



Lypsykarjapihaton luonnollinen ilmanvaihto

Ismo Heimonen | Jorma Heikkinen | Jarmo Laamanen |
Tapani Kivinen

Lypsykarjapihaston luonnollinen ilmanvaihto

Ismo Heimonen, Jorma Heikkinen & Jarmo Laamanen
VTT

Tapani Kivinen
MTT

ISBN 978-951-38-7907-5 (URL: <http://www.vtt.fi/publications/index.jsp>)
ISSN 2242-122X (URL: <http://www.vt.fi/publications/index.jsp>)

Copyright © VTT 2012

JULKAISIJA – UTGIVARE – PUBLISHER

VTT
PL 1000 (Tekniikantie 4 A, Espoo)
02044 VTT
Puh. 020 722 111, faksi 020 722 7001

VTT
PB 1000 (Teknikvägen 4 A, Esbo)
FI-02044 VTT
Tfn +358 20 722 111, telefax +358 20 722 7001

VTT Technical Research Centre of Finland
P.O. Box 1000 (Tekniikantie 4 A, Espoo)
FI-02044 VTT, Finland
Tel. +358 20 722 111, fax +358 20 722 7001

Kansikuva Tapani Kivinen, MTT

Toimitus Anni Repo

Lypsykarjapihatton luonnollinen ilmanvaihto

Lightweight ventilation in dairy houses. **Ismo Heimonen, Jorma Heikkinen, Jarmo Laamanen & Tapani Kivinen.** Espoo 2012. VTT Technology 71. 141 s. + liitt. 25 s.

Tiivistelmä

Luonnollisella ilmanvaihdolla toimivat verhoseinäpihatot ovat yleistyneet Suomessa sen jälkeen kun ensimmäiset rakennettiin 2000-luvun alussa. Kokemuksia verhoseinäpihatosta on saatu runsaasti viimeisen kymmenen vuoden ajalta ja näitä kokemuksia on hyödynnetty tässä tutkimusprojektin ”Lypsykarjarakennusten kevennetyt ilmanvaihtojärjestelmät” julkaisussa. Projektin päämääränä oli esittää ratkaisut ja perustelut kevennetyjen ilmanvaihtojärjestelmien toteutukseen lypsykarjarakennuksissa.

Kyselyiden ja haastattelujen perusteella kokemukset verhoseinä- ja kennolevyseinäisten pihattorakennusten olosuhteista ja ilmanvaihdon toimivuudesta ovat hyviä tai erinomaisia. Keskustelut karjankasvattajien kanssa sekä neljällä tilalla tehdyt mittaukset osoittivat, että olosuhteet ovat suhteellisen hyvin hallittavissa säätämällä ilman tulo- ja poistoaukkoja. Säätö tapahtuu sisälämpötilan perusteella joko käsin tai automaattisesti. Lämpötila pysyi nollan yläpuolella lyhytaikaisia poikkeuksia lukuun ottamatta eläinten tuottamalla lämmöllä ilman varsinaista lämmitystä. Kesällä lämpötilat pysyivät pääosin lehmille määritellyn kriittisen maksimilämpötilan alapuolella. Mitatut ilmankosteudet ylittivät talven seurantajaksoilla maksimiohjearvon 85 %, mutta ilman kosteussisältö oli niin pieni, ettei lyhytaikainen kosteus yleensä aiheuta haittaa rakenteille. Hiilidioksidipitoisuudet pysyivät maksimiohjearvon 3000 ppm alapuolella.

Ilmanvaihdon toimintaa kaikkina vuoden tunteina laskettiin malleilla, jotka perustuvat rakennuksen lämpö-, kosteus ja hiilidioksiditaseisiin. Laskentamallit on hienosäädetty vastaamaan mitattuja todellisia tilanteita. Malleilla on selvitetty, kuinka ilmanvaihdon toimivuutta voidaan kohteissa edelleen parantaa. Tarkasteluissa havaittiin, että ilmanvaihdon automaattisäätö sisälämpötilan perusteella pitää olosuhteet hyvin tavoitearvoissaan. Lypsykarjanavetan lämpötaseen tarkastelu osoitti, että eläinten tuottama lämpö poistuu pääasiassa ilmanvaihdon avulla. Eläinten lämpö kattaa ilmanvaihdon lämmitystarpeen aina –30 asteen ulkolämpötilaan saakka, jos sisälämpötila halutaan pitää nollan yläpuolella ja hiilidioksidipitoisuus 3000 ppm:n alapuolella. Lämmön johtuminen rakenteiden läpi on eristetyissä navetoissa tyypillisesti 30 % kokonaislämpöhäviöstä. Eniten lämpöä johtuu ulos katon ja verhoseinän kautta. Vaikka johtumislämpöhäviö on pienehkö ilmanvaihdon lämpöhäviöön verrattuna, antaa hyvä lämpöeristys väljyyttä lämpötilan hallintaan kovilla pakkasilla.

