistoilmapuhallin ja mittapuhallin (kuva 73a). Jokaisessa porsitusosastossa on yksi poistoilmapuhallin. Ulkoilma johdetaan osastojen ulko-ovien alapuolelta sokkeliaukoista alapohjaan (kuva 73b). Alapohja on noin 60 cm korkea avoin tila, jossa eri osastot on eristetty toisistaan muovikalvolla (kuva 73c).

5. Ilmanvaihtojärjestelmien toimivuus käytännössä – esimerkkijärjestelmiä



Kuva 73. a) Porsitusosaston poistoilmakanava katossa. Alimmaisena on musta mittapuhallin. b) Ulkoilma-aukko. c) Alapohjan yläreunassa näkyvät lantakaukaloiden pohjat, joista lähtevä putkisto kuljettaa lannan ja virtsan lietesäiliöön.

Alapohjasta ilma siirtyy osastojen sivuseinien viereisten tuloilmaritilöiden kautta osastoon (kuva 74a). Tuloilma ohjataan koko seinän pituudelta reunalevyjen (korkeus noin 40 cm) kautta karsinoihin. Kesällä tuloilma viilenee alapohjan vaikutuksesta ja talvella lämpenee alapohjan ja lantakaukalon vaikutuksesta ennen osastoon tuloa. Lisäksi tuloilmaa voidaan lämmittää osastojen ulko-ovien alapuolella sokkeliaukossa olevien lämmittimien avulla (kuva 74b).



Kuva 74. a) Tuloilmaritilä, josta tuloilma virtaa osastoon. b) Tuloilmalämmitin (radiaattoripuhallin) alapohjassa, jota käytetään tuloilman esilämmittimenä. Puhallin imee ilman ylhäältäpäin ja jakaa sen alapuolelta joka suuntaan.

Poistoilmavirrat mitoitetaan sisälämpötilojen hallintaan, ei epäpuhtauksien laimentamiseen. Tavoitteena on 20–23 °C:n sisälämpötila, kun tilassa ei ole porsaita, ja 20–28 °C porsaiden kanssa. Ilmavirran minimi ja maksimi asetetaan kasvatusvaiheen mukaan. Minimi- ja maksimialueen välistä poistoilmavirtaa säädetään emakon hengitysvyöhykkeen lähellä olevalla lämpötila-anturilla.

Lisäksi jokaisen porsitusosaston alapohjassa on lämpötilamittari, joka ohjaa kuvassa 74b näkyvää alapohjan lämmitintä. Alapohjan lämpötilan laskiessa alle +2 °C:een lämmitin käynnistyy. Tällöin hake-/öljylämmityskattilasta tuleva glykoli johdetaan putkia pitkin lämmittimeen. Sääto tapahtuu siten, että kun alapohjan lämpötila on +3 °C, on glykolin lämpötila +4 °C, ja kun alapohjan lämpötila on –20 °C, on glykolin lämpötila +40 °C. Lisäksi pikkuporsaille on oma lattialämmitys sekä lämpölamput.

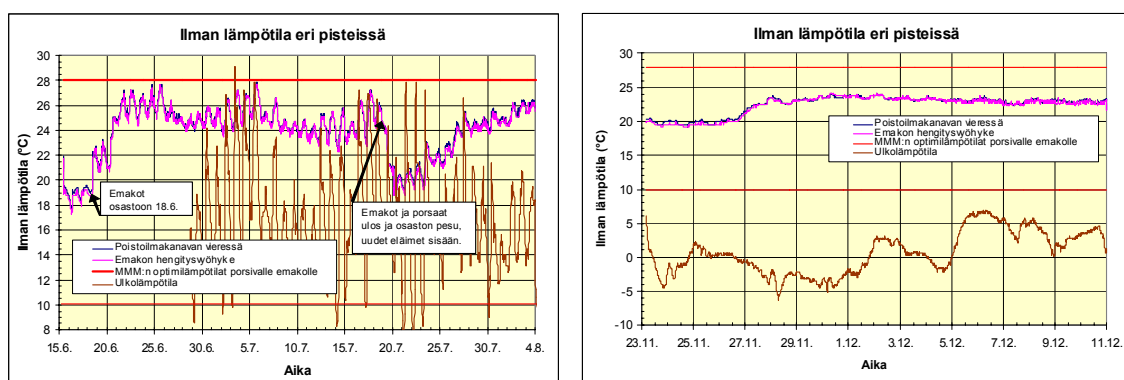
5. Ilmanvaihtojärjestelmien toimivuus käytännössä – esimerkkijärjestelmiä

Järjestelmässä on lisäksi nk. tuntivaikutusmittari (tuntihidastin). Kun ulkolämpötila putoaa jyrkästi esimerkiksi hellejakson jälkeen, muuttuu myös sisälämpötila nopeasti. Tämä voi aiheuttaa porsaille stressiä. Siksi sisäilman lämpötila säädetään säätöalueen kautta keskiarvotetun ulkolämpötilan mukaan. Keskiarvotus voidaan tehdä jopa 32 tunnin ajalta. Isännän kertoman mukaan kesällä 2007 tapahtunut ulkolämpötilan lasku oli aiheuttanut stressiä vieroitusporsaille, kun tuntihidastin oli ollut 6 tuntia. Tuntihidastimen muutos 24 tuntiin oli parantanut tilannetta selvästi.

Toimivuuden arviointi ja tehdyt mittaukset

Mittaukset tehtiin yhdessä porsitusosastossa sekä kesällä että talvella. Sisäilmastomittaukset käsittivät ilmanvaihdon, ilmanjaon sekä vedon, lämpötilan, ilman suhteellisen kosteuden, ilman pölypitoisuuden ja CO₂-pitoisuuden mittaamisen.

Kuvaan 75 on merkitty ilman lämpötilat eri pisteissä mittausseurannan ajalta kesällä ja talvella. Kuvaan on merkitty myös MMM-RMO C2.2:n mukaiset porsivan emakon optimilämpötilojen rajat. Suosituslämpötilat porsaille ovat huomattavasti korkeammat.

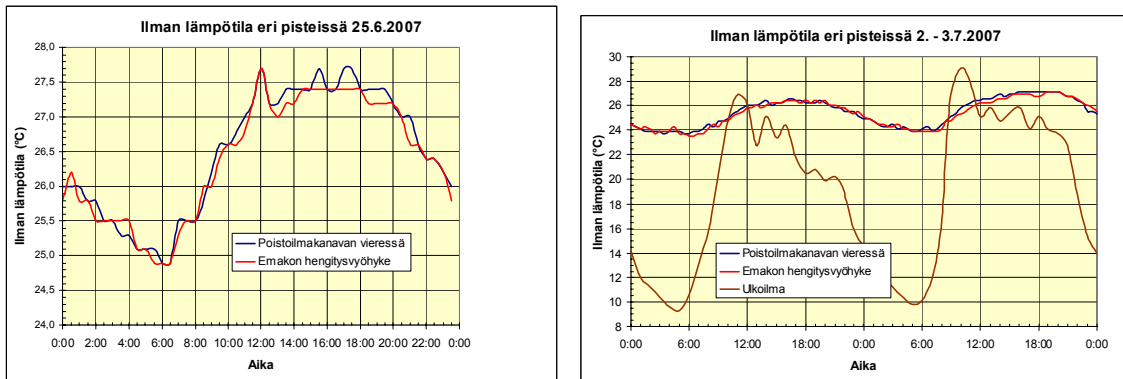


Kuva 75. Ilman lämpötila yhdessä porsitusosastossa eri pisteissä a) kesällä ja b) talvella.

Kuvan 75a mukaan kesällä tuloilma sekoittui hyvin huoneilmaan eikä lämpötilakerrostumia esiintynyt. Ilman lämpötila pysyi koko mittauksen ajan porsivan emakon optimialueella. Kuvan 75b mukaan myös talvella ilman lämpötila pysyi optimaalisena. Porsaiden syntyminen lisäsi osaston lämpötilaa noin 4 °C:lla (porsaiden aiheuttama lämpö, lämpölamput ja lattialämmitys).

Kesällä sisäilman lämpötilan vaihtelut voivat olla suuria. Kuvan 75a mukaan sisälämpötilat vaihtelevan päivän aikana 1–3 °C, mikä on melko paljon ja vaikuttanee porsaiden lämpötuntemuksiin – ainakin jos muutokset tapahtuvat nopeasti. Kuvassa 76a on esitetty esimerkkinä lämpötilan vaihteluista ilman lämpötilat yhden päivän aikana. Kuvaan 76b on merkitty sisä- ja ulkolämpötilojen vaihtelut kahden päivän aikana.

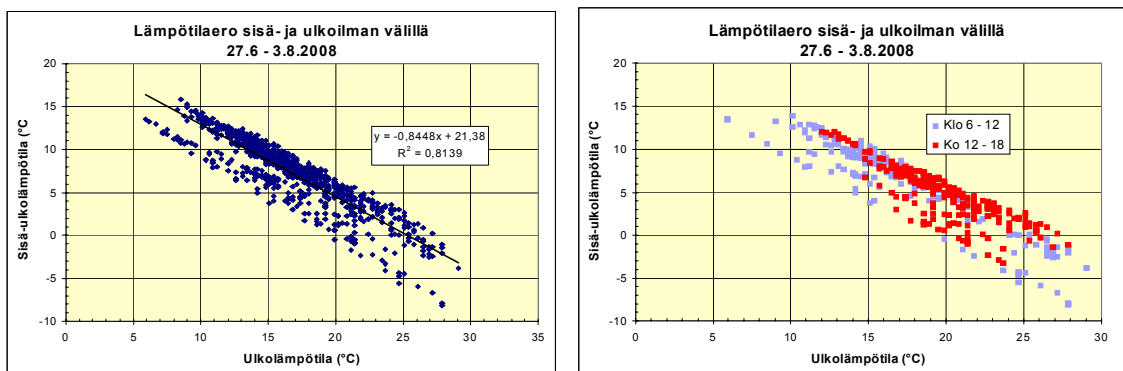
5. Ilmanvaihtojärjestelmien toimivuus käytännössä – esimerkkijärjestelmiä



Kuva 76. Ilman lämpötila porsitusosaston eri pisteissä a) 25.6.2007 ja b) 2.–3.7.2007.

Kuvan 76a mukaan lämpötilavaihtelu päivän aikana oli noin 3 °C. MMM-RMO C2.2:n mukaan imeväisikäisillä porsilla lämpötilan vaihteluväli saisi olla korkeintaan 2 °C. Kuvan 76b mukaan ulkolämpötila vaihteli heinäkuun alkupäivinä voimakkaasti noin 10–29 °C:n välillä. Sen sijaan sisälämpötilan vaihteluväli oli paljon pienempi: 24–27 °C. Lisäksi on huomattava, että sisälämpötila oli päivän kuumimmilla hetkillä alle ulkolämpötilan.

Kuvaan 77 on merkitty kuvan 75a tiedoista ulko- ja sisälämpötilojen ero eri ulkolämpötiloilla.



Kuva 77. a) Sisä- ja ulkolämpötilojen ero eri ulkolämpötiloilla. b) Sisä- ja ulkolämpötilojen ero eri ulkolämpötiloilla aamupäivällä ja iltapäivällä.

Kuvan 77 a mukaan ulkolämpötila vaihteli kesällä voimakkaasti muutamasta asteesta lähes 30 °C:seen. Lämpötilaero sisä- ja ulkoilman välillä vaihteli myös voimakkaasti noin -10 ja 15 asteen välillä. Keskimäärin ero oli 7,2 astetta. Joinakin hetkinä sisällä on ollut viileämpää kuin ulkona, mutta suurimman osan ajasta sisällä on ollut 5–10 astetta lämpimämpää kuin ulkona.

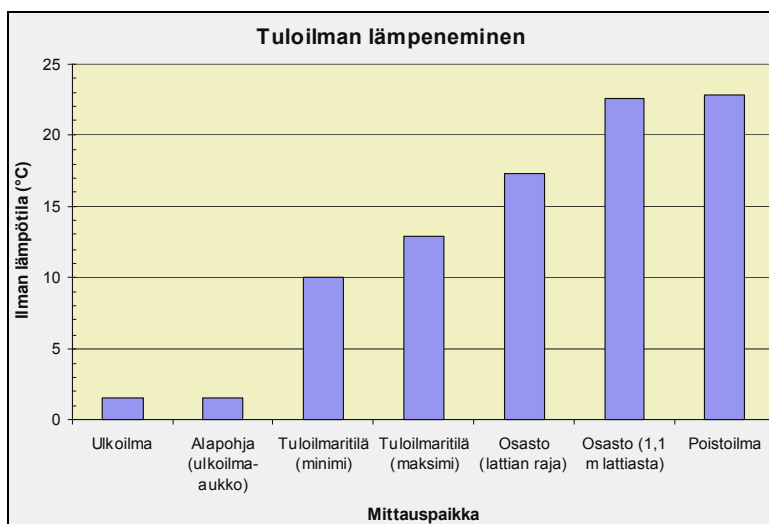
Kesäajan maksimi-ilmavirran mitoituksen lähtökohtana useimmissa ohje-arvoissa on, että sisälämpötila saa olla 5 astetta ulkolämpötilaa korkeampi silloin, kun ulko-lämpötila on 20 °C. Mittaustulokset osoittavat, että tässä porsitussikalassa näin keskimäärin onkin. Ulkolämpötilalla 20 °C sisälämpötila on ollut keskimäärin 24,5 °C, vaihdellen hetkellisesti välillä 19–27 °C.

Porsivalle emakolle asetettu ylempi kriittinen lämpötila 32 °C ei näiden mittausten mukaan ylittynyt kertaakaan. Sen sijaan ulkolämpötilan ollessa yli 25 °C oli sisälämpötila alhaisempi kuin ulkolämpötila.

5. Ilmanvaihtojärjestelmien toimivuus käytännössä – esimerkkijärjestelmiä

la. Tämä ilmiö on myös nähtävissä myös kuvassa 76b. Talvella sisäilman lämpötilan vaihtelut olivat vähäisiä ja selvästi pienempiä kuin kesällä, vaikka ulkolämpötilassa oli välillä jyrkkiäkin vaihteluita.

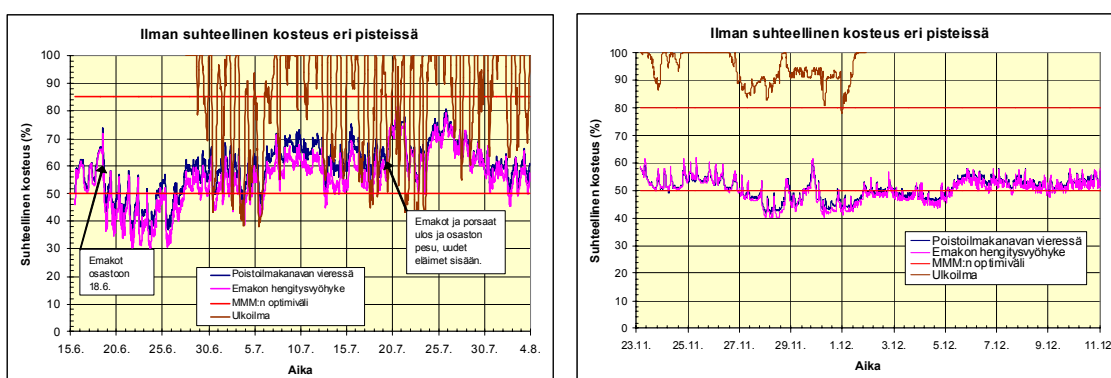
Kuvaan 78 on merkitty ilman lämpeneminen sen tullessa ulkoa alapohjan kautta osastoon ja poistoilmanvaihtoon.



Kuva 78. Tuloilman lämpeneminen sen tullessa alapohjan ja tuloilmaritilöiden kautta osastoon.

Kuvan 78 mukaan tuloilma lämpenee alapohjassa voimakkaasti, jopa 11 °C. Tuloilmaa lämmittävät muun muassa lantakaukaloiden alapohjat. Vastaavasti lantaliete kaukaloissa jäähtyy, mikä aiheuttaa muun muassa ammoniakkiemissioiden vähenemistä. Ammoniakkipitoisuutta ei tosin mitattu.

Kuvaan 79 on merkitty ilman suhteellinen kosteus eri puolilla osastoa mittausseurannan ajalta kesällä ja talvella. Kuviin on merkitty myös MMM-RMO C2.2:n ala- ja ylärajasuosituksen.

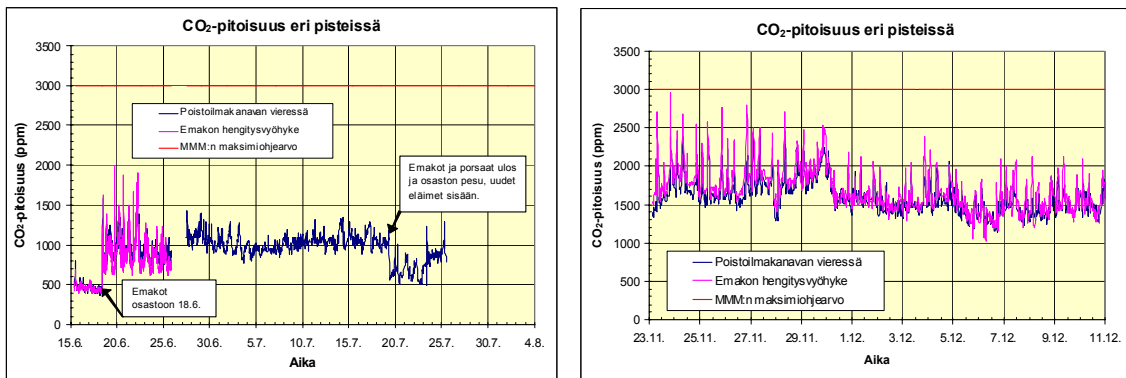


Kuva 79. Ilman suhteellinen kosteus porsitusosaston eri pisteissä a) kesällä ja b) talvella.

Kuvan 79 mukaan ilman suhteellinen kosteus oli kesämittauksissa välillä 30–70 % ja talvimittauksissa välillä 40–60 %. Minimiohjearvo 50 % alittui kesäkuussa ja talvella vain muutamina päivinä. Maksimiohjearvoa 80 % ei ylitetty kummankaan mittausjakson aikana.

5. Ilmanvaihtojärjestelmien toimivuus käytännössä – esimerkkijärjestelmiä

Kuvaan 80 on merkitty ilman CO₂-pitoisuus mittausseurannan ajalta kesällä ja talvella. Kuviin on merkitty myös MMM-RMO C2.2:n maksimiohjearvo.



Kuva 80. Ilman CO₂-pitoisuus porsitusosaston eri pisteissä a) kesällä ja b) talvella.

Kuvan 80a mukaan CO₂-pitoisuus oli kesällä välillä 500–1 300 ppm ja alitti maksimiohjearvon 3 000 ppm selvästi. Talvella CO₂-pitoisuus oli pääosin välillä 1 300–2 000 ppm. Emakon hengitysvyöhykkeellä mitatut ”piikit” johtuvat siitä, että mittalaite sijaitsi lähellä emakkoa. CO₂-pitoisuus aleni pian porsaiden syntymisen jälkeen, mikä johtunee ilmavaihdon lisääntymisestä. CO₂-pitoisuus oli talvella suurempi kuin kesällä, mihin lienee syynä ilmavaihdon vähentyminen kesäaikaan verrattuna.