Sisäolosuhteiden hallinta edellyttää, että ilmanvaihtomäärä voidaan pitää sopivana kovalla pakkasella ja se saadaan tarpeeksi suureksi hellekaudella. Ilmanvaihdon mitoittamiseen on työssä esitetty yksinkertainen menettelytapa ja nyrkki-

sääntöjä. Uudiskohteissa poistoaukkojen määrä mitoitetaan suhteessa lattian pinta-alaan siten, että poistoaukkojen määrä on 0,5 % lattia-alasta. Tuloilma-aukkojen korkeuden tulee olla vähintään 1,2 m, jos verhoseinä on koko sivuseinän mittainen. Kesän lämpöolojen hallinnan kannalta suositellaan mahdollisimman laajoja verhopinta-aloja ja lisäksi sekoituspuhaltimia. Pakkasjakson lämpötilojen hallintaa varten tuloilma-aukkojen minimialan tulee olla 0,1 % lattiapinta-alasta. Tämä vastaa tavallisesti noin 2 cm rakoja koko sivuseinien pituudella, sisältäen vuotoilmarat seinärakenteissa sekä verhon ja seinän saumakohtissa. Vasikka- ja hiekokasvattamoissa poistoaukkojen alaksi riittää 0,25 % lattian pinta-alasta. Nämä mitoitussuositukset koskevat navettaa, jossa poistohormin pään ja tuloaukon välinen korkeusero on noin 7 metriä. Jos korkeusero on selvästi tätä pienempi, on aukkojen oltava suurempia. Poistoilma-aukoiksi suositellaan hormoneja kasvihuoneharjan sijaan.

Kun vanha lämmin navetta muutetaan verhoseinä- tai kennolevyseinäratkaisuksi, mitoitetaan tuloilma-aukko lehmien lukumäärän perusteella käyttäen verhoseinän pinta-alalle suunnitteluarvoa 0,85 m²/lehmä. Poistoaukkojen mitoitukseen voidaan käyttää suunnitteluarvoa 0,03 m²/lehmä.

Ilmanvaihtoa säädetään muuttamalla poistohormin avausta tai verhoseinien avausta käsin tai automaattisesti lämpötilan perusteella. Pääasiassa säätö tapahtuu verhoilla. Kovilla pakkasilla (10–20 pakkasasteen alapuolella) on syytä pienentää myös poistoilma-aukkoja. Tuulisissa oloissa ilmanvaihtoa on helpompi hallita, kun säätö tapahtuu pääasiassa tuloilma-aukkoja pienentämällä, jolloin läpituuleminen rakennuksen läpi on vähäisempää kuin jos säätö tapahtuisi poistoaukkoja pienentämällä.

Edellä esitetyt suunnittelu- ja säätöperiaatteet on esitetty pihattojen normaaleille täyttöasteille. Mikäli pihattoja pidetään vajaatäytöllä, minimi-ilmanvaihdon säädön on pystyttävä kompensoimaan vajaatäytön pienempi ilmanvaihdon tarve tai rakennukseen on eläinlämmön puuttumisen vuoksi lisättävä lämmitystä. Tämä seikka on huomioitava erityisesti, kun rakennus otetaan käyttöön talvella eikä eläinmäärä toteudu ensimmäisenä talvena suunnitellulla tavalla.

Avainsanat curtain wall ventilation, natural ventilation, passive stack ventilation, cross ventilation, animal house, dairy barn ventilation, heifer barn ventilation

Lightweight ventilation in dairy houses

Lypsykarjapihaton luonnollinen ilmanvaihto. **Ismo Heimonen, Jorma Heikkinen, Jarmo Laamanen & Tapani Kivinen.** Espoo 2012. VTT Technology 71. 141 p. + app. 25 p.

Abstract

The amount of curtain-wall ventilated dairy houses has increased remarkably since the first implementations of this ventilation principle in Finland in the beginning of the 21st century. The experiences of users of these buildings during the last 10 years have been collected and utilised in this research "Lightweight ventilation in dairy houses". The objective of the project was to present solutions and the basis for implementing lightweight ventilation systems in dairy houses.

The experiences of dairy house owners were gathered by web based questionnaires and interviews. The experiences on indoor environment and ventilation performance in dairy houses were mostly good or excellent. The measurements in four case study buildings and discussions with the owners indicated that the conditions are well managed by opening and closing of the wall curtains and by adjusting the exhaust vents. The curtains are controlled manually or automatically based on indoor temperature. The indoor air temperature was over zero degrees Celsius by only utilising the animal heat, without extra heating, except for short periods. During the summertime the temperatures were below the critical upper temperatures for dairy cows most of the time. The measured relative air humidity during the winter period exceeded the maximum Finnish guideline value of 85%, but the absolute moisture content of the air is very small during the winter, and typically short periods of high relative humidity does not cause any damage for the structures. The concentrations of CO₂ were below guideline value of 3000 ppm during the monitoring periods.

The performance of the ventilation system was further analysed by hourly simulations of thermal, moisture and CO₂ concentration balances, in order to find means to improve the ventilation performance. The agreement between the simulation model and the measurements in the actual dairy houses was first tested and found to be sufficient. The studies showed that the automatic control based on indoor air temperature kept the indoor temperatures quite well in target values. The examination of the thermal balance of a dairy cow house indicated that at least 70 percent of the animal heat is removed by the ventilation air. The amount of the animal heat production corresponds to the heat loss of the necessary ventilation to maintain the carbon dioxide level below 3000 ppm at the indoor air temperature of 0 °C and the outdoor temperature of -30 °C. The heat losses of the structures are typically 30% of the total heat losses of the dairy cow houses at minimum ventilation conditions. The biggest part of structural heat losses are transmitting through the roof and the curtain wall. Although the heat losses through the walls are small compared to ventilation heat losses, the better insula-

tion level improves the management of the indoor temperature during cold weather periods.

The good management of indoor climate conditions requires the sufficient air change rate during cold weather and increased ventilation during the hot weather. This paper presents a simple method and rule of thumbs for dimensioning of ventilation openings. For the new dairy cow houses the sizing for the area of exhaust ventilation openings is 0.5% of the floor area. The minimum recommended height of the inlet opening is 1.2 m, if the opening extends through the length of the building façade. Large curtain wall opening are necessary to maintain acceptable indoor temperatures during the summer periods even though mixing fans are also often necessary. The recommended minimum opening of the curtain wall is 0.1% of the floor area. Typically this corresponds to opening height of 2 cm along the façade wall and includes the unintentional infiltration openings in the external wall and in the connection of the external wall and the curtain. For calves and heifers the recommendation for the minimum size of the exhaust ventilation openings is 0.25% of the floor area. These recommendations are valid for the buildings where the difference in levels of the exhaust vent and the curtain wall inlet openings is about 7 m. If the level difference is smaller, it is recommended to have bigger ventilation opening areas. It is recommended to use exhaust ventilation ducts instead of ridge openings.

In case of retrofitting, the recommendation is based on amount of cows and the design value for area of inlet opening in curtain wall is 0.85 square meters per cow. The recommendation for exhaust opening area is 0.03 square meters per cow.

The ventilation rate is controlled by adjusting the damper in the exhaust duct or opening and closing the wall curtain. The control is done manually or automatically based on the indoor air temperature. The primary control is done by curtain wall. During the most severe conditions (outdoor temperature below $-20\dots-10$ °C) it is reasonable to control the damper of the exhaust duct as well. By letting the control priority to the inlet openings during wind conditions prevents the cross flow through the building, which happens more often if only exhaust opening is controlled.

These design and control principles are valid for designed number of animals in typical buildings. If the animal house is used with lower load, there is need to reduce the minimum air flow rate to accommodate these operation conditions. The other option is to compensate the lack of animal heat by additional heating the building. This aspect is important to note especially when a new building is taken into use in winter and the number of animals is not yet at the design level.

Keywords curtain wall ventilation, natural ventilation, passive stack ventilation, cross ventilation, animal house, dairy barn ventilation, heifer barn ventilation

Alkusanat

Verhoseinäpihattojen rakentaminen on lisääntynyt voimakkaasti sen jälkeen kun ensimmäiset verhoseinäpihatot rakennettiin Suomeen 2000-luvun alussa. Kokemuksia kohteista on saatu runsaasti viimeisen kymmenen vuoden ajalta ja näitä kokemuksia on hyödynnetty tässä tutkimusprojektin ”Lypsykarjarakennusten kevennetyt ilmanvaihtojärjestelmät” julkaisussa. Projektin päämääränä oli esittää ratkaisut ja perustelut kevennetyjen ilmanvaihtojärjestelmien toteutukseen lypsykarjarakennuksissa.