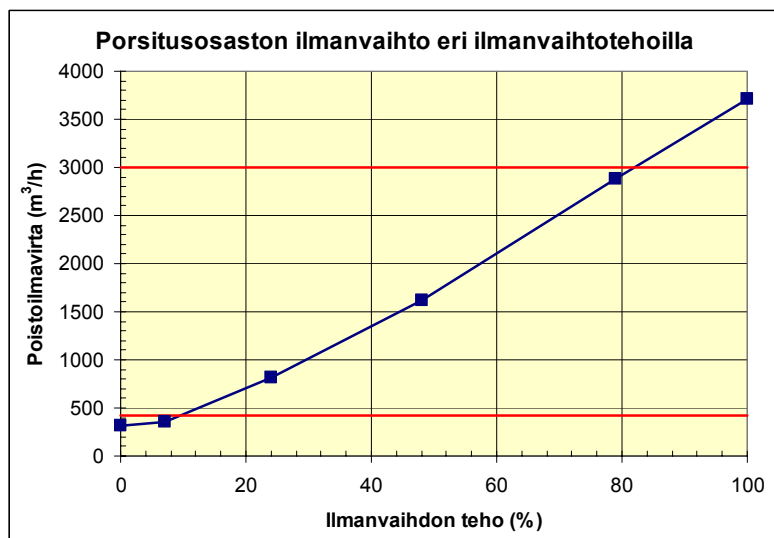
Ilman kokonaispölypitoisuudet (orgaaninen ja epäorgaaninen) mitattiin kesällä. Tulosten mukaan pitoisuudet olivat kahdessa mitatussa porsitusosastossa 14,0 mg/m³ ja 13,0 mg/m³. Tulokset ylittivät maksimiohjearvon 10 mg/m³, mikä myös näkyi pintojen pölyisyytenä. Tuotantorakennuksissa esiintyvä pöly on lähes kokonaan orgaanista ja peräisin pääasiassa rehuista ja eläimistä. Mitatut pitoisuudet ylittivät selkeästi orgaanisen pölyn HTP-arvon 5 mg/m³ ja ovat työntekijän terveyden kannalta haitallisia.

Kuvaan 81 on merkitty mitatut poistoilmavirrat ilmanvaihdon eri tehoilla sekä ohjearvot minimille ja maksimille. Minimisäätöasento saatiin aikaan asettamalla osaston lämpötila-anturi tuloilmaritilöiden päälle. Maksimisäätöasento puolestaan tehtiin asettamalla osaston lämpötila-anturi lämpölampun alle.

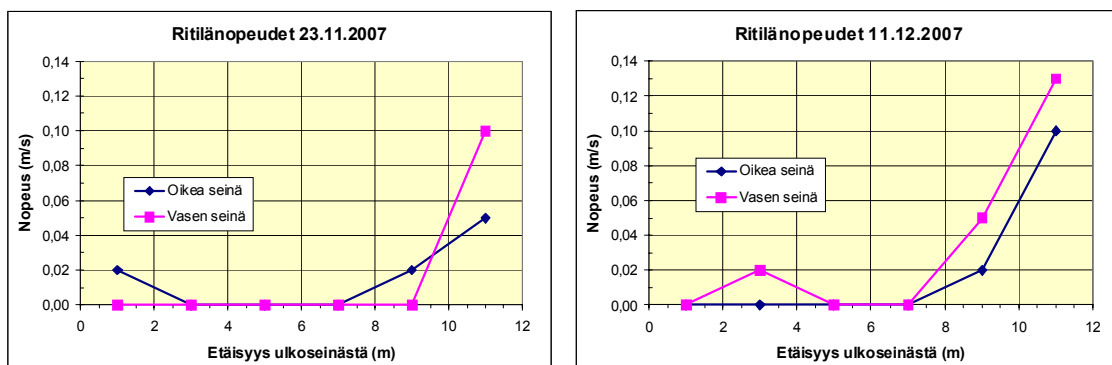
Kuvan 81 mukaan minimiohjearvo alittui mitatun poistoilmavirran osalta hiukan pienimmällä mitatulla teholla (7 %). Sen sijaan muut tehot olivat ohjearvojen mukaisia. Minimiohjearvo saavutetaan noin 10 %:n ja maksimiohjearvo noin 82 %:n ilmanvaihdon teholla.

Nopeusjakauma ilmavirtojen tulosta osastoon selvitettiin vain talvella mittaamalla ilmavirran nopeuksia tuloilmasta kahteen kertaan. Mittaukset tehtiin tuloilmaritilän kohdalla 3 cm:n korkeudella osaston molempien sivuseinien vierellä (kuva 82).

5. Ilmanvaihtojärjestelmien toimivuus käytännössä – esimerkkijärjestelmiä



Kuva 81. Ilmanvaihdon mittaustulokset. Yhdelle emakolle ja seitsemälle pikkuporsaalle minimiohjearvo on $35 \text{ m}^3/\text{h}$ ja maksimiohjearvo $250 \text{ m}^3/\text{h}$. Kuvan ohjearvot on laskettu 12 emakolle porsaineen.

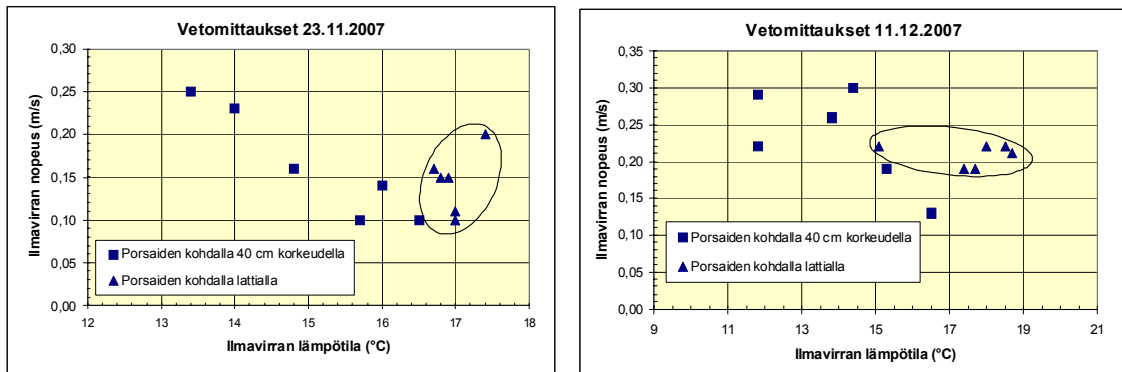


Kuva 82. Tuloilmavirran nopeus 3 cm:n korkeudella lattiaritilästä eri kohdissa a) 23.11.2007 ja b) 11.12.2007.

Kuvan 82 mukaan tuloilmavirrat jakautuivat epätasaisesti ritilän eri kohdissa siten, että suurimmat nopeudet ($0,13 \text{ m/s}$) olivat käytäväseinän puoleisessa päädyssä.

Vetoa tarkasteltiin vain talvella mittaamalla ilmavirran nopeutta ja lämpötilaa eri kohdista karsinaa kahdella eri mittauskerralla, kuva 83. Osastoon tuleva tuloilma ohjattiin molempien huonesivujen muoviritilän viereisten reunalevyjen (korkeus noin 40 cm) kautta karsinoihin.

5. Ilmanvaihtojärjestelmien toimivuus käytännössä – esimerkkijärjestelmiä



Kuva 83. Vetomittausten tulokset talvella porsitusosaston eri pisteissä. Lattiamittaustulokset on ympäristöity. a) Ilmanvaihdon teho oli 24 % ja ulkolämpötila oli noin 6 °C. b) Ilmanvaihdon teho oli 48 % ja ulkolämpötila oli noin 1,5 °C.

Kuvan 83 mukaan ilmavirran nopeudet vaihtelivat mittauspaikesta riippuen välillä 0,1–0,3 m/s. Ilmavirran pudotessa reunuksen yli lattialle sen nopeus ei juuri muuttunut mutta lämpötila kasvoi usealla asteella.

Kehitystarpeet ja -ehdotukset

Tuloilma olisi hyvä saada jakautumaan tasaisemmin ritilän eri osille. Epätasainen jakauma voi aiheuttaa joihinkin karsinoihin liian suuren ilmavirran, joka saattaa aiheuttaa vetoa ja sen myötä porsaiden ripulointia. Toisaalta toisten karsinoiden ilma voi vaihtua liian hitaasti.

Vetomittausten mukaan ilmavirtauksen pudotessa muoviritilöiden vieressä olevien reunalevyjen yli karsinoiden lattialle sen nopeus ei juuri muuttunut mutta lämpötila kasvoi usealla asteella. Reunalevyt voisivat olla hieman korkeampia, jotta tuloilma lämpenisi nykyistäkin enemmän karsinaan tullessaan. Nyt vaarana on, että tuloilma tippuu ritilästä noustessaan reunalevyjen ylitse suoraan karsinaan liian nopeasti ja aiheuttaa vetoa.

Lämpöolojen osalta ilmanvaihtojärjestelmä toimii hyvin sekä kesällä että talvella. Tuloilman ohjaaminen alapohjan kautta tasoittaa sisäilman lämpötilavaihteluita tehokkaasti. Kuumimpina kesäpäivinä sisäilman lämpötila saattaa olla jopa alle ulkolämpötilan. Talvella alapohja toimii tuloilmaa lämmittävänä alueena. Samalla lannan jäähtyminen vähentää emissioita. Henkilökunnan haastattelussa kehuttiinkin tilan sisäilmaa ja todettiin sen olevan aistinvaraisesti selvästi normaalia sikalaa parempi. Myös tutkijat aistivat ilman laadun olosuhteisiin nähden hyväksi sekä kesällä että talvella.

5.10 Kohde J, koneellinen poisto- ja alajakoinen tuloilmanvaihto porsitussikalassa

Järjestelmäkuvaus

Tila toimii porsitussikalana (kuva 84). Sikalassa on yli 900 emakkoa. Porsaas lähtevät jatkokasvatukseen noin 30-kiloisina.

5. Ilmanvaihtojärjestelmien toimivuus käytännössä – esimerkkijärjestelmiä



Kuva 84. Porsitussikala, jossa on yli 900 emakkoa. Oikealla ilmanvaihdon periaate.

Ilmanvaihtojärjestelmänä porsitusosastolla on ns. alajakoinen tuloilmajärjestelmä, jossa on koneellinen poistoilmavaihto. Ulkoilma johdetaan alapohjaan sokkeliaukoista osastojen ulko-ovien alapuolelta (kuva 85a).



Kuva 85. a) Ulkoilma tulee sisään oven kohdalla olevan ritilän kautta. b) Alapohjan kanava, jota pitkin tuloilma siirtyy laualattiaritilälle seinustojen viereen.

Kesäisin ilma siirtyy alapohjassa sivukanavia pitkin (kuva 85b) suoraan osaston seinustoilla olevien tuloilmaukkojen (laualattiaritilä) kautta osastoon (kuva 86a). Näin tuloilma jäähtyy alapohjassa ennen osastoon tuloa. Tuloilma ohjautuu reunalevyjen (korkeus noin 40 cm) kautta karsinoihin. Reunalevyä on hiukan korotettu (70 cm) porsaiden kohdalta vedon välttämiseksi.

5. Ilmanvaihtojärjestelmien toimivuus käytännössä – esimerkkijärjestelmiä



Kuva 86. a) Lautalattiaritilä, josta tuloilma virtaa osastoon vasemmalla olevan reunalevyn yli karsinaan. b) Alapohjassa on tuloilman lämmitin, jota käytetään lisälämmittimenä.

Talvisin tuloilma kulkee suoraan alapohjan keskellä olevaa kanavaa pitkin käytäväseinustalle asti, josta se jaetaan kanavaa pitkin sivuseinien tuloilmaukkoja (lautalattiaritilä) kohti. Näin tuloilma esilämpenee talvella ennen osastoon tuloa. Lisäksi tuloilmaa voidaan lämmittää osastojen ulko-ovien alapuolella sokkeliaukossa olevien lämmittimien avulla (kuva 86b). Lantakaukalot eivät ole tuloilma-kanavien kohdalla eivätkä näin ollen lämmitä tuloilmaa.

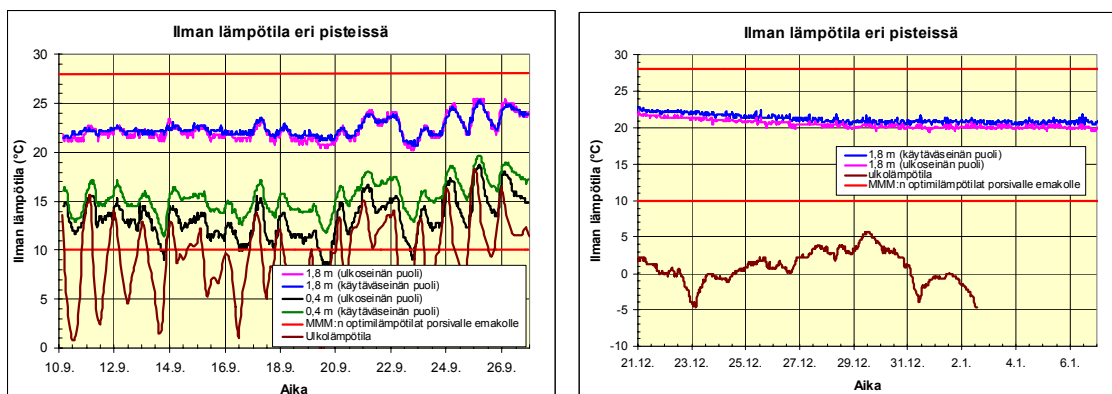
Kussakin porsitusosastossa on yksi poistoilmaventtiili, jossa on tilavuusvirran säätölappä. Poistoilma johdetaan alumiinipinnoitetusta polyuretaanista valmistettuun kanavaan, jossa neljä poistopuhallinta tuottaa kanavaan 10–20 Pa:n alipaineen. Alipaine pyritään pitämään kanavassa vakiona säätölaitteiden avulla, jotka säätävät puhaltimien kierrosnopeutta muuttamalla moottoreille menevän jännitteen taajuutta. Kunkin porsitusosaston ilmavirtaa säädetään venttiilissä olevalla läpällä. Sääto tapahtuu kasvatuspäivien ja eläinmäärien perusteella. Järjestelmän tavoitteena on asettaa lämpötila ja ilmavirta oikealle tasolle kasvatustilanteen mukaan.

Toimivuuden arviointi ja tehdyt mittaukset

Mittaukset tehtiin yhdessä porsitusosastossa sekä syksyllä että talvella. Sisäilmastomittaukset käsittivät ilmanvaihdon, lämpötilojen, ilman suhteellisen kosteuden, ilmanjaon, vedon ja CO₂-pitoisuuden mittaamisen.

Kuvaan 87 on merkitty ilman lämpötilat eri korkeuksilla ja eri puolilla osastoa mittausseurannan ajalta syksyllä ja talvella. Kuvaan on myös merkitty MMM-RMO C2.2:n mukaiset porsivan emakon optimilämpötilojen rajat. Porsaille suosituslämpötilat ovat huomattavasti korkeammat.

5. Ilmanvaihtojärjestelmien toimivuus käytännössä – esimerkijärjestelmiä



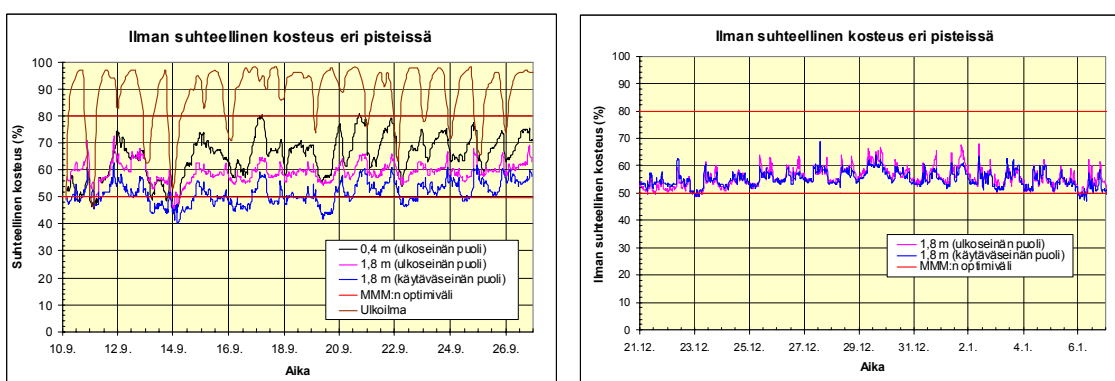
Kuva 87. Ilman lämpötilat eri puolilla porsitusosastoa a) syksyllä ja b) talvella.

Kuvan 87a mukaan sisäilman lämpötila seurasi ulkolämpötilää siten, että alapohjassa oleva tuloilmakanava lievensi lämpötilamuutoksia voimakkaasti. Ilman lämpötila oli koko mittauksen ajan porsivan emakon optimialueella.

Syksyn aikana sisäilman lämpötilan vaihtelut voivat olla suuria. Kuvan 87a mukaan sisälämpötila voi vaihdella päivän aikana 1–3 °C, mikä on melko paljon ja vaikuttanee porsaiden lämpötuntemuksiin – varsinkin jos muutokset tapahtuvat nopeasti.

Kuvan 87b mukaan porsitusosaston lämpötilat olivat talvella optimilämpötilarajojen mukaisia. Sisäilman lämpötilan päivävaihtelut olivat vähäisiä ja selvästi pienempiä kuin syksyn mittauksissa, vaikka ulkolämpötilassa oli välillä jyrkkiäkin vaihteluita.

Kuvaan 88 on merkitty ilman suhteellinen kosteus eri korkeuksilla ja eri puolilla osastoa syksyllä ja talvella. Kuvaan on merkitty myös MMM-RMO C2.2:n ala- ja ylärajasuositukset.

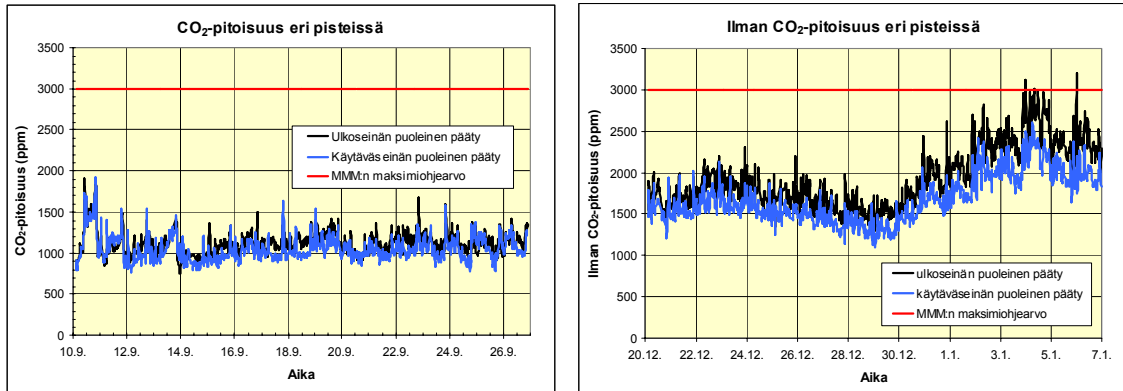


Kuva 88. Ilman suhteellinen kosteus porsitusosaston eri pisteissä a) syksyllä ja b) talvella.

Kuvan 88 mukaan ilman suhteellinen kosteus syksyllä oli 40–80 % ja talvella 50–65 %. Minimiohjearvo 50 % alittui ajoittain. Maksimiohjearvoa 80 % ei ylitetty.

Kuvaan 89 on merkitty CO₂-pitoisuus mittausseurannan ajalta syksyllä ja talvella. Kuviin on merkitty myös MMM-RMO C2.2:n maksimiohjearvo.

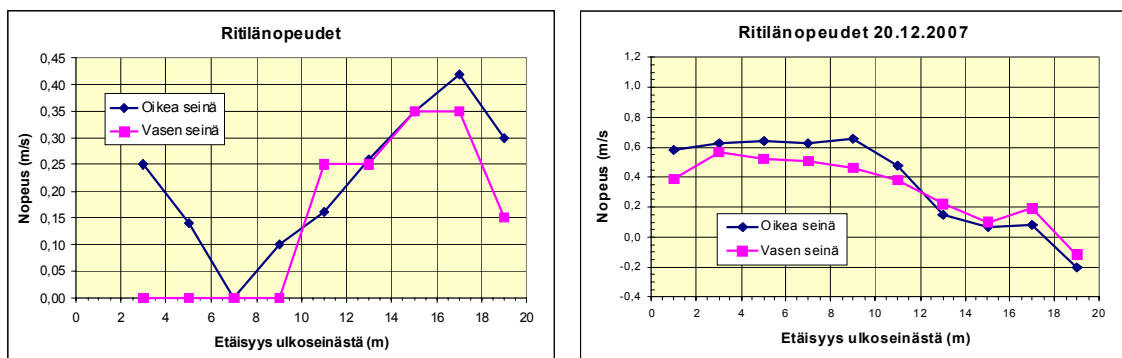
5. Ilmanvaihtojärjestelmien toimivuus käytännössä – esimerkkijärjestelmiä



Kuva 89. Ilman CO₂-pitoisuus porsitusosaston eri pisteissä a) syksyllä ja b) talvella.

Kuvan 89 mukaan CO₂-pitoisuus oli syksyllä pääosan mittausajasta välillä 800–1 300 ppm ja talvella välillä 1 500–2 500 ppm. Mittaustulokset olivat selvästi alle MMM:n maksimiohjearvon, mikä osoitti, että ilmanvaihto oli riittävää. Kuvasta 89b havaitaan, että 30.12. jälkeen CO₂-pitoisuus alkoi kasvaa. Tuolloin ulkolämpötila alkoi selvästi kylmetä, minkä vuoksi automaatiojärjestelmä pienensi ilmanvaihdon tehoa ja CO₂-pitoisuutta sen myötä kasvoi.

Tuloilmavirtojen nopeusjakauma osastoon selvitetiin mittaamalla ilmavirran nopeuksia tuloilmasta lautalattiaritilän kohdalla 3 cm:n korkeudella osaston molempien seinien vierellä. Kuvaan 90 on merkitty tuloilmavirtojen nopeudet syksyllä ja talvella.



Kuva 90. Tuloilmavirran nopeus 3 cm:n korkeudella lattiaritilästä eri kohdissa a) syksyllä ja b) talvella.

Kuvan 90 mukaan virtausnopeudet olivat talvella keskimäärin suurempia kuin syksyllä. Verrattaessa syksyn ja talven mittaustuloksia keskenään havaitaan myös, että syksyllä suurimmat nopeudet olivat käytäväseinän puolella ja talvella ulkoseinän puolella. Tämä johtuu siitä, että tuloilman virtausreitti on syksyllä ja talvella erilainen.

Syksyllä vetoa tarkasteltiin mittaamalla ilmavirran nopeutta ja lämpötilaa kolmessa eri mittaustilanteessa:

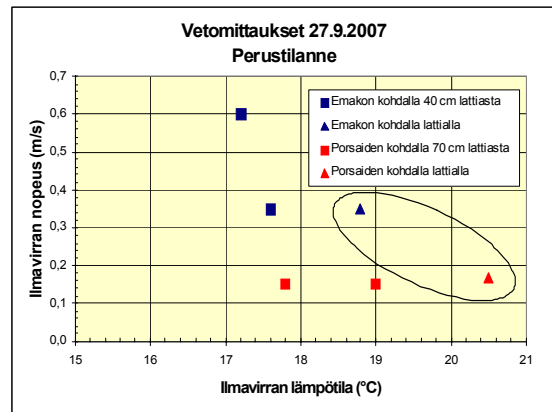
1. Ensimmäinen mittaus tehtiin perustilanteessa, jossa osastoon tuleva tuloilma ohjattiin molempien huonesivujen lautalattiaritilän viereisten reunalevyjen (korkeus noin 40 ja 70 cm) kautta

5. Ilmanvaihtojärjestelmien toimivuus käytännössä – esimerkkijärjestelmiä

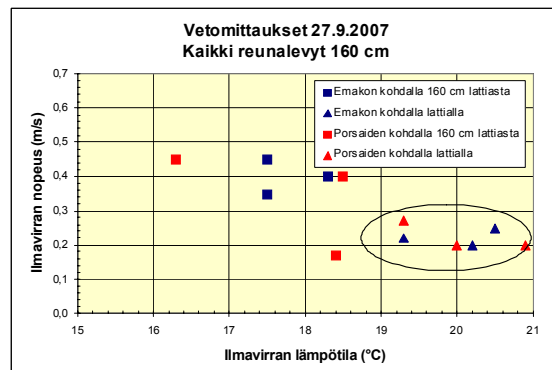
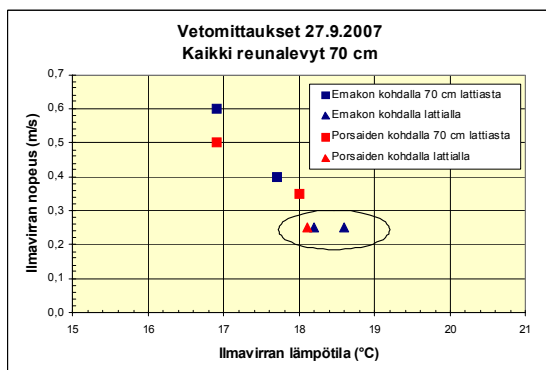
karsinoihin. Korotetut reunalevyt olivat emakon toisella puolella porsaiden lämpölevyjen kohdalla vedon välttämistä varten.

2. Toisessa mittaustilanteessa molempien huonesivujen reunalevyt oli tasattu muovilla tasakorkuiseksi (70 cm) myös emakon molemmin puolin.
3. Kolmannessa mittaustilanteessa huonesivujen reunalevyt oli korotettu muoviseinäkkeillä noin 1,6 m:n korkeuteen (kuva 91a).

Mittaustulokset on esitetty kuvissa 91b–92.



Kuva 91. a) Porsitusosastossa osastoon tuleva ilma ohjataan 1,6 m korkean, käytäväseinästä ulkoseinään ulottuvien muoviseinäkkeiden yli. b) Vetomittauksen tulokset syksyllä perustilanteessa (mittaustilanne 1). Lattiamittaustulokset on ympyröity.



Kuva 92. Vetomittauksen tulokset syksyllä, kun a) kaikki reunalevyt ovat 70 cm:n korkuisia (mittaustilanne 2), b) kaikki reunalevyt ovat 160 cm:n korkuisia (mittaustilanne 3). Lattiamittaustulokset on ympyröity.

Tulosten mukaan ilmavirran nopeudet vaihtelivat mittauksittain hyvin paljon. Yleisesti ottaen ilmavirran nopeus pieneni ja lämpötila nousi, kun virtaus putosi reunuksen yli lattialle. Verrattaessa kuvia 92a ja 92b havaitaan, että ilmavirran nopeus lattianrajassa ei juuri riipu reunakkeen korkeudesta. Sen si-

5. Ilmanvaihtojärjestelmien toimivuus käytännössä – esimerkijärjestelmiä

jaan lattiataason lämpötilat olivat noin 1–3 °C korkeampia silloin, kun reunukset olivat korkeat. Tämän suuruista lämpiämistä voidaan pitää vedon vähenemisen kannalta merkittävänä.

Talvella vetoa tarkasteltiin vain yhdessä mittaustilanteessa (kuva 93a):

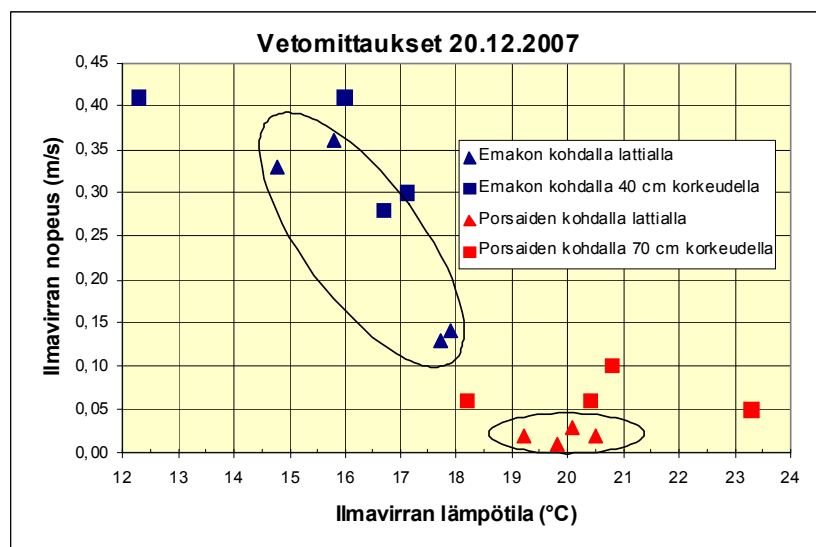
1. Osastoon tuleva tuloilma ohjattiin molempien huonesivujen lautalattiaritilän viereisten reunalevyjen (korkeus noin 40 ja 70 cm) kautta karsinoihin (perustilanne).

Ennen mittauksia tuloilman lautaritiläosaan tehtiin tilan puolesta muutos kuristamalla tuloilman virtausta asentamalla lautoja tuloilmaritilän päälle (kuva 93b). Ajatuksena oli saada tuloilmalle enemmän lähtönopeutta ja saada se jakautumaan osastoon tasaisemmin ja vedottomasti.



Kuva 93. a) Talvella vetomittaus tehtiin perustilanteessa, jossa korotetut reunalevyt olivat emakon toisella puolella porsaiden lämpölevyjen kohdalla vedon välttämiseksi. b) Tuloilman lautaritiläosaan tehtiin muutos kuristamalla tuloilmanvirtausta laudoilla koko matkalta. Päädyissä kuristus oli isompi kuin keskiosassa.

Mittaustulokset on esitetty kuvassa 94.



Kuva 94. Vetomittausten tulokset talvella perustilanteessa. Lattiamittaustulokset on ympyröity eri tilanteissa.

5. Ilmanvaihtojärjestelmien toimivuus käytännössä – esimerkkijärjestelmiä

Kuvan 94 mukaan ilman virtausnopeudet 40 cm:n korkuisten reunalevyjen yläosassa ja levyjen kohdalla lattialla olivat selvästi suuremmat kuin vastaavissa kohdissa 70 cm korkeiden reunalevyjen kohdalla, joissa porsaiden lämpölevyt sijaitsivat.

Tuloilman virtausta tutkittiin myös merkkisavun avulla. Tällöin havaittiin, että tuloilmaa tuli karsinoiniin matalampien (40 cm) reunalevyjen yli laskeutuen hiljalleen kohti lattiaa. Korkeampien reunalevyjen (70 cm) kohdalla ilma ei enää laskeutunut alaspäin vaan jatkoi matkaansa vaakasuoraan karsinaa kohti. Tehtyjen mittausten ja havaintojen mukaan veto-ongelma oli nyt selvästi paremmin hallinnassa kuin syksyn mittausten aikana.

Kehitystarpeet ja -ehdotukset

Tuloilma olisi hyvä saada jakautumaan tasaisesti tuloilmaritilän eri osille. Epätasainen jakauma voi aiheuttaa joihinkin karsinoiniin liian suuren ilmavirran, mikä saattaa aiheuttaa vetoa. Toisten karsinoiden ilma taas voi vaihtua liian hitaasti.

Tuloilman ritiläosan kuristamisen havaittiin parantavan osastojen ilmanjaon tasaisuutta ja parantavan lämpöoloja. Tuloilmaritilöiden vieressä olevat reunukset voisivat olla nykyistä korkeampia ja jopa tasakorkuisia, jotta tuloilma lämpenisi enemmän karsinaan tullessaan.

5.11 Kohde K, koneellinen poistoilmanvaihto broilerihallissa

Järjestelmäkuvaus

Broilerikasvattamo käsittää kolme hallia, joista kahdessa (halli 1 ja halli 2) tehtiin sisäilmamittauksia. Hallit sijaitsivat vierekkäin ja olivat keskenään samanlaisia. Ne oli erotettu toisistaan väliseinällä. Yhden hallin (kuva 95) koko on noin 17 x 96 m (1 600 m²), ja siinä kasvatetaan kerralla 35 000 broileria. Hallit on rakennettu vuonna 1999.

Lanta ja virtsa imeytetään lattialle levitettävään kuivikkeeseen (turve), jota yleensä on noin 4–5 cm:n kerros. Turvetta ei tarvitse vaihtaa kasvatuksen aikana. Kasvatus kestää noin 33 päivää. Kasvatuksen välillä voi olla viikkojen taukoja, koska lintuja kasvatetaan tilausten perusteella.



Kuva 95. Broilerikasvattamo, halli 1. Vasemmalla katossa poistoilmanvaihtopuhaltimet (7 kpl), keskellä katossa ilmankierrätyspuhaltimet (4 kpl), takaseinällä kesäajan ilmanvaihdon tehostuspuhaltimet (4 kpl) ja oikealla seinällä ulkoilmaventtiilit (70 kpl).

5. Ilmanvaihtojärjestelmien toimivuus käytännössä – esimerkkijärjestelmiä

Kasvattamon ilmanvaihtojärjestelmänä on koneellinen poistoilmanvaihto (kuva 96). Vesikaton läpi johdetuissa poistoilmakanavissa (7 kpl) on poistoilmapuhallin ja kanavan keskellä kuristuslevy. Ulkoilma johdetaan seinällä olevien (70 kpl/halli) naruilla säädettävien ulkoilmaventtiilien kautta halliin. Hallin katossa on lisäksi neljä kierrätyspuhallinta, jotka muun muassa tasoittavat sisälämpötiloja. Lisäksi hallin päädyssä on neljä poistoilmapuhallinta, joilla voidaan kesätilanteessa tehostaa ilmanvaihtoa (käytössä, kun lämpötila ulkona > +25 °C). Ilmanvaihdon määrää säädetään Fancam-säätölaitteilla, ja säätö tapahtuu pääosin sisälämpötilojen perusteella. Hallien lämmitys hoidetaan hakelämmityskattilalla vesikiertojärjestelmällä. Hallien lämmityspotket kiertävät hallien sivuseinillä. Lämpötila on kasvatuksen alussa noin 33 °C ja kasvatuksen lopussa 23 °C, eli lämpötilaa pudotetaan joka päivä noin 0,3 °C. Vastaavasti ilmanvaihto on kasvatuksen alussa minimissä ja lisääntyy koko kasvatuksen ajan.



Kuva 96. Hallin poistoilmapuhaltimet ovat katossa. Ulkoilma johdetaan sisään ulkoilmaventtiilien kautta. Kierrätyspuhaltimilla tasoitetaan lämpötilaeroja ja lisäpuhaltimilla tehostetaan ilmanvaihtoa kesällä. Lisälämpö tuodaan putkistolla ulkoseinille.

Mittausten ajaksi halliin 1 oli asennettu kierrätyspuhaltimien alle lattialle neljä Leacom Oy:n kehittämää ilmanpuhdistinta (kuva 97). Hallissa 2 puhdistimia ei ollut. Ilmanpuhdistimien tarkoituksena on poistaa ilmasta pääasiassa pölyä ja ammoniakkia. Vettä kuluu päivässä 250 litraa puhdistinta kohden. Vesi puhdistetaan otsonilla, minkä vuoksi laite puhaltaa myös otsonia kasvattamoon. Pesutekniikalle on haettu patenttia. Yksi pesuri on tarkoitettu noin 7 500–10 000 broilerille. Laitteen läpi kulkeva ilmavirta on 2 000 m³/h eli noin 600 dm³/s. Pesuria voidaan käyttää myös sikaloissa, koska se pesee myös rikkiyhdisteet.



Kuva 97. Ilmanpuhdistimet hallissa 1.

Toimivuuden arviointi ja tehdyt mittaukset

Sisäilmastomittaukset käsittivät ilmanvaihdon, ilman lämpötilan ja suhteellisen kosteuden sekä CO₂-pitoisuuden mittaamisen. Ilmanvaihdon mittaukset tehtiin kertamittauksena 21.2. ja 11.4.2008. Ilman lämpötila, suhteellinen kosteus sekä CO₂-pitoisuus mitattiin jatkuvatoimisilla seurantamittareilla yli kuukauden seuranta-ajalla 22.2.–4.4.2008. Mittarit sijaitsivat kummassakin hallissa keskellä hallia noin 60–70 cm:n korkeudella lattiasta ja roikkuivat katosta. Broilerit saapuivat halleihin 28.2. ja poistuivat 1.4.

Ilmanvaihtomittauksessa poistoilmavirrat mitattiin kertamittauksena monipistemenetelmällä. Tällöin mitattiin ilman virtausnopeudet siipipyöranemometrillä poistoilmakanavan suulta neljässä pisteessä. Ilmanvaihtotehot olivat mittauksissa pienimmillään 10 %, 58 % (saatiin aikaan lämmittämällä hallit 23 °C:seen, mikä on kasvatuskauden loppulämpötila) sekä suurimmillaan 100 %. Keskinopeuden ja kanavan suuaukon pinta-alan avulla voitiin laskea poistoilman tilavuusvirta. Pienimmällä ilmanvaihdon teholla (10 %) mittaukset tehtiin käyttäen balometriä.

Koska mittaushetkillä halli oli tyhjä eikä ilmanvaihto siten ollut normaalisäätötilanteessa, jouduttiin poistoilmavirta mittaamaan yhdestä poistoilmakanavan puhaltimesta. Mittaustulos muunnettiin laskennallisesti vastaamaan joko kolmen, viiden tai seitsemän kanavan poistoilmavirtaa tehosta riippuen. Tämä korjaus voi aiheuttaa tuloksiin mittausrvirheitä.

Taulukosta 19 havaitaan, että säätötehon ollessa 58 % ja hallien lämpötilan 23 °C (vastaa kasvatusajan loppua) poistoilmavirrat pysyivät MMM:n ohjearvojen puitteissa, joskin lähellä alarajaa. Molem-

5. Ilmanvaihtojärjestelmien toimivuus käytännössä – esimerkkijärjestelmiä

pien hallien ilmavirrat olivat mittauksen perusteella ja epävarmuudet huomioiden melko samanlaiset lukuun ottamatta 10 %:n säätötehoa.

Taulukko 19. Ilmanvaihdon mittaustulokset. Ohjearvon minimi- ja maksimiarvot on laskettu 35 000 broilerin mukaan. Puhdistimet olivat hallissa 1.

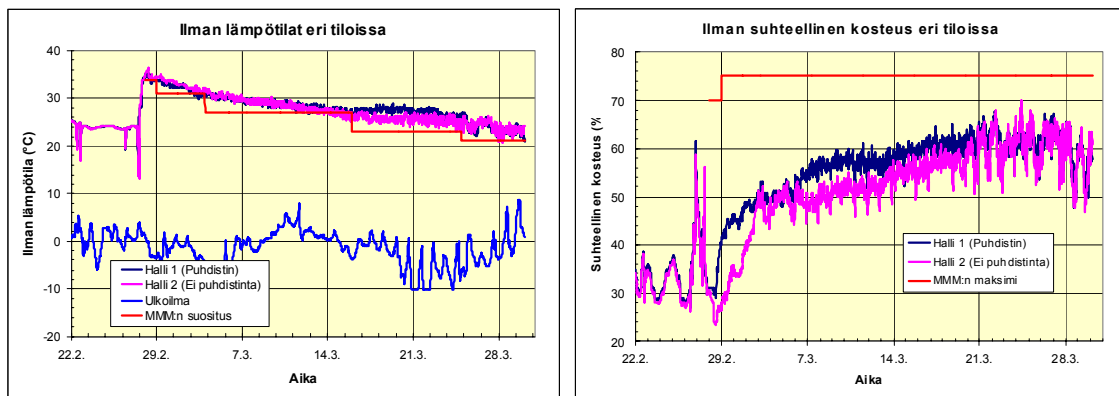
Ilmanvaihdon säätöteho (%)	Poistoilmavirta (m ³ /h) halli 1 / halli 2	MMM-RMO C2.2:n ilmanvaihdon ohjearvo minimi/maksimi (m ³ /h)
10 ^{x)}	3 600 / 2 500	3 500 / 17 500
58 ^{y)}	34 200 / 36 000	28 000 / 175 000
100 ^{z)}	88 200 / 93 200	28 000 / 175 000

^{x)} Mitattu yhdestä puhaltimesta, mutta tulos on muunnettu vastaamaan kolmea puhallinta, koska minimiasennolla käy yleensä vain kolme puhallinta. Ohjearvot ovat 5 vrk:n ikäisille broilereille.

^{y)} Mitattu yhdestä puhaltimesta, mutta tulos on muunnettu vastaamaan viittä puhallinta. Halleja lämmitettiin 23 °C:een, jolloin ilmanvaihdon teho säätyi 58 %:ksi. Ohjearvot ovat 35 vrk:n ikäisille broilereille.

^{z)} Mitattu yhdestä puhaltimesta, mutta tulos on muunnettu vastaamaan kaikkia seitsemää puhallinta. Ohjearvot ovat 35 vrk:n ikäisille broilereille.

Kuvassa 98 on esitetty 4–6 viikon mittaustulokset ilman lämpötilalle ja kosteudelle.