Tutkimuksen edistymistä ja tulosten hyödyntämistä ohjasi ja valvoi ohjausryhmä, johon kuuluivat Raija Seppänen (puheenjohtaja, MMM), Markku Virtanen (VTT) ja Jouni Pitkäranta (suunnittelija). Tutkimuksen toteuttivat VTT ja MTT, ja toteutukseen osallistuivat VTT:stä Ismo Heimonen (projektipäällikkö), Jorma Heikkinen ja Jarmo Laamanen ja MTT:stä Tapani Kivinen.

Tutkimusprojektia ovat rahoittaneet maa- ja metsätalousministeriö (MAKERA-rahoitus) ja Valio Oy. Lisäksi tutkimukseen osallistuneet karjankasvattajat tukivat hanketta antamalla kohteen tutkimuksen käyttöön ja avustamalla mittausten järjestämisessä.

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

Sisällysluettelo

Tiivistelmä	3
Abstract	5
Alkusanat	7
Käsitteitä	10
1. Johdanto	11
2. Painovoimaisten ilmanvaihtoratkaisujen nykytila	16
2.1 Verhoseinäpihatot Suomessa	16
2.2 Kokemukset verhoseinäpihatoista – kyselytutkimus.....	18
2.3 Verhoseinäilmanvaihdon tekniset ratkaisut.....	21
2.4 Verhoseinien käyttökokemukset ja käyttötavat	21
2.5 Luonnollisen ilmanvaihdon vaikutukset työntekijöihin.....	27
2.6 Verhoseinäilmanvaihdon kustannuskysely	28
2.7 Luonnollisen ilmanvaihdon vaikutukset lehmisiin.....	35
2.8 Verhoseinä- tai kennolevyseinäpihatojen valintaperusteet	36
2.9 Kyselyssä esiin tulleita verhoseinäilmanvaihdon kehitystarpeita.....	38
3. Painovoimaisen ilmanvaihdon periaate ja tekniikkasovellukset pihatoissa	40
3.1 Ilman sisääntuloaukot	41
3.2 Ilman poistoaukot.....	41
3.3 Ilmanvaihdon tarve navetassa	45
3.4 Lämpötase navetassa	46
3.5 Ilmanvaihdon säätö kylmällä säällä.....	49
4. Kohdemittaukset ja ilmanvaihdon parantamisen keinot	52
4.1 Olosuhtemittaukset ja laskelmat – verhoseinät ja poistohormit 200 lehmän uudisrakennuksessa.....	54
4.1.1 Mittausten suoritus	58
4.1.2 Mittaustulokset	60
4.1.3 Tulosten tarkastelu	64
4.1.4 Talvimittausjakson laskennallinen tarkastelu.....	65
4.1.5 Olosuhteiden laskenta koko vuoden ajalla.....	69

4.1.6	Homehtumisriskin arviointi	74
4.1.7	Verhon minimiavauksen vaikutus	76
4.1.8	Vaipan erityspaksuuden vaikutus lämpötalouteen	78
4.2	Olosuhdemittaukset – verhoseinät ja poistoharja 170 eläimen nuorkarjarakennuksessa	81
4.2.1	Mittaukset	84
4.2.2	Mittaustulokset	86
4.2.3	Tulosten tarkastelu	89
4.3	Olosuhdemittaukset ja laskelmat – kennolevyt ja poistohormit 40 lehmän peruskorjatussa navettarakennuksessa	90
4.3.1	Mittaukset	93
4.3.2	Mittaustulokset	94
4.3.3	Tulosten tarkastelu	96
4.3.4	Talvimittausjakson laskennallinen tarkastelu	97
4.3.5	Tulo- ja poistoaukkojen määrän ja automaattisäädön vaikutus ilmanvaihdon toimivuuteen	99
4.4	Olosuhdemittaukset – peruskorjattu lypsy- ja nuorkarjarakennus verho- ja kennolevyseinillä ja poistohormeilla varustettuna	106
4.4.1	Mittaukset	109
4.4.2	Mittaustulokset	110
4.4.3	Tulosten tarkastelu	113
5.	Painovoimaisen ilmanvaihdon mitoitussuositus	114
5.1	Rakennuksen sijoittelu	114
5.2	Uudisrakennukset	115
5.3	Korjauskohteet	120
6.	Lypsykarjarakennusten savunpoisto	122
6.1	Savunpoisto uusissa pihatoissa	122
6.2	Savunpoiston mitoitusesimerkki	123
7.	Näkökulmia ilmanvaihdon detaljisuunnitteluun ja käyttöön	127
7.1	Painovoimaisen ilmanvaihdon kehitystrendit nautarakennuksissa	127
7.2	Huolto	130
7.3	Sääoloihin varautuminen, hormien ja verhojen käyttö	135
7.4	Automaatiikan vaikutus	135
8.	Johtopäätökset ja suositukset	137
	Kirjallisuus	140
	Liitteet	
	Liite A: Verhoseinäkyselyn 1. vaiheen kysymykset	
	Liite B: Verhoseinäkyselyn 2. vaiheen (kustannuskysely) kysymykset	