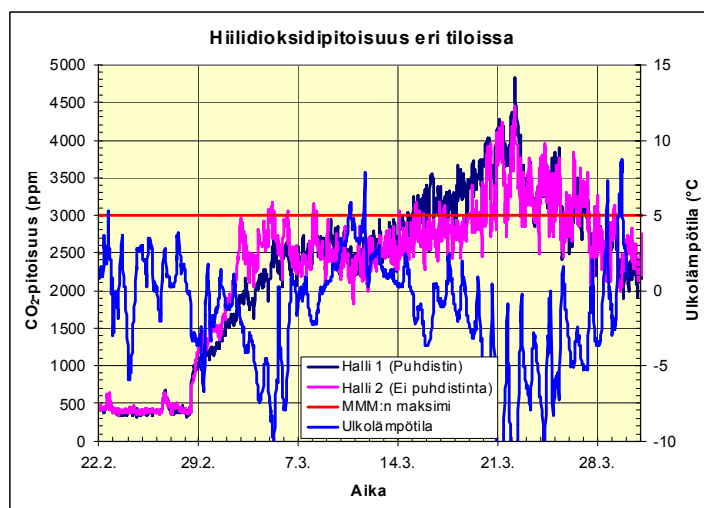
Kuva 98. Seurantamittausten tulokset ilman a) lämpötilalle ja b) kosteudelle.

Kuvan 98a mukaan hallien sisäilman lämpötila pysyi hyvin MMM:n suosituslämpötilan puitteissa koko kasvatuksen ajan. Lämpötilat vaihtelivat noin 23–35 °C:n välillä. Tavoiteltu lämpötila kasvatuksen aikana alussa on 33 °C ja lopussa 23 °C. Molempien hallien lämpötila pysyi lähes samanlaisena. Poikkeuksena oli ajanjakso 16.–24.3, jolloin hallissa 1 lämpötila oli keskimäärin 1,6 °C korkeampi kuin hallissa 2. Syytä tähän ei tiedetä. Ulkolämpötila oli 20.–22.3. selvästi alle –10 °C, mutta mittari ei mitannut sitä alempia lämpötilalukemia. Myös mittausjakson kylmimmällä ajanjaksolla (20.–22.3.) sisälämpötilat ovat pysyneet tasaisina. Puhdistimen ei voida katsoa vaikuttaneen hallin lämpötilaan.

5. Ilmanvaihtojärjestelmien toimivuus käytännössä – esimerkkijärjestelmiä

Kuvan 98b mukaan kummankin hallin sisäilman suhteellinen kosteus oli kasvatusaikana noin 30–65 %. Se jäi selvästi maksimiohjearvon 75 % alapuolelle koko kasvatusjakson ajan. Hallissa 1 kosteus oli jonkin verran suurempi 22.2. asti, jonka jälkeen kosteudet olivat halleissa samaa luokkaa. Tämä selittyy puhdistuksessa käytetystä vesimäärästä.

Kuvaan 99 on merkitty ilman CO₂-pitoisuus mittaussurannan ajalta.



Kuva 99. Ilman CO₂-pitoisuus eri halleissa. Broilerit saapuivat halleihin 28.2. ja poistuivat 1.4. Kuvaan on merkitty myös ulkoilman lämpötilä.

Kuvan 99 mukaan CO₂-pitoisuus ylitti ohjearvon 3 000 ppm kummassakin hallissa. Syynä on ilmeisesti se, että koska ulkolämpötila oli 20.–22.3. selvästi alle –10 °C, ovat ilmanvaihtotehot halleissa heikentyneet, jotta sisälämpötilat pysyisivät suositusten mukaisina. Ensimmäisellä mittausviikolla hallin 1 CO₂-pitoisuus oli keskimäärin 360 ppm pienempi kuin hallissa 2. Sen jälkeen lukemat tasoituivat ja olivat loppukasvatusajan liki samoja. Tämä selittyy sillä, että kasvatuksen alkuvaiheessa ilmanvaihdon teho oli pienimmillään, jolloin puhdistimen vaikutus tuli näkyviin. Sen jälkeen puhdistimen vaikutus peittyi ilmanvaihdon aiheuttamaan pitoisuuden laimenemiseen. Poikkeuksena oli ajanjakso 16.–24.3, jolloin hallissa 1 CO₂-pitoisuus oli keskimäärin 440 ppm korkeampi kuin hallissa 2. Syytä tähän ei tiedetä.

Mittaustulokset ennen broilerien saapumista osoittavat, että lämpötila, kosteus ja CO₂-mittarit eri halleissa mittasivat hyvin tarkasti samoja arvoja.

5.12 Kohde L, koneellinen tulo-poistoilmanvaihto lämmöntalteenotolla hevostallissa

Järjestelmäkuvaus

Neljälle ratsastushevoselle suunniteltu rakennus (kuva 100) on muutaman vuoden ikäinen. Se on varustettu koneellisella tulo- ja poistoilmanvaihtokoneella (Energent EGP-01) (kuva 101). Kone on varustettu regeneratiivisella eli lämpöä varaavalla lämmöntalteenottolaitteella. Sen perusosa muodostuu

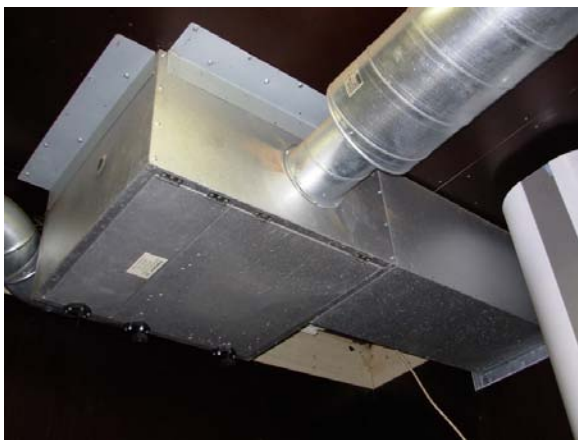
5. Ilmanvaihtojärjestelmien toimivuus käytännössä – esimerkkijärjestelmiä

kahdesta vuorotellen lämpöä varaavasta ja sitä luovuttavasta alumiinikennostosta sekä moottorikäyttöisestä suunnanvaihtimesta. Suunnanvaihdin muuttaa 20 sekunnin välein kennojen läpi virtaavan ilman suuntaa. Toisen kennoston lämmitessä poistoilman vaikutuksesta toinen kennosto luovuttaa lämpövarauksensa kylmään tuloilmaan.

Ilman laadun on koettu olevan muuten tyydyttävä, mutta kosteus on usein liian korkea. Tämä ilmenee siten, että ikkunalaudoilla on vettä ja laseissa runsaasti kondenssia. Lisäksi ikkunat aukeavat huonosti kosteana aikana. Lämpötilana on pidetty 5–12 °C, ja lattialämmitystä on pidetty päällä lattiapintojen kuivaamiseksi. Lämmöntalteenottoa ei pidetä jatkuvasti päällä, koska se siirtää kosteutta takaisin talliin. Suunniteltu käyttöaika on rajoitettu talven kylmimpään jaksoon, kun ulkolämpötila laskee alle –10 °C:een tai jos tallissa on liian kylmä.



Kuva 100. Hevostalli. Talon seinustalla keskellä ilmanvaihtokoneen ulkoilma- ja jäteilma-aukot. Sisäkuvassa vasemmalla ja oikealla on kaksi karsinaa. Katossa on kaksi tuloilmaventtiiliä.



Kuva 101. Lämpöä talteen ottava ilmanvaihtokone (Energent EGP-01). LTO:n kennosto voidaan puhdistaa ulkoa käsin.

Toimivuuden arviointi ja tehdyt mittaukset

Selvitys sisälsi tulo- ja poistoilmanvaihdon mittaamisen ilmanvaihtokoneen lämmöntalteenottokeinojen ollessa paikoillaan sekä ilman niitä. Lisäksi tilassa tehtiin kaksi viikkoa kestänyt mittausseuranta, jolloin mitattiin ilman lämpötilaa, suhteellista kosteutta, painesuhteita sekä CO₂-pitoisuutta. Ilmanvaihtojärjestelmä tarkastettiin lisäksi visuaalisesti.

Ilmanvaihdon mittaustulokset (kertamittaukset) on esitetty taulukossa 20. Lämpötilan mittaustulokset (kertamittaukset, kun LTO ei ollut päällä) on esitetty taulukossa 21.

Taulukko 20. Ilmanvaihdon mittaustulokset (kertamittaukset). Ilmanvaihto on mitattu säätöasennolla 4.

Tila	Poisto-ilmavirta (dm ³ /s)	Tuloilmavirta (dm ³ /s)	Suunnitteluarvo koko rakennukselle: poistoilmavirta/tuloilmavirta (dm ³ /s)
Tallitila	75	54	100 / 100
Kuivaustila	-	6	
Tallitila ^{x)}	95	64	
Kuivaustila ^{x)}	-	7 (arvio)	

^{x)} Lämmöntalteenoton kennot on poistettu mittauksen ajaksi.
- ei venttiiliä

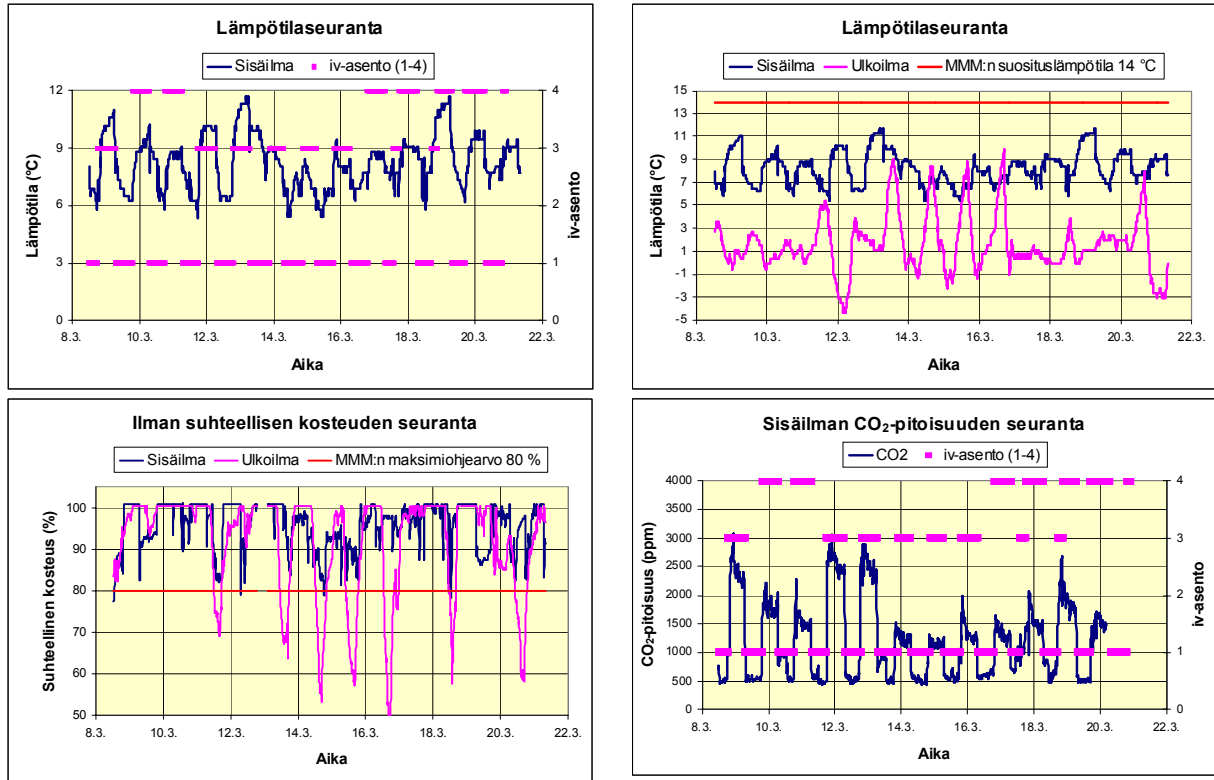
Taulukko 21. Ilman lämpötilan kertamittauksien tulokset. LTO ei ollut päällä.

Mittauspaikka	Lämpötila (°C)
Ulkoilma	2,0
Tuloilma (ilmanvaihtokoneen vieressä)	5,7
Tuloilma (tuloilmakanavasta)	6,1
Sisäilma keskeltä tallia noin 1,5 m korkeudelta	10,1
Poistoilma	11,4

Kun LTO laitettiin päälle, oli tuloilman lämpötila ilmanvaihtokoneen vieressä 11,1 °C.

Kuvassa 102 on esitetty sisä- ja ulkolämpötila, ilmanvaihdon ohjauksen säätöasento, suhteellinen kosteus ja CO₂-pitoisuus mittausjakson aikana.

5. Ilmanvaihtojärjestelmien toimivuus käytännössä – esimerkkijärjestelmiä



Kuva 102. Hevostallin sisä- ja ulkolämpötila, ilmanvaihdon ohjauksen säätöasento, suhteellinen kosteus ja CO₂-pitoisuus mittausjakson aikana.

Mittaustuloksiin ja asiantuntija-arvioon perustuva yhteenveto toimivuudesta

MMM-RMO C2.2 antaa kilpahevosen tapauksessa ilmanvaihdon minimiohjearvoksi noin 10 dm³/s (35 m³/h) ja maksimiohjearvoksi noin 100 dm³/s (350 m³/h). Ohjearvoissa hevosen painoksi oletetaan 500 kg. Tällöin neljän hevosen tallin ilmanvaihdon minimiohjearvoksi tulee noin 40 dm³/s ja maksimiohjearvoksi noin 400 dm³/s. Taulukosta 20 havaitaan, että mitatut poisto- ja tuloilmamäärät noudattivat ohjearvoja mutta jäivät melko lähelle RMO C2.2 minimiohjearvoa. Rakennuksen ilmanvaihtosuunnitelman mitoitussarvoa 100 dm³/s ei saavutettu.

Sisäilman lämpötila jäi suositussarvoa pienemmäksi. Se oli mittausseurantajakson aikana noin 6–10 °C, kun suositussarvo talviaikaan on kilpahevosen 14 °C ja työhevosen 10 °C. Ilman suhteellinen kosteus ylitti mittausseurantajakson aikana ohjearvon selvästi. Suhteellinen kosteus oli lähes koko mittausseurannan ajan noin 90–100 %, kun maksimiohjearvo on 80 %. Ilman CO₂-pitoisuus alitti ohjearvon 3 000 ppm mutta oli lähellä sitä silloin, kun hevostallissa oli neljä hevosta (maksimihevosmäärä). Seurantamittausjakson ajaksi ilmanvaihtoa oli tehostettu noin 20 %:lla irrottamalla ilmanvaihtokoneen lämmöntalteenoton kennot. Normaalisissa käyttötilanteissa 3 000 ppm:n ohjearvo todennäköisesti ylittyy jonkin verran.

Paine-eromittausten mukaan rakennuksen painesuhteet ulko- ja sisäilman välillä vaihtelivat 0 Pa:n molemmin puolin. Ylipainetilanteissa sisäilman kosteus pyrkii siirtymään rakenteisiin, jolloin rakenteiden kosteuskuormitus lisääntyy entisestään.

Kehitystarpeet ja -ehdotukset

Vaikka ilmanvaihtomäärät täyttivätkin minimiohjearvon (pätevät 500 kg hevoskoolle), ilmanvaihto ei kykene poistamaan tiloissa syntyvää kosteutta tarpeeksi tehokkaasti, jotta talon sisäilma ja rakenteet pysyisivät kuivina. Tämän vuoksi ilmanvaihdon tulo- ja poistoilmavirtoja on syytä tehostaa. Tehostuksen tarve on nykyisiin tilavuusvirtoihin verrattuna vähintään 1,5–4-kertainen (minimivaatimuksena 100 dm³/s:n mitoitusilmavirran toteuttaminen). Ilmanvaihtoa olisi helpointa tehostaa nykyisellä ilmanvaihtokoneella, jos se vain on teknisesti mahdollista (keinoja olisivat esimerkiksi ilmanvaihdon perussäätö, kanavien väljentäminen, tehokkaammat puhaltimet ja mahdollisesti lisäkanavointi). Mikäli se ei kuitenkaan ole mahdollista, esimerkiksi katolle voidaan rakentaa lisäpoistopuhallin siten, että poisto kanavoidaan erikseen jokaisen hevosen karsinaan. Tästä ei ole merkittävää haittaa ilmanvaihdon lämmöntalteenotolle, koska nykyistä järjestelmää ei kosteuden siirtymisen vuoksi muutenkaan juuri käytetä. Lämmöntarve kuitenkin lisääntyy talviaikaan. Lisäpuhaltimia voidaan ohjata tarpeen mukaisesti, esimerkiksi kosteuden perusteella.

Mittausseurannassa havaittiin, että sisälämpötila oli suosituslämpötilaa alempi. Korkeampi lämpötila auttaisi yhdessä ilmanvaihdon tehostamisen kanssa tilan kosteuden hallinnassa selvästi. Lämpötilan nostaminen pienentäisi sisäilman suhteellista kosteutta. Mikäli ilmanvaihtoa ei haluta lisätä, tulisi ilmanvaihdon perussäädön lisäksi asentaa lämmitys, joka pitäisi lämpötilan aina yli 10–15 °C:ssa.

Ilmanvaihtokone ja poistoilmanvaihtokanavisto havaittiin likaisiksi. Ne olisi puhdistettava säännöllisesti. Tuloilman suodattaminen voidaan kohteessa kyseenalaistaa, koska sisätilasta syntyvät pöly- ja epäpuhtauskuormat ovat merkittävät suhteessa tuloilmasta tulevaan kuormaan.

6. Kustannus-tuottovaikutukset ja -analyysit

Ilmanvaihdon kustannus- ja tuottovaikutuksia on arvioitu kahdella tavalla. Luvussa 6.1 on esitetty eläinten sairastavuuden kustannusvaikutuksia. Luvussa 6.2 on esitetty ilmanvaihdon toteutuksen kustannustekijöitä. Näiden tekijöiden avulla voidaan arvioida ilmanvaihdon toimivuuden tai toimimattomuuden kustannusvaikutuksia.

6.1 Ilmanvaihdon vaikutus eläinten tuottavuuteen ja terveyteen

Tuotantoeläinten terveyteen ja hyvinvointiin vaikuttavat monet eri tekijät, kuten elinympäristö, ruokinta, hoito ja hoito-olosuhteet. Tämän vuoksi yksittäisen tekijän suoraa vaikutusta tuotantoon on hankala määrittää. Tuotantotilan ilmanvaihdon toimivuus on yksi eläimen terveyteen ja tuotanto-olosuhteisiin vaikuttava tekijä, samoin kuin rakenteet, lannanpoisto ja eläintiheys (Riihikoski 1983). Puutteet eläinten terveyteen ja hyvinvointiin vaikuttavissa tekijöissä saattavat heijastua suoranaisine sairauksina tai ilmetä tuotoksen pienenemisenä, käyttäytymishäiriöinä tai lisääntymisongelmina (Castren 1997).

Hengitystiesairauksien merkitys kasvaa sitä mukaa kuin eläinyksiköiden koko suurenee. Hengityselinsairaudet ovat tyypillinen esimerkki monisyytaudeista. Useat eri tekijät vaikuttavat taudin syntyyn, oireiden voimakkuuteen ja sairaudesta seuraaviin taloudellisiin menetyksiin (Riihikoski 1982). Tämän tyyppiset sairaudet alkavat usein vasta sitten, kun samanaikaisesti esiintyvät sairaudet heikentävät eläimen yleiskuntoa. Eläimen huono lähiympäristö, mukaan lukien heikosti toimiva ilmanvaihto, voi olla laukaiseva tekijä eläimen vastustuskyvyn heikkenemisessä.

Sikojen ja broilereiden kasvatuksesta saatujen kokemusten perusteella hengitystiesairauksia pystytään ehkäisemään, kun kasvatusosastot suunnitellaan kertatäyttöisiksi. Kertatäyttöisyys ehkäisee edellisen kasvatuserän tautien siirtymisen seuraavaan (Yliaho & Teräväinen 2002). Kasvatustilojen kertatäyttöisyys ei kuitenkaan vähennä tuotantotilojen toimivan ilmanvaihdon merkitystä. Ilmanvaihdon on täytettävä sille asetetut vaatimukset jokaisen kasvatuserän aikana.

Hyvä ilmanvaihto on tärkeää, jotta eläimistä syntyvä lämpö, kosteus ja haitalliset kaasut saadaan poistetuksi eläinsuojasta. Hyvä ja tasainen sisäilman laatu on keskeinen tekijä eläinten terveydelle, koska ilmanvaihto vaikuttaa suoraan eläinten hengityselimistöön (Dredge 2005). Ilmanvaihdon tehokkuutta voidaan arvioida sen perusteella, kuinka ilmanvaihto pystyy säätelemään ilman lämpötilaa, suhteellista kosteutta ja ilman liikkeitä (vetoa) eläimen korkeudella sekä pitämään kaasujen, pölyn ja mikro-organismien määrät siedettävissä rajoissa (Seedorf ym. 1998).

Navetoissa hyvä ilmanvaihto edistää muun muassa utareterveyttä. Utaretulehduksen puhkeamiseen tai utareen terveenä säilymiseen vaikuttavat tuotantotilan ilmanvaihdon lisäksi lehmän oma vastustuskyky ja rakenne, ruokinta, kasvatustapa ja perinnölliset syyt (Riihikoski 1983). On siis hyvin vaikea todentaa sitä, että huono ilmanvaihto olisi syynä utaretulehdukseen, mutta viimeisenä laukaisevana tekijänä se voi hyvinkin toimia.

Utaretulehduksesta johtuvat lääkekustannukset, erilleen lypsetty maitomäärä, poistot utarevikojen vuoksi sekä mahdolliset umpeutetut utareneljännekset aiheuttavat taloudellisia tappioita. Yhden utaretulehduksen hinta vaihtelee tapauskohtaisesti muutamasta kymmenestä eurosta yli kahteen tuhanteen euroon riippuen siitä, koska tauti iskee ja kauanko siitä paraneminen kestää. Valtakunnallisesti utaretulehduksen aiheuttamat vuotuiset menetykset ovat noin sadan miljoonan euron luokkaa (Yli-Hynnä & Hartikainen 2005).

Utaretulehdus pienentää lehmän vuotuista maitotuotosta noin 100–600 kilolla. Menetykset ovat suurimmat, jos utare tulehtuu 2–3 kuukautta poikimisen jälkeen eli juuri ennen maidontuotantokauden huippua (Yli-Hynnä & Hartikainen 2005).

Navetan hyvä ja toimiva ilmanvaihto pitää navetan kuivana. Välillisesti sillä on merkitystä myös kulkukäytävien kosteuteen. Kuivat kulkukäytävät ehkäisevät jalkasairauksia. Varsinaisten sorkkasairauksien kustannus tapausta kohti on arviolta 200–250 euroa (Rikkola 2008). Tämän lisäksi jalkasairaudet pienentävät tuotannon maitomääriä varsinkin pihatoissa, koska kivun takia lehmän ylösnousu vaikeutuu ja kävely on hankalaa. Lehmät eivät tällöin hakeudu ruokintapöydän ääreen, syöntiaika jää lyhyeksi, ja syömättömyys alkaa näkyä tuotosmenetyksinä. Lisäksi energian puute altistaa lehmän asetonitaudille, häiritsee pötsin toimintaa sekä pidentää poikimaväliä, koska laiha lehmä ei tule kiimaan. Sorkkasairaudet ovat usein myös vedinpolkemien taustalla ja siten utaretulehdusten välillinen syy (Valros ym. 2005).

Porsasyskä on ollut pitkään taloudellisesti merkittävin sikojen hengitystiesairaus Suomessa. Yskäoireita havaitaan yleisimmin 6 vk–6 kk:n ikäisillä porsailla. Porsasyskä hidastaa porsaiden kasvua, heikentää niiden vastustuskykyä ja altistaa ne erilaisille jälkitaudeille. Tehokkaan saneeraustoiminnan seurauksena porsasyskä on kuitenkin saatu jo melko hyvin hallintaan. Vuonna 2007 oli enää noin kymmenen tilaa, joilla todettiin porsasyskää (Kortesniemi & Ruoho 2007).

Teurastamot ovat olleet aktiivisesti mukana poistamassa sikaloista taloudellisesti merkittäviä tartuntatauteja. Tautivapaan sikalan omistaja saa myymistään porsaista paremman hinnan ja tautivapaiksi taattujen porsaiden ostaja joutuu vastaavasti maksamaan enemmän. Tautivapaiden porsaiden kasvatusta tuottaa kuitenkin teurasvalmiita sikoja nopeammin ja halvemmilla tuotantokustannuksilla, joten kalliimpi porsashinta kannattaa maksaa.

Ilmanvaihto on yksi tärkeimmistä keinoista, joilla luodaan optimaaliset olosuhteet kanoille. Hyvä ilmanvaihto vähentää taudinaiheuttajien määrää ja luo hyvät tuotanto-olosuhteet. Yleissääntönä ilmanvaihdon mitoituksessa on neljä kuutiometriä tunnissa painokiloa kohti (Andersson ym. 1984).

Kanalan lämpötilan tulee olla mahdollisimman tasainen. Tavoiteltava lämpötila on +20 °C. Tätäkin alhaisemmassa lämpötilassa kanat viihtyvät, mutta tällöin rehun kulutus kasvaa, koska kanat joutuvat käyttämään rehua lämmöntuotantoon. Näin tapahtuu etenkin silloin, kun höyhenpuku on jo kulunut. Asteen lasku optimilämpötilasta lisää kanan rehunkulutusta 1,6 %. Yli +20 °C:n lämpötilassa kanalan ilmasta tulee kuivaa ja kanojen ruokahalu heikkenee. Liian korkea lämpötila, yli 20 °C, heikentää myös munankuorta. Yli 25 °C:n lämpötila on kanoille jo haitallinen. Kanan tuottama lämpö ei riitä

6. Kustannus-tuottovaikutukset ja -analyysit

kanalan lämmittämiseen. Lämmitysjärjestelmä on välttämätön kanalan lämpötilan pitämiseksi tasaisena (Andersson ym. 1984).

Optimaalinen ilman suhteellinen kosteus kanoille on 60–80 %. Liian kuiva ilma on pölyistä. Pöly ärsyttää kanojen ja myös hoitajien hengitysteitä ja silmien limakalvoja. Pölyongelma voidaan poistaa kastelemalla käytäviä. Helleaikana kastelulla myös kanalan lämpötilaa saadaan laskettua (Andersson 1988). Liian suuri kosteus puolestaan tekee kanalan ja laitteet epäsiisteiksi. Tuuletusta lisäämällä saadaan liika kosteus pois. Tuuletuksella voidaan näin vaikuttaa myös kanalan laitteiden ja itse rakennuksen kestoikään. Tutkimusten mukaan kanalan hyvän ilmanvaihdon tuottavaikutus on jopa 20 % (Seppälä 1986).

Erityisen herkkiä huonolle ilmanvaihdolle ovat (Aho 2003, Lampinen ym. 2003, Ross-broilerin hoitokäsikirja, Saastamoinen & Teräväinen 2007)

vasikat

- herkkiä kylmälle (suuri ruumiin pinta-ala suhteessa painoon, rasvakudosta vähän)
- lämmönsäätelykyky kehittyy hitaasti
- veto ja kosteus heikentävät karvapeitteen eristävää vaikutusta
- riski sairastua kasvaa
- vasikan oman lämmöntuoton kasvu merkitsee lisääntyvää rehunkulutusta
- suosituslämpötila +15–+18 astetta
- mielellään oma, erillinen osasto navetassa.

emakkosikalat

- kosteus ja vetoisuus lisäävät kohtutulehduksen riskiä
- suuret lämpötilaerot päivässä häiritsevät enemmän kuin jatkuvasti vähän väärä lämpötila; vuorokausivaihtelu ei saisi olla kahta–kolmea astetta suurempi
- porsitusosaston yleislämpötilan ei saisi nousta 18 °C:n yli, koska liian lämpimässä imettävä emakko vähentää syöntiään
- porsaiden makuualueelle tulee järjestää erikseen porsaiden vaatima lämpötila, 25–32 °C.

broilerit

- tärkeimmät ilmaa pilaavat tekijät ovat pöly, ammoniakki, hiilidioksidi, hiilimonoksidi ja kosteuspitoisuus
- pöly ja ammoniakki vaikuttavat keuhkojen pinnalla
- yli 10 ppm:n ammoniakki aiheuttaa keuhkojen pintavaurioita
- keuhkovauriot heikentävät tautien vastustuskykyä, vähentävät rehunkulutusta ja heikentävät kasvua ja tuotantotehoa
- keuhkojen hapenvälityskyky heikkenee, koska vauriot pienentävät aktiivista pinta-alaa
- korkeat hiilidioksidi- ja hiilimonoksidimäärät rajoittavat hapensaantia

- yli 0,35 %:n hiilidioksiditaso (3 500 ppm) aiheuttaa rustomaisia keuhkokyhmyjä, jotka liittyvät askiittiin
- kosteuden vaikutukset riippuvat lämpötilasta, +29 asteen lämpötilassa 70 %:n suhteellinen kosteus rajoittaa kasvua
- korkeassa ilman suhteellisessa kosteudessa kuivikkeiden laatu kärsii.

hevoset

- viettävät jopa yli 20 tuntia vuorokaudessa tallissa
- käyttö- ja pitoaika on pitkä verrattuna muihin tuotantoeläimiin, usein yli 20 vuotta
- urheilusuorituksissa hengitystiet joutuvat kovalle rasitukselle
- optimilämpötila 5–10 °C, yli 10 °C:ssa ammoniakki alkaa ärsyttää hevosen hengitysteitä.

6.2 Ilmanvaihdon toteutuksen kustannukset

Tutkituissa kohteissa arvioitiin, että tuotantorakennusten ilmanvaihtojärjestelmän kustannusten osuus koko rakennusinvestoinnista on alle 5 %. Suhteellisen suuriksi ilmanvaihtojärjestelmän kustannukset nousevat pienissä kohteissa, joissa laitteet on ylimitoitettu ja joissa on automaation osalta varauduttu tuleviin laajennuksiin. Tutkijoiden näkemysten mukaan tuotantorakennusten ilmanvaihdon suunnitteluun ja järjestelmiin investoidaan vähän. Alhaiset investointikustannukset selittyvät omatoimisella rakentamisella, valittujen laitteiden alimitoituksella ja tarvittavista laitteista tinkimisellä. Taloudellisen ilmanvaihtojärjestelmän suunnittelun perustana tulee olla ilmanvaihto- ja energiantarvelaskelma. Tässä laskelmassa tulee esille minimi- ja maksimi-ilmanvaihtomäärät, lisälämmityksen tarve vuodessa ja vaadittava lämmitysjärjestelmän mitoitusteho. Järjestelmän toiminnan ja käyttötalouden kannalta on laskelmat on syytä tehdä myös erilaisiin tuotantotilanteisiin, esimerkiksi vajaaseen täyttöön tai muuttuviin tuotanto-olosuhteisiin (esimerkiksi lihasikalassa pienimmän ja suurimman tuotantovaiheen mukaan). Näiden pohjalta laaditaan ilmanvaihtosuunnitelma, jossa esitetään järjestelmään liittyvät kanavat mitoitettuina, puhaltimien ominaisuudet, säätökeskukset ja muut komponentit sekä suunnitellun järjestelmän toimintakaavio. Näiden perusteella laaditaan tarjouspyyntöasiakirja, jossa esitetään järjestelmän hankintaa liittyviä ehtoja ja jonka liitteiksi edellä mainitut asiakirjat liitetään.

Tarjouspyyntöasiakirjassa esitetyt ehdot voivat koskea muun muassa tarjous- ja toimitusaikaa, viivästysseuraamuksia, järjestelmän toiminnan todentamista tai käyttöopastusta. Näin menetellen hankinta vastaa tarvetta ja tarjousten vertailu helpottuu. Tämän raportin liitteenä on ilmanvaihto- ja energiantarvelaskelma, esimerkki tarjouspyynnön teknisestä liitteestä (liite A) sekä esimerkki järjestelmän vastaanottopöytäkirjasta (liite B).

Varsin yleistä on, että tuotantorakennuksen ilmanvaihtojärjestelmästä pyydetään tarjous pääpiirustuksilla. Niissä ei kuitenkaan yleensä esitetä minimi- ja maksimi-ilmanvaihtotarvetta. Tällöin laitteen tarjoaja kilpailee hinnalla, ei laitteiden toimintakapasiteetilla ja ominaisuuksilla.

7. Toimivuuden varmistaminen (ToVa)

Maatalousrakentamisen eri vaiheissa (suunnittelussa, rakentamisessa ja rakennusten käyttämisessä ja ylläpitämisessä) on selvä tarve systemaattiselle ToVa-toiminnalle (ToVa = Toimivuuden varmistaminen). Suurimmat vaikuttavat tekijät ovat kallistuva energia, kiristyvät hyvän ja terveellisen sisäilmaston vaatimukset sekä lisääntynyt huoli ympäristöstä.

Nykyaikaisessa merkityksessä rakennusten toimivuuden varmistaminen (ToVa) on prosessi, joka käynnistetään jo rakennushankkeen tavoitteita asetettaessa. Tällöin tarkistetaan tilaajan vaatimusten ja käyttäjien tarpeiden kattavuus sekä rakennuksen suunnitelmat ja niiden toteutus sisältäen sisäilma- ja energiatehokkuusvaatimukset. Osapuolien ratkaisut ja toimenpiteet auditoidaan sekä todennetaan, että rakennus saavuttaa asetetut energiatehokkuus- ja toimivuustavoitteet käytössä. Toimivuuden varmistaminen jatkuu suunniteltuina, säännöllisinä varmistustoimina kiinteistön käytön ajan.

Maatilojen ToVa-toiminnalla on seuraavat tavoitteet:

- tuottaa turvalliset, terveelliset ja lajille luonteenomaiset olosuhteet eläimille
- kehittää energiatehokkuutta
- vähentää käyttökustannuksia
- kehittää kannattavuutta
- kehittää rakennusten talotekniikkaa ja rakenteita
- kehittää suunnittelun laatua tehokkaalla palautejärjestelmällä
- varmistaa, että eri järjestelmät ovat yhteensopivia
- kehittää omistajien, työntekijöiden, laitetoimittajien ja huoltohenkilöstön koulutusta
- kehittää tiedonhallintaa koko elinkaaren ajan
- tyydyttää omistajien tarpeet ja odotukset sekä täyttää omistajien vaatimukset.

Kehitetty Maatila ToVa -käsikirja (Kovanen ym. 2008a, 2008b) pohjautuu Tekesin ja teollisuuden rahoittamassa projektissa ”Olosuhteiden ja energiatehokkuuden commissioning-palvelut kiinteistöissä” laadittuun julkaisuun ”ToVa-käsikirja. Rakennuksen toimivuuden varmistaminen energiatehokkuuden ja sisäilmaston kannalta” (Pietiläinen ym. 2007, Nykänen ym. 2007). Käsikirjassa käsitellään ToVa-toiminnan soveltamista maatilarakentamisen eri vaiheisiin.

Käsikirjan lopussa on esitetty tarkastuslistoja rakentamisen eri vaiheisiin. Listat on jaettu eri järjestelmien kesken, jolloin esimerkiksi kunkin järjestelmän edustaja voi valmistautua ToVa-kokouksiin vastaamalla oman alansa tarkastuslistassa esitettyihin kysymyksiin. Useissa listoissa on lisärivejä hankekohtaisia lisäkysymyksiä varten.

7.1 ToVa-toiminnan systematiikka ja prosessi

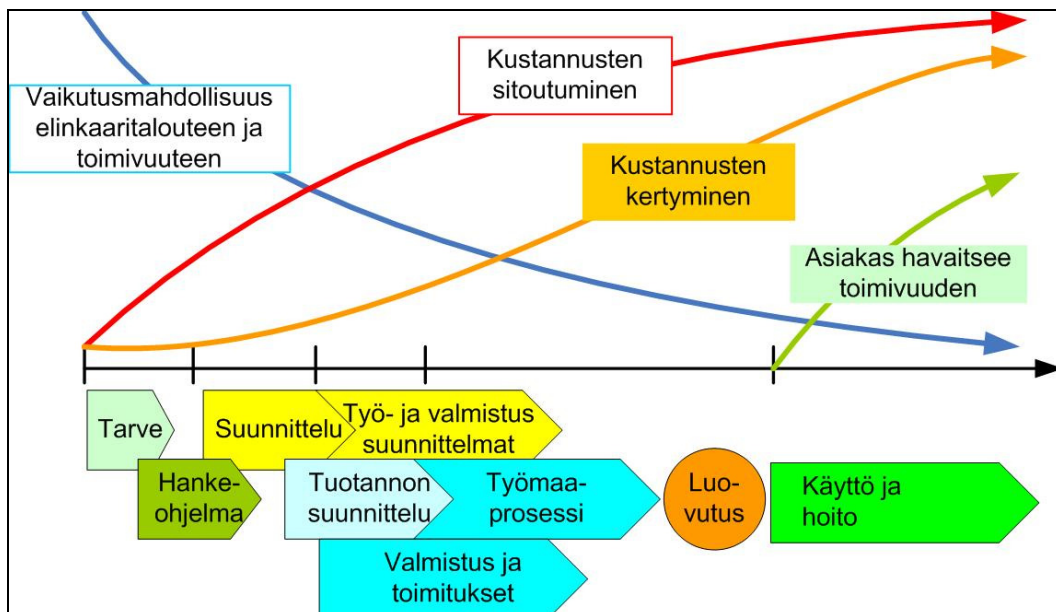
Seuraavassa kuvataan ToVa-toiminnan lähtökohtaa, tavoitteita ja prosessia.

7.1.1 Lähtökohdat

Rakennuksen suunnittelu ja rakentaminen edellyttävät systemaattista tavoitteiden ja vaatimusten määrittely- ja dokumentointiprosessia hankkeen kaikissa päävaiheissa. Tilaajan ja käyttäjien toiminnasta ja tarpeista johdetaan tarpeet rakennuksen sisätilojen määrälle, laadulle ja sisäilmastolle. Tarvemäärittelyn perusteella täsmennetään esimerkiksi sisäilmasto- ja energiatehokkuusvaatimukset. Niihin sisältyy myös rakentamismääräysten kautta tulevia tavoitteita ja reunaehtoja. Rajauksia tavoitteisiin tulee myös rakentamapaikan sijainnista yhdyskuntarakenteessa. Sisäilmasto- ja energiatehokkuusvaatimukset kohdistetaan rakennukselle, tiloille ja järjestelmille. Rakennus jaetaan kattavasti eri järjestelmiin, joita ovat muun muassa vaippa, ilmastointi, lämmitys, vesi ja viemärointi, salaojitus, sähkön jakelu, valaistus, tietoliikenne ja automaatio sekä turva- ym. järjestelmät.

Vaatimusten ja tavoitteiden hallinta on läpi hankkeen etenevä prosessi. Hankkeen eri vaiheissa asetetut tavoitteet ja mahdolliset tavoitteiden muutokset on oltava nopeasti käytettävissä. Tavoitteiden ja vaatimusten läpinäkyvyys mahdollistaa toteutuksen varmentamisen siten, että asetetut tavoitteet voidaan osoittaa saavutetuiksi ja havaita mahdolliset poikkeamat.

Laatuun ja elinkaarikustannuksiin vaikutetaan eniten hankkeen alkupäässä (kuva 103). Sama periaate soveltuu myös toimivuuden varmistukseen. Ongelmien syntyminen etukäteen estävät toimenpiteet vähentävät jälkikäteen tehtäviä korjauksia. Tuloksena on kiinteistön käytettävyyden paraneminen.