Käsitteitä

Verhoseinä	Lypsykarjarakennuksen sivuseinillä oleva nostettava ja laskettava, valoa läpi päästävä yleensä muovipohjainen joustava verhorakenne säätömekanismein, jolla vaikutetaan rakennukseen tulevan ilman määrään.
Kennolevyseinä	Lypsykarjarakennuksen sivuseinillä oleva nostettava ja laskettava, valoa läpi päästävä kennorakenteinen jäykkä muovilevy säätömekanismein, jolla vaikutetaan rakennukseen tulevan ilman määrään.
Paljeseinä	Lypsykarjarakennuksen sivuseinillä oleva nostettava ja laskettava, valoa läpi päästävä ilmapaljerakenne säätömekanismein, jolla vaikutetaan rakennukseen tulevan ilman määrään.
Ilmapalje	Reunoilta ja keskialueelta määräväleihin yhteen hitsattu kahden muovikalvon muodostama rakenne, johon ilmaa sisään puhaltamalla saadaan aikaan ylipaineinen kenno, joka muodostaa seinärakenteen, jolla on lämmöneristysominaisuus.
Kasvihuoneharja	Kasvihuoneista tuttu ilman poistoaukko. Toiminta perustuu harjalta saranoituihin harjan pituussuuntaisiin läppiin, joita avataan ilmanvaihtotarpeen ja tuulitilanteiden mukaan.
Harjapoisto	Periaate, jossa poistoilma johdetaan ulos rakennuksen keskialueelta harjalla sijaitsevista poistoaukoista.
Valoharja	Rakennuksen keskellä harjan suuntaisesti sijaitseva yhtenäinen jatkuva tai yksittäinen kattoikkuna, joka voi olla kiinteä tai avattava.
Rehupöytä	Lehmien ruokintaan tarkoitettu eläinten oleskelutasosta hieman korotettu lattia-alue, johon rehu jaetaan vaihtelevilla tekniikoilla ja välineillä ja johon lehmät pääsevät käsiksi vain tarkoitukseen rakennetun rehuesteen kautta.

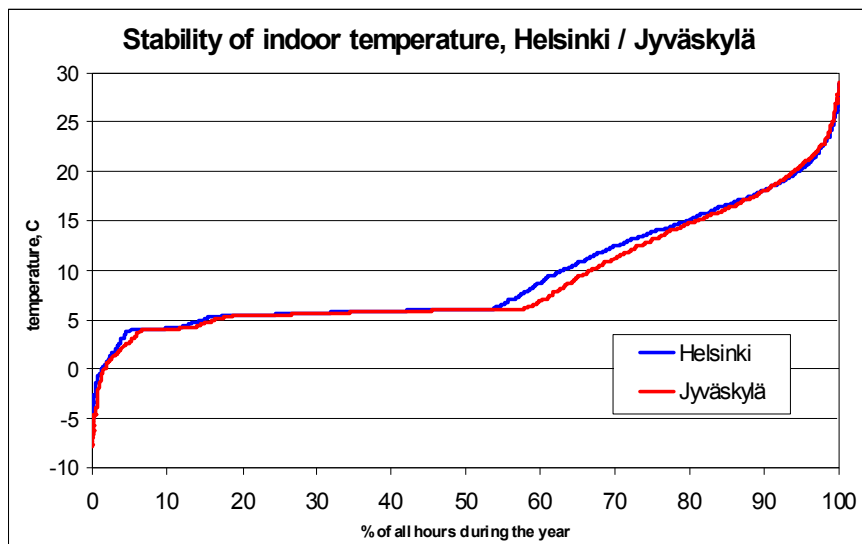
1. Johdanto

Luonnollisen ilmanvaihdon ns. verhoseinäratkaisu on vakiinnuttanut asemansa USA:n ja Kanadan lypsykarjarakennuksissa viimeisten 20 vuoden aikana. Se on tavanomainen ratkaisu Keski-Euroopassa ja Tanskassa. Painovoimaisesti toimivat verhoseinälypsykarjapihatot ovat yleistymässä Suomessakin, ja niiden määrä on lisääntynyt meillä nopeasti: vuonna 2005 oli 15 kohdetta valmiina, vuonna 2009 arviolta 110 toimivaa pihattoa ja vuonna 2012 arviolta yli 200 toimivaa pihattoa.