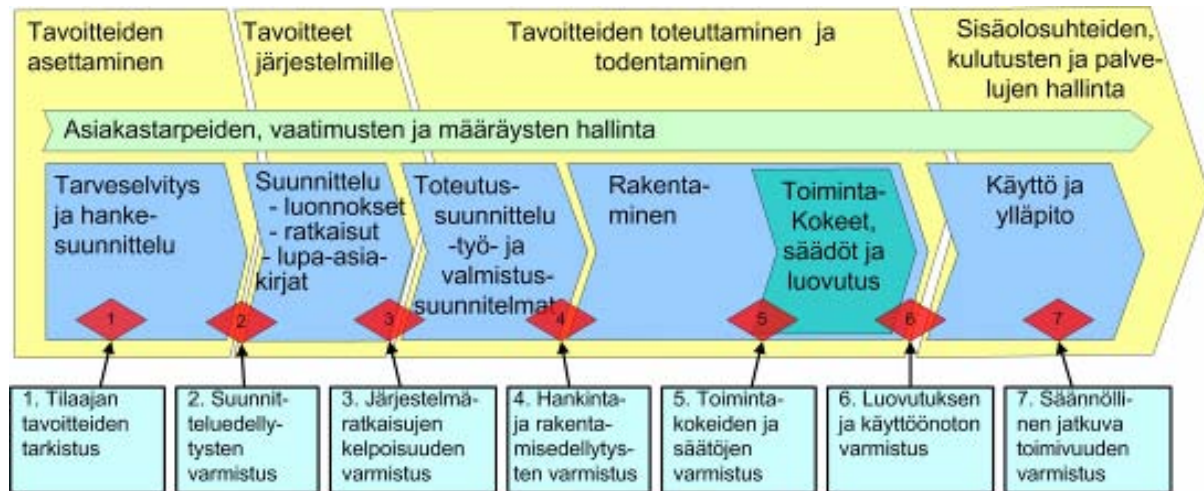


Kuva 103. Kustannusten kiinnittyminen ja elinkaaritalouteen vaikuttaminen. Suunnitteluvaiheessa toimivuusvikojen korjaaminen on edullista. Myöhemmin kustannukset ovat huomattavasti korkeammat (Pietiläinen ym. 2007). [Huom.! kuvassa tuotannon suunnittelu viittaa rakentamiseen ja työmaan prosessin suunnitteluun.]

7. Toimivuuden varmistaminen (ToVa)

7.1.2 ToVa-prosessi

Rakennuksen ToVa-prosessissa edetään päävaiheittain (kuva 104).



Kuva 104. ToVa-prosessi. Sinisellä on kuvattu hankkeen eteneminen. Punaiset "salmiakit" ovat esimerkiksi ToVa-kokouksia, joissa hankkeen hallitun etenemisen edellytykset tulee varmistaa. Kuvan alalaidassa on esitetty toimivuuden varmistamisen keskeiset osa-alueet (Pietiläinen ym. 2007).

Ensimmäisen ToVa-vaiheen tehtävät tarve- ja hankesuunnittelussa painottuvat tilaajan ja käyttäjien tuotantotoiminnalle asetettavien tavoitteiden määrittelyyn ja tarkistamiseen sekä ToVa-organisaation kokoamiseen sekä tehtävien budjetointiin.

Toinen ToVa-vaihe liittyy erityisesti suunnittelutavoitteisiin ja suunnittelun lähtötietoihin. Ne ovat myös suunnittelusopimusten laadinnan perusteita. Lopuksi tarkistetaan, että suunnitelmat ovat valmiit rakennusluvan hakemiseksi.

Kolmas ToVa-vaihe keskittyy suunnitteluratkaisuihin. Tässä vaiheessa korostetaan vaihtoehtoisia ratkaisuja ja vertaillaan niitä asetettuja tavoitteita vasten sekä huolehditaan järjestelmien välisestä integroinnista.

Neljännessä ToVa-vaiheessa varmistetaan, että työ-, valmistus- ja asennuspiirustukset työselityksi-neen ovat kunnossa urakkakyselyjä, hankintoja sekä työmaata varten. Oleellinen näkökulma on eri järjestelmien ja hankintojen keskinäinen integrointi. Viimeistään tässä vaiheessa on myös päätettävä, millä mittareilla toimivuutta tullaan arvioimaan ja mitä fyysisiä mittauksia (instrumentointeja) tarvitaan.

Viidennessä ToVa-vaiheessa pääpaino on loppukokeisiin, säätöihin ja luovutukseen valmistautu-misessa. Loppukokeiden ja säätöjen yhteydessä varmistetaan, että järjestelmät toimivat suunnitellulla tavalla ja niiden avulla saavutetaan haluttu sisäilmastotaso. Tässä vaiheessa on tarkistettava myös luovutusasiakirjojen sekä käyttö- ja huolto-ohjeiden sisältö (huoltokirja).

Kuudennessa ToVa-vaiheessa eli ennen rakennuksen luovutusta tarkistetaan, että toimivuusvaati-mukset täyttyvät ja että järjestelmät toimivat suunnitellulla tavalla. Tavoitteena on, että lopputarkis-tuksissa virheitä ja toimivuusvajeita ei enää löydy.

Liitteessä B on esitetty esimerkki ilmanvaihtokoneen vastaanottotarkastuksen lomakkeesta.

Seitsemännessä ToVa-vaiheessa tehdään kiinteistön käyttöön liittyviä toimenpiteitä suunniteltuina ajankohtina rakennuksen ollessa jo käytössä. Tarvittaessa kiinteistön kuntoa ja toimivuutta voidaan tutkia tarkemmin mittauksin, katselmuksin tai kuntotutkimuksin.

ToVa-prosessissa keskeistä on edellä kuvattujen päävaiheiden välinen tiedonsiirto ja toimenpiteiden dokumentointi. Erityistä huomiota tulee kiinnittää rakentamisen ja käytön yhteydessä mahdollisesti tehtäviin muutoksiin ja siihen, miten ne vaikuttavat alkuperäisiin suunnitelmiin. Onnistuneen ToVa-prosessin keskeinen edellytys on, että dokumentointi hoidetaan hyvin ja että tiedonhallinta kattaa kaikki hankkeen osapuolet koko sen elinkaaren ajan.

7.2 ToVa-toiminnan organisointi

Seuraavassa on esitetty malli ToVa-toiminnan organisoimiseksi. Siinä esitellään ToVa-tiimin mahdolliset osapuolet ja vastuutahot sekä tehtävät ja toimintamalli.

7.2.1 ToVa-tiimin kokoaminen

ToVa-toiminnan suunnittelu ja organisointi on aloitettava jo tarveselvitys- ja hankesuunnitteluvaiheessa. Tällöin tehdään lopputuloksen kannalta kaikkein keskeisimmät tavoitteiden asetelut. Lähtökohtaisesti ToVa-toiminnalla tulee olla nimetty hankekohtainen vetäjä. ToVa-toiminnan vetäjänä voi toimia esimerkiksi pääsuunnittelija, LVI-suunnittelija tai muu hankkeeseen osallistuva tahon.

Tilaaajan itsensä on nimettävä ToVa-toiminnan vetäjä perinteisissä urakkahankkeissa, joissa tilaaja palkkaa suunnittelijat. Suunnittelu ja rakentaminen -hankkeissa ToVa-toiminnan johtaminen sopii sekä tilaajalle että urakoitsijalle. Elinkaarivastuuhankkeissa ToVa-toiminnan johtaminen ja vetäjän nimeäminen on perusteltua siirtää elinkaaripalvelun tarjoajan tehtäviin. Tilaaaja on tällöin palvelun ostaja ja toimivuusvastuu on palvelun tuottajalla.

Oleellista ToVa-toiminnan johtamisen kannalta on hyvä tietämys sisäilmaston kannalta oleellisten järjestelmien suunnittelusta, toteutuksesta ja käytöstä. Erityisenä näkökulmana tehtävässä on eri järjestelmien yhteistoiminta. Käytännön ongelmana on se, että näitä laajan ja monialaisen osaamisen ja kokemuksen omaavia asiantuntijoita on harvassa. Siksi ToVa-toiminnan on oltava tiimityötä.

ToVa-tiimi voidaan koota usealla eri tavalla (taulukko 22). Ratkaisuun vaikuttavat muun muassa rakennusten erilaiset hankintamallit ja urakkamuodot. Eri hankkeissa on myös mukana erilaisia osapuo- lia. Hankesuunnitteluvaiheessa ei ole mukana vielä kovin monia osapuo- lia, joten hankkeen edetessä muita suunnittelijoita ja urakoitsijoita on perehdytettävä ja veloitettava ToVa-prosessiin.

7. Toimivuuden varmistaminen (ToVa)

Taulukko 22. ToVa-tiimin kokoamisvaihtoehtoja (Pietiläinen ym. 2007).

◆ ToVa-vetäjä ● Vahva osallistumispanos ○ Osallistuu toimintaan	<i>Urakkahanke pieni</i>	<i>Urakkahanke</i>	<i>Urakkahanke</i>	<i>Suunnittelu ja rakentaminen -hanke</i>	<i>Suunnittelu ja rakentaminen -hanke</i>	<i>Suunnittelu ja rakentaminen -hanke</i>	<i>Elinkaarihanke</i>
Pääsuunnittelija	●	◆	●	●	◆	●	●
Ulkopuolinen ToVa-konsultti				◆			
Tilaaajan edustaja	●	●	◆	●	●	○	○
Pääurakoitsijan edustaja		○	○	●	●	◆	●
LVI-suunnittelija	◆	●	●	●	●	●	●
Sähkösuunnittelija	○	○	○	○	○	○	○
Rakennesuunnittelija	○	○	○	○	○	○	○
Automaatiosuunnittelija	●	●	●	●	●	●	●
Kiinteistöpalveluinsinööri			●	●			◆
Talotekninen valvoja	○	○	○	○	○	○	○
Rakennevalvoja	○	○	○	○	○	○	○
Talotekniikkaurakoitsija	○	○	○	○	○	○	○

Rakennuslaissa määritellyllä pääsuunnittelijalla on lähtökohtaisesti soveltuva näkökulma ToVa-toimintaan. Pääsuunnittelija on mukana hankkeissa jo ennen suunnittelun käynnistämistä. ToVa-tiimin vetäjän rooli sopii siten pääsuunnittelijan tehtäviin.

Toinen mahdollinen vaihtoehto ToVa-tiimin vetäjäksi on tilaaajan projektipäällikkö tai urakoitsijan asiakaspalvelupäällikkö, -insinööri tai kiinteistövastaava. ToVa-tiimiä voi vetää myös ulkopuolinen ToVa-toimintaan erikoistunut konsultti. Toimivuuden varmistuskäytäntöjä kehitettäessä ammattitaitoinen kolmas osapuoli voi tuoda merkittävää lisäarvoa ja riippumatonta näkemystä, joka terävöittää prosesseja.

Työmaavaiheen valvontaa hoitavat perinteisesti tilaaajan palkkaamat vastaavat työnjohtajat. Tilaaajan valvojen roolin laajentaminen ToVa-toimintaan liittyviin tehtäviin voi olla perusteltua tilaaajan kannalta. Tällöin valvojen tulisi osallistua jo hankkeiden suunnittelukokouksiin, mistä olisi hyötyä myös työmaavaiheessa.

7.2.2 ToVa-tiimin tehtävät ja toiminta

ToVa-toiminnassa päätavoitteena on pyrkiä toimivuuden kannalta hyviin ratkaisuihin ja estää virheiden syntymistä ja toteutumista jo ennakoita. ToVa-toiminnan nimetty vetäjä laatii toiminnalle suunnitelmat ja jakaa vastuut. Hankkeiden vetäjät, suunnittelijat, urakoitsijat ja toimittajat osallistuvat ToVa-toimintaan kukin oman sopimuksensa puitteissa.

ToVa-toiminta voi painottua ulkopuoliseen tarkistamiseen. Tällöin ToVa-tiimin vetäjänä toimiva ulkopuolinen konsultti tarkistaa tavoitteita, suunnitelmia, sopimuksia ja todentavia asiakirjoja sekä

7. Toimivuuden varmistaminen (ToVa)

ehdottaa tarvittaessa korjaavia toimenpiteitä. ToVa-konsultin tulee rytmittää toimintansa muun muassa suunnitteluprosessin etenemisen mukaan. Toinen vaihtoehto on, että ToVa-toiminnalla osallistutaan vahvasti hankkeen suunnittelun ja toteutuksen ohjaukseen. ToVa-tiimin vetäjän on huolehdittava siitä, että hankkeen muiden avainosapuolten tehtävissä esimerkiksi sisäilmaston tavoitteet näkyvät ja toteutuvat. ToVa-toimintaan osallistuvat suunnittelijat sekä tilaajan, käyttäjän ja urakoitsijoiden edustajat.

Oleellista on saada ToVa-toiminnan tehtävät ja vastuunjako osaksi hankkeen suunnitteluasiakirjoja. ToVa-toiminnan vastuita ja velvoitteita on syytä painottaa ainakin keskeisimpien järjestelmien suunnittelu- ja toimitussopimuksissa. Taulukossa 23 on esitetty esimerkki ToVa-tehtävistä ja vastuista suunnitteluvaiheessa (muokattu lähteestä Pietiläinen ym. 2007). ToVa-toimintaan liittyvät tehtävät voidaan hoitaa normaalin suunnittelu- ja työmaakokouskäytännön puitteissa.

Taulukko 23. ToVa-toimintaan liittyvien tehtävien vastuunjako suunnitteluvaiheessa urakkahankkeessa (esimerkki).

ToVa-tehtävät ja vastuut suunnitteluvaiheessa	Osapuolien vastuunjako							
	ToVa-vetäjä	Pääsuunnittelija	ARK-suunnittelija	LVI-suunnittelija	Automaatiosuunn.	Sähkösuunnittelija	Tilaajan edustaja	Työpäällikkö
1 ToVa-toiminnan suunnittelu ja johtaminen	X							
• Kokousten suunnittelu ja ajoitus	X	x					x	
• Tehtävien suorituksen valvonta	X	x					x	
2 ToVa-suunnitelma suunnitteluvaiheeseen	X							
• Edellisen ToVa-suunnitelman täydentäminen	x							
• Suunnitelman tarkistaminen ja kehittäminen	x	x					x	
3 ToVa-suunnittelukatselmukset	X							
• Suunnitteluratkaisujen tarkistus	x	x						
• Esitettyihin ToVa-huomautuksiin vastaaminen		x	x	x	x	x	x	
4 Suunnittelu- ja käyttötavoitteiden dokumentointi		X						
• Esitystapojen määrittäminen	x	x						
• Järjestelmäkohtaisten suunnittelutavoitteiden laatiminen		x	x	x	x	x	x	
• Käyttö- ja huoltokirjojen sisältösuunnitelmien tekeminen	X	x		x	x	x	x	
• Suunnittelutavoitteiden tarkistaminen ja hyväksyminen	X	X	x				x	
• Esitettyihin huomautuksiin vastaaminen			x	x	x	x		
5 Rakennusvaiheen ToVa-suunnitelma								
• Suunnitelman laadinta	X							
• Suunnitelman tarkistus	x	x		x	x	x	x	x
6 Työselityksien tarkistaminen ja täydentäminen (ToVa)								

7. Toimivuuden varmistaminen (ToVa)

• Katselmuksissa ja tarkistuksissa avustaminen	x	X						x
• Vaippa, rakenteet ja materiaalit	x	x	x					x
• LVI-järjestelmä	x	x		x				
• Sähkö- ja valaistusjärjestelmä	x	x	x			x		
• Rakennusautomaatiojärjestelmä	x	x			x	x		
7 Työ- ja valmistussuunnitelmien katselmoiminen								
• Suunnitelmatavoitteiden täyttymisen tarkistaminen	X	X						
• Esitettyihin ToVa-huomautuksiin vastaaminen		x	x	x	x	x		

Käytännössä ToVa-toimintaa tehostaa, kun rakennus jaetaan hankinnoissa toimivuuden kannalta selkeisiin kokonaisuuksiin. Eri järjestelmien yhteensopivuuden todentamisesta tulee myös olla selvästi määritetyt velvoitteet sopimuksissa. ToVa-toiminnan kannalta käyttökelpoisia kokonaisuuksia ovat esimerkiksi

- koko rakennus
- ulkovaippa
- ilmanvaihtojärjestelmä ja mahdollinen jäähdytysjärjestelmä
- lämmitysjärjestelmä
- vesi- ja viemärijärjestelmä
- rakennusautomaatiojärjestelmä.

ToVa-käsikirjassa (Kovanen ym. 2008a) esitetään näille kokonaisuuksille ToVa-toiminnan menettelyohjeet sekä niitä tukevat tarkistuslistat.

8. Yhteenveto ja toimenpide-ehdotukset

Tutkimushankkeen ”Maatalouden tuotantorakennusten toimiva ilmanvaihto” päämääränä on ollut vaikuttaa eläinten hyvinvointiin ja tuottavuuteen parantamalla maatalouden ilmanvaihdon toimivuutta ja riskienhallintaa. Päämäärään on pyritty kehittämällä menetelmiä, työkaluja ja teknisten järjestelmien periaateratkaisuja sekä edistämällä tiedon käytäntöön viemistä ja kansainvälistä yhteistyötä. Raportissa on kuvattu hyvän ilmanvaihdon suunnittelun periaatteet sekä sisäilmastolle asetettavat vaatimukset. Keskeiseksi todettiin ilmanvaihdon suunnittelun laatutason ja menettelytapojen parantaminen – tavoitteena on, että ilmanvaihto suunnitellaan ja sen toimivuus varmistetaan käyttöönottovaiheessa ja käytön aikana. Tutkimuksessa kuvattiin esimerkinomaisesti toimivuuden varmentamisen (ToVa) menettelyt, joiden avulla varmistetaan, että lopputulos vastaa suunnittelussa asetettuja tavoitteita.

Sisäilmaston laatukriteereissä – lämpö-, kosteus- ja kaasupitoisuuksiin – ei havaittu suuria muutospaineita. Suomessa 2010 sovellettavaksi tuleva EU-direktiivi tarkentaa broilerikasvattamoiden sisäilman laatuvaatimusta siten, että hiilidioksidin edellytetään pysyvän 3 000 ppm:n enimmäispitoisuuden rajoissa. Tämä kuitenkin todettiin erittäin haasteelliseksi Suomen talviolosuhteissa. Tavoite voitaneen saavuttaa joko vähentämällä kasvatettavien broilereiden määrää lattiaaneliötä kohden tai lisäämällä ilmanvaihdon määrää, mikä puolestaan kasvattaa energiakuluja niin lämmityksen kuin ilmanvaihtokoneiden tarvikkeiden sähköenergian muodossa. Molemmat toimenpiteet aiheuttavat kasvattajalle lisäkuluja. Broilerikasvattamoissa sisäilman laadun seurannasta mittauksin tulee haasteellista, mutta se on edellytys direktiivin vaatimustason toteamiseksi.

Hiilidioksidin pitoisuus muissa kotieläinrakennuksissa ei ole niin kriittinen kuin broilerikasvattamoissa. Käytännössä hiilidioksidipitoisuutta ei mitata tiloilla. Pitoisuusvaatimus jääkin siten vain suunnittelun mitoitustekijäksi. Tutkimuksessa arvioitiin, kuinka CO₂-pitoisuuden maksimiarvon nostamisella 3 000 ppm:stä 3 500 ppm:ään saavutettaisiin kustannussäästöjä (pienempi ilmanvaihdon ja lämmityksen tarve) sikalassa ja lämmitetyssä lypsykarjanavetassa. Lisäksi arvioitiin, mitä haittavaikutuksia pitoisuuden ohje-arvon nostamisella olisi kosteuksiin ja muihin sisäilmapitoisuuksiin. Esitettyjen analyysien perusteella tavoitearvon muutosta ei kuitenkaan suositella, vaan muutoksen perusteluksi tarvitaan vielä perusteellisempaa tarkastelua. Suurempi hiilidioksidipitoisuus johtuu yleensä pienemmästä ilmanvaihdon määrästä, mikä johtaa myös muiden kaasumaisten epäpuhtauksien lisääntymiseen. Niillä taas voi olla vaikutusta eläinten ja työntekijöiden hyvinvointiin ja terveyteen.

Tutkimuksessa esitettiin kylmään ilmastoon soveltuvia ilmanjaon ja ilmanvaihtojärjestelmän toteutusmalleja sekä arvioitiin niiden hyviä ja huonoja puolia sekä suunnittelunäkökohtia. Tyypillisten ilmanvaihtojärjestelmien toimivuutta arvioitiin koekohteissa tehdyin mittauksin ja laskennallisilla tarkasteluilla.

8. Yhteenveto ja toimenpide-ehdotukset

Koekohteissa käytettävät mittausmenetelmät ja kohdekäyntien raportointimalli vakioitiin, jotta eri kohteiden ilmanvaihdon toimivuus arvioitaisiin samojen periaatteiden mukaisesti. Mittausmenetelmiä voidaan hyödyntää ToVa-prosessin ilmanvaihtojärjestelmä käyttöönottovaiheessa sekä käytön aikaisissa tarkistuksissa. Kaikkien tutkittujen kohteiden ilmanvaihto- tai lämmitysjärjestelmien toimivuudessa havaittiin korjaus- tai kehitystarpeita. Useimmat korjaustoimenpiteet olivat vähäisiä ja helppoja toteuttaa, mutta niillä saavutettava hyöty paremman toimivuuden ja sisäilmaston muodossa oli merkittävä. Koekohteiden mittaukset osoittivat sekä yksittäisen kohteen kehitystarpeet että yleisiä tutkimustarpeita, joita olivat muun muassa

- ToVa-menettelyjen ja -tarkistusprosessien kehittäminen vastaanotto- ja käyttövaiheisiin
- komponenttien toimivuusmittausten mahdollistaminen; kohteessa tehtävien mittausten menettelyjä ja komponenttien mittaussyhteitä tulee kehittää ja ottaa käyttöön
- huollettavuuden ja korvattavuuden huomioiminen suunnittelussa ja valinnoissa
- lämmön talteenoton toimivuuden kehittäminen eri käyttötarkoituksiin (energia, kosteus, jäätymisenesto...)
- rakenteelliset keinot lämmön talteenottoon (alapohjan ja kattotilan hyödyntäminen)
- ilmanjaon kehittäminen toimimaan muuttuvissa ilmavirta- ja lämpötilaoloissa
- monipuhallinjärjestelmien ja ilmanvaihtolaitteiden säätötapojen kehittäminen muuttuvissa olosuhteissa; ohjaustapojen yhdistäminen; esimerkiksi hybridijärjestelmien toteutusten kehittäminen
- tuuletustapojen kehitys; jäähdytys ja ylälämpöjaksojen olosuhteiden hallintaan; yötuuletus ja LTO:n ohitus sekä jäähdytyskäyttö
- kuivaus ja kosteuden poisto ilmanvaihdolla
- epäpuhtauksien vähentäminen ja paikallispoistojen kehittäminen muun muassa pölylle ja kaasumaisille epäpuhtauksille.

Erityisesti kotieläinrakennusten ilmanvaihdon suunnittelun toimintaympäristön kartoitus ja suunnittelijoiden kotieläinrakennusten suunnittelua koskeva täydennyskoulutus ovat keskeisiä alan kehitystarpeita.

Tutkimuksen tarkastelunäkökulma on keskittynyt pääasiassa tuotannon sisätiloihin, joissa tuotantoeläimet ja hoitajat joutuvat alttiiksi rakennuksessa syntyville ilman epäpuhtauksille. Keski-Euroopassa ilmanvaihdon päästökysymysten tarkastelussa on kuitenkin siirrytty rakennuksen sisätiloista ulos. Tämä tarkoittaa maatilojen lähiympäristöjä ja hajujen levittäytymistä naapureihin ja laajemmalle asuttuihin yhdyskuntiin. Harvaan asutussa Suomessa nämä tutkimusaiheet odottavat tulemistaan, mutta ympäristölupamenettelyissä ja niitä koskevissa valituksissa hajujen leviäminen on noussut toistuvasti esiin.

Lähdeluettelo

- Aho, P. 2003. Vasikoiden hoito-opas 2003. Helsinki: Valio, Alkutuotanto ja neuvonta 2003.
- Andersson, P. 1988. Siipikarjan taudit. Oy Länsi-Suomi. ISBN 951-99957-6-5.
- Andersson, P., Eklund, K. & Sukki, M.-L. 1984. Siipikarjatalous. Kirjayhtymä, Helsinki. 106 s.
- Arnold, M. 2002. Eläinsuojien hajuhaitat – ohjeistusmallit, arviointi ja vähentäminen sekä käytäntö eri maissa. Susies loppuraportti 15.3.2002. Alueelliset ympäristöjulkaisut 264. Länsi-Suomen ympäristökeskus.
- Blainey, A.D. 1990. Respiratory disease in grainworkers. *Respir Med* 84: 93–95.
- Castren, H. 1997. Kotieläinten käyttäytyminen ja hyvinvointi. Helsingin yliopisto, Maaseudun tutkimus- ja koulutuskeskus, julkaisuja 52, Mikkeli. 170 s.
- CIGR 1999. Handbook of Agricultural Engineering volume II. Edited by CIGR. Published by the American Society of Agricultural Engineers, USA. 1999. 359 s.
- CIGR 2002. Editors Pedersen, S. & Sällvik, K. 2002. CIGR 4th Report of Working Group on Climatization of Animal Houses Heat and moisture production at animal and house levels. S. 45.
- Donham, K.J., Reynolds, S.J., Whitten, P., Merchant, J.A., Burmeister, L. & Pependorf, W. 1995. Respiratory dysfunction associated with enclosed swine facilities: Dose-responser of pulmonary function to environmental exposures. *Am J Ind Med*. 27(3): 405–418.
- Donham, K.J., Cumro, D., Reynolds, S.J. et a. 2000. Dose-Response Relationships between Occupational Aerosol Exposures and Cross-Shift Declines of Lung Function in Poultry Workers: Recommendations for Exposure Limits, *JOEM* 42. S. 260–269.
- Donham, K.J., Cumro, D. & Reynolds S. 2002. Synergistic effects of dust and ammonia on the occupational health effects of poultry production workers. *J Agromedicine* 8(2):57–76.
- Dredge, K. 2005. Lehmän hyvinvointiin vaikuttavat seikat pihatossa – kirjallisuuskatsaus. Helsingin yliopisto, ELKE -hanke.
- Eatough, E.L., McGregor, S., Lewis, E.A., Eatough, D. J., Huang, A. A. & Ellis, E. C. 1988. Comparison of six denuder methods and a filter pack for the collection of ambient HNO₃, HNO₂, and SO₂. In the 1985 NSMC study. *Atmos Environ* 22(8):1601–1618.
- Hanhela, R. 1999. Työolosuhteiden vaikutus ammattiastman syntyyn karjanhoitotyössä. Väitöskirja. Kuopion yliopisto, Kuopio.
- Heimonen, I. 2006. State-of-the art and development needs for ventilation in farm buildings. Summary of workshop 'Ventilation and IAQ in farm buildings' 21.9.2006. (In Finnish, published in workshop CD).

- Heimonen, I., Heikkinen, J., Kovanen, K., Ojanen, T., Laamanen, J., Lehtinen, J., Alasuutari, S., Louhelainen, K., Mäittälä, J., Kivinen, T., Jauhiainen, P. 2008. Improving the performance of ventilation in large farm buildings in cold climate. International Conference on Agricultural Engineering. Hersonissos, Greece, 23 - 25 June 2008. The European Society of Agricultural Engineers (EurAgEng)
- House, H.K. & Rodenburg, J. 2003. Natural ventilation for freestall dairy housing in Freestall housing manual, Ontario ministry of Agriculture and food. 10 s.
- HTP-arvot 2009. Haitallisiksi tunnetut pitoisuudet. Sosiaali- ja terveysministeriön julkaisuja 2009:11. Sosiaali- ja terveysministeriö 2009, Helsinki.
- Kapuinen, P. & Karhunen, J. 1988. Pienten pihatoiden ilmanvaihdon erityisvaatimukset. Valtion maatalousteknologian tutkimuslaitos, Vakolan tutkimusselostus nro 51. 94 s. + liitt.
- Kapuinen, P. & Karhunen, J. 1989. Kosteiden pintojen kosteudentuotanto navetoissa. Valtion maatalousteknologian tutkimuslaitos, Vakolan tutkimusselostus nro 56. 85 s. + liitt.
- Kari, M. (toim.) ProAgria. Maatilayrityksen energiaopas. Tieto tuottamaan -sarjan julkaisu n:o 130. 2009. 96 s. ISBN 978-951-808-186-2.
- Kivinen, T., Mattila, K., Teye, F., Heikkinen, J. & Heimonen, I. 2006. Functionality of curtainwall ventilation in insulated barns in Finnish climate. Agrifood Research Working Papers 119. (In Finnish)
- Kivinen, T., Mattila, K.M., Teye, F., Heikkinen, J. & Heimonen, I. 2007. Air quality in cow houses with curtain wall ventilation in Finnish climate. XIII International Congress In Animal Hygiene ISAH-2007 June 17-21, 2007, Tartu, Estonia. S. 947-951.
- Kortesniemi, P. & Ruoho, O. 2007. Terveystuokäynnit, terveydenhuoltosopimus ja -suunnitelma osana eläinten hyvinvointitukea. Mavi, tukikoulutus.
- Kovanen, K., Heikkinen, J., Heimonen, I., Laamanen, J., Ojanen, T., Lehtinen, J., Alasuutari, S., Kivinen, T., Jauhiainen, P., Louhelainen, K. & Mäittälä, J. 2008a. Maatila ToVa-käsikirja, julkaisematon, LUONNOS 30.9.2008.
- Kovanen, K. Heimonen, I., Heikkinen, J., Ojanen, T., Laamanen, J., Lehtinen, J., Alasuutari, S., Louhelainen, K., Mäittälä, J., Kivinen, T. & Jauhiainen, P. 2008b. The commissioning procedure of farm building performance in Finland. In Proceedings of AgEng2008 Conference. Crete, Greece, June 2008.
- Lampinen, K., Yliaho, M., Harmoinen, T. & Teräväinen, H. (toim.). 2003. Nauta- ja sikatilan terveydenhuolto. ProAgria Maaseutukeskusten Liiton julkaisuja nro 994. ISSN 0789-9661 Tieto tuottamaan 103. ISSN 0357-7295. ISBN 951-808-112-3.
- Linnainmaa, M., Louhelainen, K. & Eskelinen, T. 1993. Effect of ventilation on ammonia levels in cow-houses. Am Ind Hyg Assoc J 54:678-682.
- Louhelainen, K., Kangas, J., Veijanen, A. & Viilos, P. 2001. Effect of in situ composting on reducing offensive odors and volatile organic compounds in swineries. AIHA J 62(2001):159-167.

- Louhelainen, K. 2005. Tuotantorakennuksen sisäilma-altisteet – havaintoja tilakäynneiltä. Ilmanvaihto workshop 26.9. 2005, Vantaa.
- Louhelainen K., Kangas J., Reiman M. & Kalliokoski P. 1997. Farmers' exposure to dusts and gases in modern Finnish cubicle cow houses. *Agric. Food Sci. Finland.* 6:207–217.
- Louhelainen, K. 1997. Farmers' exposure to dusts and gases in dairy farms. *Kuopion yliopiston julkaisu C. Luonnontieteet ja ympäristötieteet* 69. Väitöskirja, Kuopion yliopisto.
- Louhelainen, K., Kangas, J., Seuri, M., Veijanen, A., Reiman, M., Pyykkönen, M., Rautiala, S. & Viilos, P. 1998. Terveydelle haitalliset päästöt purupohjasikalassa. Loppuraportti Maatalousyrittäjien eläkelaitokselle 1.4.1998. *Kuopion Alueyöterveyslaitos* 1998. 23 s. + liitt.
- MMM 1996. Maa- ja metsätalousministeriö. Eläinsuojelulaki. N:o 247.
- MMM-RMO C2.2. 2005. Maa- ja metsätalousministeriön rakentamismääräykset ja –ohjeet. Maatalouden tuotantorakennusten lämpöhuolto ja huoneilmasto, osa C2.2. 9
- MMM-RMO C2.2. 2008. Maa- ja metsätalousministeriön rakentamismääräykset ja -ohjeet: Maatalouden tuotantorakennusten lämpöhuolto ja huoneilmasto, osa C2.2. 9 s.
- Maito huoneopas 2002, ohjeita maito huoneen rakentamiseen. Maitohygienialiiton julkaisuja.
- Mikkola, H., Puumala, M., Kallioniemi, M., Grönroos, J., Nikander, A. & Holma, M. Paras käytettävissä oleva tekniikka kotieläintaloudessa. *Suomen ympäristökeskus* 564. Helsinki 2002.
- Mäittälä, J., Heinonen-Tanski, H., Herve, S., Kangas, J., Louhelainen, K., Nikkola, T., Paasonen, M., Rautiala, S., Seuri, M. & Veijanen, A. 2001. Turve kestokuivikkeena sikaloissa. *MTT:n julkaisuja. Sarja A* 97. 64 s. + 9 liitettä.
- Mäittälä, J. & Louhelainen, K. Työympäristö. In: *Työterveys ja maatalous Suomessa 2004 – Maatalousympäristön terveydelliset riskit ja niihin vaikuttaminen.* ISBN 951-802-691-2 (nid.), ISBN 951-802-692-0 (PDF). *Työterveyslaitos, Kuopio.* 2006. S. 34–35.
- Mälkiä, P. (toim). 1999, *Lypsylehmän ruokinta. Tieto tuottamaan* 82. 4. painos.
- Nykänen, V. et al. Systematic process for commissioning building energy performance and indoor conditions, *Proceedings of 9th REHVA World Congress Clima 2007: WellBeing Indoors, 2007, Vol. 5, Helsinki, Finland.* S. 471–476.
- OVA 2006. Onnettomuuden vaaraa aiheuttavat aineet. TTL:n tietokanta. <http://www.ttl.fi/internet/oval/>.
- Pedersen, S. & Sällvik, K (eds.). 2002. 4th Report of Working Group on Climatization of Animal Houses. Heat and Moisture Production at Animal and House Levels. Published by Danish Institute of Agricultural Sciences, Denmark. ISBN 87-88976-60-2.
- Pedersen, S. 2005. Climatization of Animal Houses. A biographical review of three decades of research. *DIAS report* 66. 83 s.

- Pietiläinen, J., Kauppinen, T., Kovanen, K., Nykänen, V., Nyman, M., Paiho, S., Peltonen, J., Pihala, H., Kalema T. & Keränen, H. 2007. ToVa-käsikirja. Rakennuksen toimivuuden varmistaminen energiatehokkuuden ja sisäilmaston kannalta. Espoo, VTT Tiedotteita 2413. 173 s. + liitt. 56 s.
- Poulsen, H. & Pedersen, S. 2005. Ventilation, isolering og opvarmning Klimateknik Landbrugsforslaget. 152 s. ISBN 8774709240.
- Reynolds, S., Donham, K., Whitten, P., Merchant, J., Burmeister, L. & Pependorf, W. 1996. Longitudinal evaluation of dose-response relationships for environmental exposures and pulmonary function in swine production workers. *Am J Ind Med.* 29:33–40.
- Reynolds, S.J., Chao, D.Y., Thorne, P.S., Subramanian, P., Wadron, P.F., Selim, M., Whitten, P.S. & Pependorf, W. 1998. Field comparison of methods for evaluation of vapor/particle phase distribution of ammonia in livestock buildings. *J Agric Safety Health* 4(2):81–93.
- Riihikoski, U. 1982. Vasikan ja lihanaudan terveydenhoito. Kirjayhtymä, Helsinki. 190 s.
- Riihikoski, U. 1983. Kotieläinten rakenne ja terveydenhuolto. Kirjayhtymä, Helsinki. 208 s.
- Riihimäki, H., Kurppa, K., Karjalainen, A., Aalto, L., Jolanki, R., Keskinen, H., Mäkinen, I. & Saalo, A. 2003. Ammattisairaudet 2002 – Työperäisten sairauksien rekisteriin ilmoitetut uudet tapaukset. Työterveyslaitos, Helsinki.
- Rikkola, K. 2008. Huomio sorkkiin. *Karjaviesti* 2/2008, Oy DeLaval Ab.
- Rissanen, P., Hentilä, H., Lankia, O., Leskinen, J., Louhelainen, K., Luomala-Toikkanen, K., Mäittälä, J., Mäkitalo, M., Nevala, N., Perkiö-Mäkelä, M., Rautiala, S., Rytönen, E., Simola, A. & Kangas J. 2004. Työympäristö ja kuormittuminen suurnavetoissa. Julkaisussa: Uusi-Kämpä, J. & Rissanen, P. (toim.). Suuret pihatot – eläinten hyvinvointi, lypsyn työnmenekki, työolot ja ympäristönhoito. Maa- ja elintarviketalous nro 47. Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskus. 184 s.
- Radon, K., Garz, S. & Schottky, A. et a. 2000. Lung function and work-related exposure in pig farmers with respiratory symptoms. *JOEM* 42, 814–820.
- Ross-broilerien hoitokäsikirja. <http://www.agronet.fi/mkl/20/ross.htm>.
- Saastamoinen, M. & Teräväinen, H. (toim.). 2007. Hevosien ruokinta ja hoito. ProAgria Maaseutukustien Liiton julkaisuja nro 1036. ISSN 0789-9661 Tieto tuottamaan 119, ISSN 0357-7295, ISBN 978-951-808-148-0.
- Seedorf, J., Hartung, J., Schroder, M., Linkert, K.H., Pedersen, S., Takai, H., Johnsen, J.O., Metz, J.H.M., Groot Koerkamp, P.W.G., Uenk, G.H., Phillips, V.R., Holden, M.R., Sneath, R.W., Short, J.L.L., White, R.P. & Wathes, C.M. 1998. A Survey of Ventilation Rates in Livestock Buildings in Northern Europe. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 70(1):39–47.
- Seppälä, T. (toim.). 1986. Käytännön kanatalous. Hankkija Maatilapalvelu, Munakunta. ISSN 0782-8640. 98 s.
- Siitonen, T. 2009. Tilastotieto 17.3.2009, Maatalousyrittäjien eläkelaitos, Espoo.

- Sällvik, K & Pedersen, S., 1999. Animal Heat and Moisture Production, in CIGR Handbook of Agricultural Engineering. Volume II. Animal Production & Aquacultural Engineering.
- Teitel, M., Levi, A., Zhao, Y., Barak, M., Bar-lev, E. & Shmuel, D. 2008. Energy saving in agricultural buildings through fan motor control by variable frequency drives. *Energy and Buildings* 40(6):953–960.
- Tuunanen, L. & Karhunen, J. 1984. Eläinsuojien ilmanvaihdon mitoitus. *Vakolan tutkimusselostus* 39. 123 s.
- Tuure, V.-M. 2005. Talvikauden tapaturmat ja talvikaudella ilmenneet työperäiset sairaudet maataloudessa. *Työtehoseuran julkaisuja* 395.
- Viitanen, H. & Ojanen, T. 2007. Improved model to predict mould growth in building materials. *Proceedings. Thermal Performance of the Exterior Envelopes of Whole Buildings X. Clearwater Beach, USA, 2–7 Dec. 2007. CD. ASHRAE, DOE, ORNL.*
- Viitanen, H., Peuhkuri, R., Lähdesmäki, K., Vinha, J., Ojanen, T., Paajanen, L. & Salminen, K. 2008. Homeen kasvun mallintaminen – työkalu ongelmien ratkaisuun. *Sisäilmastoseminaari, SIY Raportti* 26, Espoo, 5.3.2008.
- Valros, A., Teräväinen, H. & Helin, J. 2005. Hyvinvoiva tuotantoeläin. *ProAgria Maaseutukeskusten Liiton julkaisuja* nro 1014. ISSN 0789-9661 Tieto tuottamaan 109. ISSN 0357-7295. ISBN 951-808-125-5.
- Van Caenegem, L. & Wechsler, B. 2000. Stallklimawerte und ihre Berechnung. *Eidgenössische Forschungsanstalt für Agrarwirtschaft und Landtechnik (FAT)*. 74 s. + liitt.
- Yliaho, M. & Teräväinen, H. (toim.). 2002. Nauta- ja sikatilan olosuhdeopas. *ProAgria Maaseutukeskusten Liiton julkaisuja* nro 979. ISSN 0789-9661 Tieto tuottamaan 97. ISSN 0357-7295, ISBN 951-808-103-4.
- Yli-Hynnälä, M. & Hartikainen, K. 2005. *Terve Eläin – laaja utareterveysopas*. 32 s.