Tutkimus (Kivinen et al. 2006 ja 2007) esitti tuloksia ns. verhoseinäilmanvaihdon toimivuudesta eristetyssä lypsykarjarakennuksessa (kuva 1) Suomen ilmassa. Kokeellinen ja laskennallinen tutkimus osoitti, että sisälämpötilan tavoitetaso 4–6 °C saavutettiin yli 50 % ajasta (kuva 2) ja ilmanvaihdon minimin ylittävä ilmanvaihtuvuus voitiin ylläpitää aina verhoseinän säätöjä muuttamalla. Hiilidioksidin pitoisuus pysyi aina alle tavoitetason 3000 ppm. Äärimmäisissä olosuhteissa esiintyi korkeita suhteellisen kosteuden tasoja ja lyhytaikaisesti kondenssia rakenteiden pinnoilla. Painovoimaisen ns. verhoseinäilmanvaihdon havaittiin tutkimuksessa soveltuvan hyvin Suomen ilmastoon. Tutkitut esimerkit osoittivat, että kohtuullinen toimivuus on saavutettavissa, mutta se edellyttää hallittua mitoitusta ja käyttöä.



Kuva 1. Eräs verhoseinäilmanvaihdolla toteutettu lypsykarjarakennus (Kivinen et al. 2006).



Kuva 2. Laskettu sisälämpötilan pysyvyys verhoseinäilmanvaihdolla toteutetussa rakennuksessa (Kivinen et al. 2006).

Keskeinen piirre ns. verhoseinäpihattojen toteutuksessa on keventää ilmanvaihtojärjestelmän investointeja siten, että ilman sisään johtaminen toteutetaan seinässä olevasta rakenteen virtausaukosta ja poistoilma johdetaan ulos rakennuksen ylä-

osassa olevista aukoista rakenteissa tai poistokanavan kautta. Puhaltimia ei käytetä ollenkaan, vaan ilman vaihtuminen perustuu ns. painovoimaiseen ilmanvaihtoon, jossa käyttövoimana ovat ilman lämpötilaerosta (ja siten tiheyserosta) johtuvat nostevoimat ja osittain myös tuuli. Ilmanvaihdon määrää säädetään muuttamalla tuloilma-aukkojen tai poistoilma-aukkojen virtausaukon pinta-alaa (avausta). Sisäänvirtausaukko voi olla esimerkiksi pitkä rakomainen verhoseinä, jonka avaus on manuaalisesti tai automaattisesti säädettävissä. Poistoilma-aukko voi olla avattava nauhamainen ikkuna tai poistokanava (tai näiden monikerta tai yhdistelmä näistä).

Perusteluna painovoimaisten tai ajoittain puhaltimilla avustettujen järjestelmien hankinnalle on järjestelmien yksinkertaisuus, pieni energiankulutus ja pienet investointikustannukset. Järjestelmien heikkoutena on ajoittain esiintyvä huono sisäolojen (lämpötila, kosteus, pitoisuudet) hallinta, kuten edellä esitetty esimerkki osoittaa.

Lypsylehmän oleskeluvyöhykkeen alinta kriittistä lämpötilaa $-30\text{...}-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ – ei verhoseinäpihatoissa edellisen tutkimuksen päätelmien perusteella koskaan saavuteta, joten verhoseinäratkaisusta ei ole haittaa lehmän metabolialle. Itse asiassa lehmän ideaali toimintaympäristö on juuri noin $+5\text{ }^{\circ}\text{C}$ tasolla. Verhoseinäisessä pihatossa tämä toteutuu talvipakkasten aikaan, ja kesällä seinien ollessa auki ilmanvaihto toimii hyvin koneelliseen järjestelmään verrattuna, jolloin lehmää ei uhkaa yllämpö ja sen aiheuttama tuotoslasku.

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, jolloin on suotavaa, että ilma pääsee mahdollisimman suurista aukoista sisään rakennukseen ja virtaa omavoimaisesti rakennuksen läpi.