Liite A: Esimerkki tarjouspyynnön teknisestä liitteestä

ASIAKASTIEDOT

Asiakas			
Osoite			
Puhelin		E-mail	

RAKENNUSTIEDOT

Rakennustyyppi			Osasto		
Osaston pinta-ala / m²			Osaston tilavuus / m³		
Kosteus-ala			Haihtuvuus g / m²		
Rakennusosat	Pinta-ala / m²	U-arvo	Rakennusosa	Pinta-ala / m²	U-arvo
Ulkoseinät			Ikkunat		
Yläpohja			Ovet		
Alapohja					

ELÄINTIEDOT

Eläimet	Paino	Kpl	Eläimet	Paino	Kpl

TUOTANTOTIEDOT

Maitomäärä kg/vrk/lehmä		Lypsyjärjestelmä	
Lantakourut syvyys		Lannanpoisto	

MITOITUSVAATIMUKSET

Mitoittavat ulkoilman lämpötilat ja suhteelliset kosteudet eri säävyöhykkeillä

Talvi

Ilmastoalue	Mitoittava ilmanlämpötila	Vuoden keskimääräinen ulkolämpötila °C	Kosteusprosentti	Ohjearvot		
				Maksimi CO ₂ -pitoisuus / ppm	3000	<input type="checkbox"/>
1	-26	+5	70	Maksimi NH ₃ -pitoisuus / ppm	10	<input type="checkbox"/>
2	-29	+4	70	Maksimi H ₂ S-pitoisuus / ppm	0,5	<input type="checkbox"/>
3	-32	+2	70	Maksimi ilman nopeus m/s talvi	0,2	<input type="checkbox"/>
4	-38	0	70	Lämpötilavaihtelu	+/-2 °C/vrk	<input type="checkbox"/>

Kesä

Mitoittava ilmanlämpötila	Kosteus-%	
+20	90	<input type="checkbox"/>
+20	80	<input type="checkbox"/>
		<input type="checkbox"/>

Maksimi melutaso	< 65 db	<input type="checkbox"/>
Pölypitoisuus mg/m ³	10	<input type="checkbox"/>
Maksimi ilmannoisuus m/s kesä	0,5	<input type="checkbox"/>

Liite A: Esimerkki tarjouspyynnön teknisestä liitteestä

MITOITUSILMANVAIHTOMÄÄRÄT

MMM:n ohje minimi m ³ / h		MMM:n ohje maksimi m ³ / h	
Laskennallinen minimi m ³ / h		Laskennallinen maksimi m ³ / h	
Laitetarjous laskennallisilla arvoilla		Laitetarjous ohjearvoilla	

LASKENNALLINEN LÄMMITYSTEHO JA LÄMMITYSENERGIAN VUOSIKULUTUS

Tasapainolämpötila / °C	
Lämmitystehontarve / kW	
Lämmitysenergian tarve kWh / hyötysuhde %	

ILMANVAIHTO- JA LÄMMITYSJÄRJESTELMÄN KUVAUS

--

LISÄEHDOT

Laitteet toimitetaan asennettuna ja säädettynä tarjouspyynnön vaatimusten mukaisesti	<input type="checkbox"/>			
Laitetoimittaja koeajaa ja mittaa ilmamäärät ennen tuotannon aloittamista	<input type="checkbox"/>			
Laitetoimittaja laatii viranomaisia varten mittauspöytäkirjan	<input type="checkbox"/>			
Järjestelmän käyttö- ja huolto-opastus ennen tuotannon aloitusta	<input type="checkbox"/>			
Järjestelmän säätö ja olosuhdemittaukset, kun tuotanto käynnissä, mittauspöytäkirja	<input type="checkbox"/>			
Laitetoimitus voi alkaa, pvm		Järjestelmän tulee olla koeajettuna, pvm		<input type="checkbox"/>
				<input type="checkbox"/>

MAKSU

Kun laitteet on toimitettu työmaalle ja asennukset aloitettu	
Kun laitteet on asennettu ja koeajon pöytäkirja luovutettu	

VIIVÄSTYSSAKKO

Toimituksen viivästyessä tilaajalla on oikeus saada viivästyssakkoa _____ % toimituksen kokonaisarvosta jokaiselta myöhästyneeltä _____ päivältä _____ viikolta.
--

TAKUU

Järjestelmän toimintatakuu kattaa tarjouksen mukaisen ohjauksen ja ilmamäärät.	<input type="checkbox"/>
Takuu kattaa lisäksi myyjän tarjouksessa olosuhteille esittämät arvot.	<input type="checkbox"/>
Laitteilla on _____ vuoden takuu.	<input type="checkbox"/>
	<input type="checkbox"/>
	<input type="checkbox"/>
	<input type="checkbox"/>

TARJOUKSEN ANTAMINEN

Tarjouksessa tulee eritellä poistopuhaltimet, hormit, tuloilmaelimet, säätölaitteet, säätökeskukset sekä asennustyö.
Tarjous on toimitettava kirjallisena tarjouksen pyytäjän postiosoitteeseen tai sähköpostiosoitteeseen mennessä.

LISÄSELVITYKSET

Päivämäärä	Tarjouksen pyytäjä	Allekirjoitus

Liitteet: Pohjapiirros 1:100, leikkauspiirros 1:50
Ilmanvaihto- ja energiantarveaskelma

Liite B: Esimerkki ilmanvaihdon vastaanottotarkastuksen lomakkeesta

ASIAKASTIEDOT

Asiakas			
Osoite			
Puhelin		Sähköposti	
Mittauskohde		Osasto	
Tuotantotilanne			
Mittaustilaisuudessa läsnä tilalta			
Rakennuttajan edustaja			
Urakoitsija			
Ilmanvaihtolaitetoimittaja			

MITTAAJATIEDOT

Yritys		Mittaaja	
Lähiosoite		Mittaaja	
Postitoimipaikka		Mittaaja	
Sähköposti		Puhelin	

MITTAUSKALUSTO

Mitattava asia	Tyyppi	Merkki	Kalibroitu	Mittausvirhe
Ilmavirtaukset				
Lämpötila				
Suhteellinen kosteus				
CO ₂ -mittaus				
NH ₃ -mittaus				
H ₂ S-mittaus				
	Mittaus			
	Mittaus			
	Mittaus			

SÄÄTIEDOT

Mittausajankohta, klo		Lämpötila t_u °C	
Tuuli v_u m/s	Suunta	Suht.kosteus %	
Ilmanpaine p_u bar		Ilmantiheys ζ , kg/m ³	

MITOITUSVAATIMUKSET

Mitoittavat ulkoilman lämpötilat ja suhteelliset kosteudet eri säävyöhykkeillä

Talvi

Ilmasto- alue	Mitoittava ilman- lämpötila	Vuoden keski- määräinen ulko- lämpötila °C	Kosteus- prosentti		Ohjearvot		
					Maksimi CO ₂ -pitoisuus / ppm	3000	<input type="checkbox"/>
					Maksimi NH ₃ -pitoisuus / ppm	10	<input type="checkbox"/>
1	-26	+5	70	<input type="checkbox"/>	Maksimi H ₂ S-pitoisuus / ppm	0,5	<input type="checkbox"/>
2	-29	+4	70	<input type="checkbox"/>	Maksimi ilman nopeus m/s talvi	0,2	<input type="checkbox"/>
3	-32	+2	70	<input type="checkbox"/>	Lämpötilavaihtelu	+/- 2 °C/vrk	<input type="checkbox"/>
4	-38	0	70	<input type="checkbox"/>	Maksimi melutaso	<65 db	<input type="checkbox"/>
					Pölypitoisuus mg/m ³	10	<input type="checkbox"/>
					Maksimi ilmannoisuus m/s kesä	0,5	<input type="checkbox"/>

Kesä

Mitoittava ilmanlämpötila	Kosteusprosentti	
+20	90	<input type="checkbox"/>
+20	80	<input type="checkbox"/>
		<input type="checkbox"/>

ILMANVAIHTOJÄRJESTELMÄN JA SÄÄTÖKESKUKSEN KUVAUS

POISTOILMAMÄÄRÄMITTAUKSET

Kohde	Hormi	S	H	P	Virtausnopeus m/s		Kerroin	Ilmamäärä m ³ / h	
	a x b m ²				Minimi	Maksimi		Minimi	Maksimi
P1									
P2									
P3									
P4									
P5									
P6									
P7									
P8									
P9									
10									

S = säätöpelti, mp = moottoroitu, kp = käsisäätö

H = hormin korkeus esim. 5,5 m

P = Poiston paikka, L = lietkanavasta, H = harjatuuletus

TULOILMA

Tulo-ilma-elin	Kpl	Pinta-ala 1 m ²	Pinta-ala 2 m ²	Virtausnopeus, m /s		Ilmamäärä, m ³ / h		Heittopituus		S
				Minimi	Maksimi	Minimi	Maksimi	Minimi	Maksimi	
T 1										
T 2										
T 3										
T 4										
T 5										

S = säätö, a = automaatti, k = käsisäätö

OLOSUHDEMITTAUSTULOKSET

Mitattu asia	Mittauspisteet (esitetty erillisessä piirustuksessa)					
Lämpötila, °C	a1	a2	a3	a4	a5	Keskiarvo
Suhteellinen kosteus, %						
Ilman nopeus, m/s						
Melutaso, dB						
Hiilidioksidi CO ₂						
Ammoniakki NH ₃						
Rikkivety H ₂ S						

LISÄSELVITYKSET

Päivämäärä	Mittauksesta vastaava	Urakoitsija / rakennuttaja / rakennuttajan edustaja

Liitteet: Ilmanvaihtosuunnitelma.
Laiteluettelo



Tekijä(t) Ismo Heimonen, Jorma Heikkinen, Keijo Kovanen, Jarmo Laamanen, Tuomo Ojanen, Jouko Piippo, Tapani Kivinen, Pekka Jauhiainen, Jarmo Lehtinen, Sakari Alasuutari, Kyösti Louhelainen & Jukka Mäittä		
Nimeke Maatalouden kotieläinrakennusten toimiva ilmanvaihto		
Tiivistelmä Suomen maatalouden tilakoot ovat suurentuneet ja suurten tuotantoyksiköiden osuus kokonaistuotannosta on kasvanut viimeisen 20–30 vuoden aikana. Uudet tuotantorakennukset ovat huomattavasti suurempia kuin ennen. Tilakokojen ja eläinmäärien kasvamisen myötä sisäilmastoon ja rakenteisiin kohdistuvat kuormitukset (lämpö, kosteus, kaasumaiset epäpuhtaudet) ovat lisääntyneet, joten tuotantorakennuksen ilmanvaihdolta vaaditaan paljon, jotta eläinten hyvinvoinnin ja tuotoksen kannalta optimaaliset olosuhteet voidaan taata. Tutkimuksessa kuvattiin periaatteet kylmän ilmanalan kotieläinrakennusten ilmanvaihdon suunnittelua varten. Sekä koneellinen että painovoimainen ilmanvaihto vaativat suunnittelua. Lämmitettävät rakennukset ja tasaista lämpöä vaativa tuotanto yleensä edellyttävät koneellista ilmanvaihtojärjestelmää. Esitetyt periaateratkaisut perustuvat maatarakennuksissa tehtyihin ilmanvaihtojärjestelmien laskennallisiin tarkasteluihin sekä suorituskyvyn mittauksiin käytännön kohteissa. Tutkimuksessa vertailtiin erilaisten järjestelmien tehokkuutta ja käyttökelpoisuutta. Tutkimuksen kohteena olivat tuotantotilat, joilla kasvatettiin lypsykarjaa, sikoja, kanoja tai hevosia. Tutkituissa kotieläinrakennuksissa ilmanvaihtojärjestelmien taso vaihteli hyvin paljon. Kaikissa tutkimuskohteina olleissa rakennuksissa oli tarpeen tehdä korjaustoimenpiteitä ilmanvaihto- tai lämmitysjärjestelmiin. Muutostarpeet tutkituissa kohteissa olivat kuitenkin yleensä vähäisiä ja liittyivät esimerkiksi mittausantureiden sijoituspaikkoihin tai ohjauslaitteiden säätöihin ja asetuksiin. Ilmanvaihto kotieläinrakennuksissa toimii silti yleisesti ottaen heikosti, joten maataloilla pitäisi kiinnittää ilmanvaihdon korjaustoimenpiteisiin nykyistä enemmän huomiota. Toimiva ilmanvaihto edistää työntekijöiden terveyttä, parantaa viihtyvyyttä ja lisää työn tuottavuutta. Painovoimaista ja koneellista ilmanvaihtoa voidaan parantaa kehittämällä suunnittelua ja uutta teknologiaa, rakentamisen ohjeita ja määräyksiä sekä erityisesti koulutusta. Sisäilman laadun parantaminen alkaa hyvästä ilmanvaihdon suunnittelusta ja toteutuksen laadunvalvonnasta. Laadun varmistuksen tukena voidaan käyttää VTT:n laatiman ToVa-käsikirjan periaatteita (ToVa – Toimivuuden varmistaminen). Kirjasta tehtiin tässä projektissa oma versio, ns. Maatila-ToVa-käsikirja. ToVa-toimintaperiaatteiden mukaan aluksi määritetään sisäilmatavoitteet, jotka teknisen järjestelmän on toteutettava. Lopputulos varmennetaan käyttöönottotarkastuksessa sekä mahdollisesti myös käytön aikana tehtävin sisäilmastomittauksin.		
ISBN 978-951-38-7555-8 (URL: http://www.vtt.fi/publications/index.jsp)		
Avainnimeke ja ISSN VTT Tiedotteita – Research Notes 1455-0865 (URL: http://www.vtt.fi/publications/index.jsp)		Projektinumero 30771
Julkaisu-aika Joulukuu 2009	Kieli Suomi, engl. tiiv.	Sivuja 133 s. + liitt. 7 s.
Projektin nimi Maatalouden tuotantorakennusten toimiva ilmanvaihto		Toimeksiantaja(t) Maa- ja metsätalousministeriö ja yritykset (ks. alkusanat)
Avainsanat Ventilation, performance, animal houses, cold climate		Julkaisija VTT PL 1000, 02044 VTT Puh. 020 722 4520 Faksi 020 722 4374



Series title, number and
report code of publication

VTT Research Notes 2521
VTT-TIED-2521

Author(s) Ismo Heimonen, Jorma Heikkinen, Keijo Kovanen, Jarmo Laamanen, Tuomo Ojanen, Jouko Piippo, Tapani Kivinen, Pekka Jauhiainen, Jarmo Lehtinen, Sakari Alasuutari, Kyösti Louhelainen & Jukka Mäittälä		
Title High performance ventilation in animal houses		
Abstract The increase of sizes of farms and increased proportion of production in big size farms during the last 20–30 years are reality in Finland. The new farm buildings are remarkable bigger than before. The increase of farm sizes and amount of animals are increasing the loads for indoor climate and structures, which are setting higher requirements for the ventilation systems to fulfill the environmental conditions which are optimal for animals and guarantee the welfare and productivity. This study is describing the principles of ventilation for animal farm buildings in cold climate. Both mechanical and buoyancy driven natural ventilation systems should be designed. The production in heated buildings typically requires mechanically ventilated systems. These results are based on the theoretical calculations and measurements of performance in real farm buildings. The performance and efficiency of the ventilation systems was studied in different type of farm buildings (dairy, pig, horse, broiler houses). The level of ventilation systems in animal buildings is varying a lot. In every studied building, there was a need for improving the ventilation or heating systems. The needs for repairs were typical minor, e.g. changing the position of controlling sensor or settings in the control system. The performance of the ventilation is typically unsatisfactory, and it is recommended to pay more attention to repairs in ventilation systems. The quality of ventilation is improved by developing national building codes, developing the technology and bringing the best available technological solutions at the markets. The utilisation of the best available systems is improved by information and dissemination. The key point in the process is high quality of design practise and quality control of the work and processes. The quality control is improved by using Commissioning process described in VTT Cx/Commissioning handbook, which has own version for farm buildings. The commissioning process describes the phase of setting the target values for indoor climate, which is realised with the technical ventilation system. The final results is confirmed with the commissioning measurements just before starting the operation of the ventilation system, and later during the use of the system, if necessary.		
ISBN 978-951-38-7555-8 (URL: http://www.vtt.fi/publications/index.jsp)		
Series title and ISSN VTT Tiedotteita – Research Notes 1455-0865 (URL: http://www.vtt.fi/publications/index.jsp)		Project number 30771
Date December 2009	Language Finnish, engl. abstr.	Pages 133 p. + app. 7 p.
Name of project High performance ventilation in large farm buildings		Commissioned by Ministry of agriculture and forestry and the companys (see alkusanat)
Keywords Ventilation, performance, animal houses, cold climate		Publisher VTT Technical Research Centre of Finland P. O. Box 1000, FI-02044 VTT, Finland Phone internat. +358 20 722 4520 Fax +358 20 722 4374

VTT Tiedotteita - VTT Research Notes

- 2504 Sirkku Kivisaari, Lauri Kokkinen, Juhani Lehto & Eveliina Saari. Sosiaali- ja terveydenhuollon systeemisen innovaation johtaminen – kahden tapaustutkimuksen opetuksia. 2009. 69 s. + liitt. 16 s.
- 2505 Annele Eerola & Torsti Loikkanen. Governance and Research of Nordic Energy System Transition. Summary Report of the GoReNEST project. 2009. 45 p. + app. 3 p.
- 2506 Pertti Koukkari (ed.). Advanced Gibbs Energy Methods for Functional Materials and Processes. ChemSheet 1999–2009. 2009. 145 p.
- 2507 Kati Koponen, Sampo Soimakallio & Esa Sipilä. Assessing the greenhouse gas emissions of waste-derived ethanol in accordance with the EU RED methodology for biofuels. 2009. 42 p. + app. 7 p.
- 2508 Pentti Vähä, Jari Kettunen, Tapani Ryyänen, Minna Halonen, Jouko Myllyoja, Matti Kokkala, Maria Antikainen & Jari Kaikkonen. Palvelut muokkaavat kaikkia toimialoja. Palveluliiketoiminnan toimialakohtaiset tiekartat. 2009. 128 s.
- 2509 Maija Ruska & Göran Koreneff. Ydinvoimalaitoshankkeiden vaikutukset kilpailuun sähkömarkkinoilla. 2009. 57 s. + liitt. 12 s.
- 2510 Jyrki Poikkimäki, Katri Valkokari & Juha-Pekka Anttila. Teräspalvelutoiminnan tulevaisuus Suomessa. 2009. 48 s. + liitt. 21 s.
- 2511 Minna Kurkela (ed.). Advanced Biomass Gasification for High-Efficiency Power. Publishable Final Activity Report of BiGPower Project. 2009. 53 p.
- 2512 Kati Tillander, Tuula Hakkarainen, Helena Järnström, Tuomas Paloposki, Juha Laitinen, Mauri Mäkelä & Panu Oksa. Palokohteiden savu-, noki- ja kemikaalijäämät ja niiden vaikutukset työturvallisuuteen, osa 2. Polttokokeet, case-tapaukset tutkimukset ja altistumisen arviointi. 2009. 59 s.
- 2513 Krzysztof Klobut, Jorma Heikkinen, Jari Shemeikka, Ari Laitinen, Miika Rämä & Kari Sipilä. Huippuenergiatehokkaan asuintalon kaukolämpöratkaisut. 2009. 68 s.
- 2514 Emilia Selinheimo, Maria Saarela, Minna Halonen, Raija Koivisto, Aimo Tiilikainen, Marika Lyly, Jarno Mikkonen Pekka Lehtinen, Mirja Mokka, Anu Kaukovirta-Norja, Kaisa Poutanen. Solutions for intelligent nutrition. Nutritech roadmap. 2009. 99 p. + app. 1 p.
- 2515 Seppo Vuori ja & Kari Rasilainen. Katsaus ydinjätehuollon tilanteeseen Suomessa ja muissa maissa. 2009. 59 s.
- 2517 Amar Mahiout, Jarmo Siivinen, Juha Mannila, Juha Nikkola, Riitta Mahlberg, Jyrki Romu, Risto Ilola, Outi Söderberg, Jorma Virtanen, Antero Pehkonen, Raisa Niemi, Tuomas Katajarinne, Jari Koskinen, Seppo Kivivuori & Simo-Pekka Hannula. Hybridipinnoitteilla lisäarvoa metallituotteille. 2009. 69 s.
- 2521 Ismo Heimonen, Jorma Heikkinen, Keijo Kovanen, Jarmo Laamanen, Tuomo Ojanen, Jouko Piippo, Tapani Kivinen, Pekka Jauhiainen, Jarmo Lehtinen, Sakari Alasuutari, Kyösti Louhelainen & Jukka Mäittälä. Maatalouden kotieläinrakennusten toimiva ilmanvaihto. 2009. 133 s. + liitt. 7 s.