Suunnittelijoiden haasteena kevennettyjen ilmanvaihtojärjestelmien, esim. verhoseinäilmanvaihdon, mitoituksessa on menetelmän ja perusteiden valinta. Painovoimaisen ilmanvaihdon teoria tunnetaan, mutta teorian soveltamista ei. Mitoitusta varten tarvittavat tiedot, esimerkiksi virtausaukkojen ominaisuudet, eivät ole yksinkertaisesti löydettävissä. Hyväksyttävien olosuhteiden pysyvyyden ”valintaperusteet” (kuinka suuri osuus ajasta tietyt olosuhteet on saavutettava) eivät ole selkeät. Verhoseinäpihattojen ilmanvaihtoaukkojen mitoitukseen on kehitetty ohje Kanadassa (House & Rodenburg 2003), mutta sen soveltuvuutta Suomeen ei ole valitoitu.

Yksinkertaistetuille järjestelmille on kysyntää, mutta niiden hallitun käyttöönoton varmistamiseksi ja jatkokehittämiseksi on tärkeää selvittää ne toimivuuteen liittyvät kysymykset, joita ei ole vielä selvitetty aikaisemmissa tutkimuksissa (Kivinen et al. 2006, Heimonen et al. 2009). Keskeisiä tiedon puutteita ja selvitettäviä asioita ovat seuraavat:

- Järjestelmätyyppejä ja niiden toimivuutta ei ole kattavasti selvitetty; millaisia järjestelmämalleja ja tekniikkaa on käytössä, millaiset ratkaisut ovat mahdollisia ja millaisia kokemuksia järjestelmien toimivuudesta on käytännössä?
- Millaiseksi lopputuloksen laatu kokonaisuutena on koettu käyttäjien ja omistajien taholta?
- Millaista tekniikkaa (verhoseinät, luukut, kanavat, ilman kierrättäjä/sekoittajat, mittaustekniikka, säätö- ja ohjaustekniikka yms.) toteutusten parantamiseksi on kehitettävä tai otettava käyttöön?
- Selkeä mitoitusohje kevennetyille painovoimaisille tai osittain puhaltimilla avustetuille järjestelmille puuttuu; mitoitusohjeen tulisi olla kirjoitettuna oppaan muotoon, jossa kuvataan teoriaperusteet, mitoituksen reunaehdot ja valittavat asiat sekä mitoituksella saavutettava lopputulos ja mitoituseriaate havainnollistetaan esimerkkien avulla.
- Tietoa toimivuudesta ja lopputuloksen laadusta suhteessa investointeihin ja investointisäästöihin ei ole analysoitu ja osoitettu; pienempi investointikustannus on kiistaton, mutta toimivuuden suhde investointikustannuksiin (tai päinvastoin investointien suhde toimivuuteen) on selvittämättä. (Toimivuus tässä yhteydessä on esim. sisäilman laatu tai tyytyväisyys olosuhteisiin.)

Osittain näiden kysymysten selvittämiseksi käynnistettiin tutkimusprojekti ”Lypsykarjarakennusten kevennetyt ilmanvaihtojärjestelmät” (2010–2012). Projekti on jatkoa aikaisemmille tutkimuksille:

- a) ”Lämpöeristetyn verhoseinäisen lypsykarjapihatton ilmanvaihdon toimivuus”: Tutkimuksessa selvitettiin verhoseinäratkaisun toimivuutta koekohhteessa tehdyillä mittauksilla ja simuloimalla vastaava tapaus. Tutkimuksessa selvitettiin verhoseinän ohjaustapojen vaikutusta saavutettavaan lopputulokseen. Verhoseinätutkimus (2005–2006) oli avaintutkimus, jonka avulla elinkeinon toimijat – karjatilalliset, suunnittelijat ja viranomaiset – saattoivat luottavaisin mielin omaksua verhoseinäratkaisun. Nyt Suomeen on syntynyt edustava joukko kohteita, joiden käyttökokemusten kartoitus on paikallaan.
- b) ”Maatalouden tuotantorakennusten toimiva ilmanvaihto”: Tutkimuksessa kuvattiin periaatteet kylmän ilmanalan kotieläinrakennusten ilmanvaihdon suunnittelua varten. Tutkimuksessa todettiin, että sekä koneellinen että painovoimainen ilmanvaihto vaativat suunnittelua, ja yleensä lämmitettävät rakennukset ja tasaista lämpöä vaativa tuotanto edellyttävät koneellista ilmanvaihtojärjestelmää. Tutkimuksessa esitetyt periaateratkaisut perustuvat maatilarakennuksissa tehtyihin ilmanvaihtojärjestelmien laskennallisiin tarkasteluihin sekä suorituskyvyn mittauksiin käytännön kohteissa. Tutkimuksessa vertailtiin erilaisten järjestelmien tehokkuutta ja käyttökelpoisuutta eri tarpeisiin. Tutkimuksen kohteena olivat tuotantoti-

lat, joissa kasvatettiin lypsykarjaa, sikoja, kanoja tai hevosia. Verhoseinäilmanvaihtoa ei hankkeessa tutkittu. Hanke esitti yhteenvedon kanadalaisesta verhoseinäarakennuksen ilmanvaihdon mitoitusohjeesta, jota ei kuitenkaan ole validoitu Suomen olosuhteisiin sopivaksi.

Hankkeen "Lypsykarjarakennusten kevennetyt ilmanvaihtojärjestelmät" päämääränä on esittää ratkaisut ja perustelut kevennetyjen ilmanvaihtojärjestelmien toteutukseen lypsykarjarakennuksissa. Osatavoitteina on

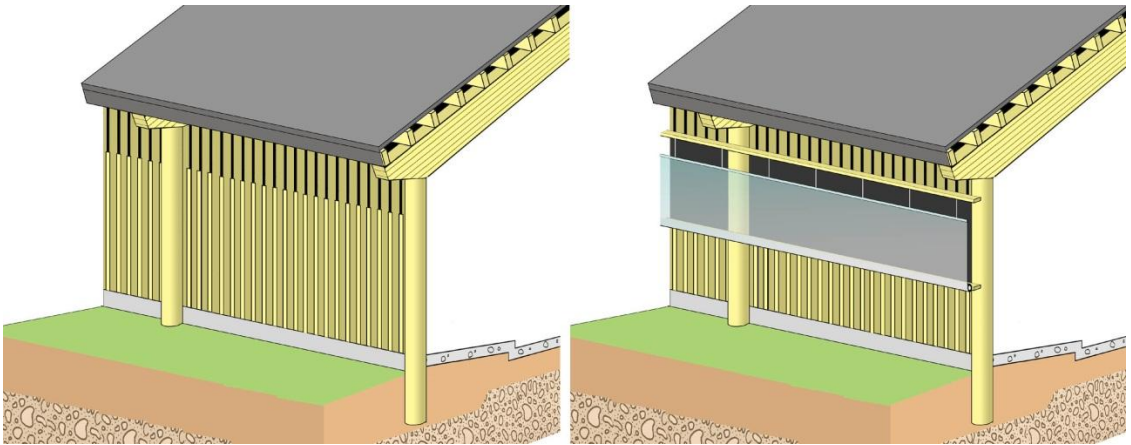
- osoittaa verhoseinäpihattojen käytännön toimivuus ja kehitystarpeet
- selvittää käyttäjien ja omistajien kokemukset järjestelmistä ja varmentaa ja johtaa näiden kokemusten kautta jatkokehitystarpeet
- esittää kevennetyn järjestelmätekniikan malliratkaisut ja niiden toimivuus (energiätehokkuus, lisälämmön tarve, saavutettu sisäilmasto, tuottavuus)
- esittää painovoimaisten ja kevennetyjen ilmanvaihtojärjestelmien mitoitusperiaate ja -ohje
- edistää aihealueen kansainvälisen parhaan tiedon käyttöönottoa ja soveltamista Suomen olosuhteisiin.

Tässä julkaisussa esitetään projektin keskeiset tulokset.

2. Painovoimaisten ilmanvaihtoratkaisujen nykytila

2.1 Verhoseinäpihatot Suomessa

Verhoseinäiset pihatot ovat yleistyneet maassamme vuodesta 2004 alkaen. Nyt niitä lasketaan olevan yli 200 kohdetta käytössä tai rakenteilla. Verhoseinäisyys tarkoittaa kotieläinrakennusta, jonka ilmanvaihtoon tarvittavat aukot ovat rakennuksen pitkällä sivuseinillä ja aukkoja suljetaan ja avataan keveiden verhomaisten rakenteiden avulla ilmanvaihdon säätämiseksi (kuvat 3 ja 4). Poistoilma kulkeutuu yleensä harjalla olevien luukkujen, läppien tai poistohormien kautta. Verhoseinäinen rakennus voi olla kylmäpihatto, osittain tai täysin lämpöeristetty. Verhoseinäpihaton tavoitteellinen talvilämpötila on 4–6 °C eläinhallin osalta. Viimeaikaisen kehityksen myötä erityisesti lypsykarjarakennuksien vesikatoissa ja päätyseinissä on käytetty lämpöeristeitä vaihtelevia määriä. Tästä syystä perinteisten kylmä- ja lämminpihattotermien väliin on vakiintunut uusi termi – viileä pihatto. Lihakarja- ja emolehmäarakennukset voivat käyttötapaansa perusteella olla pelkästään kylmäpihattoja.

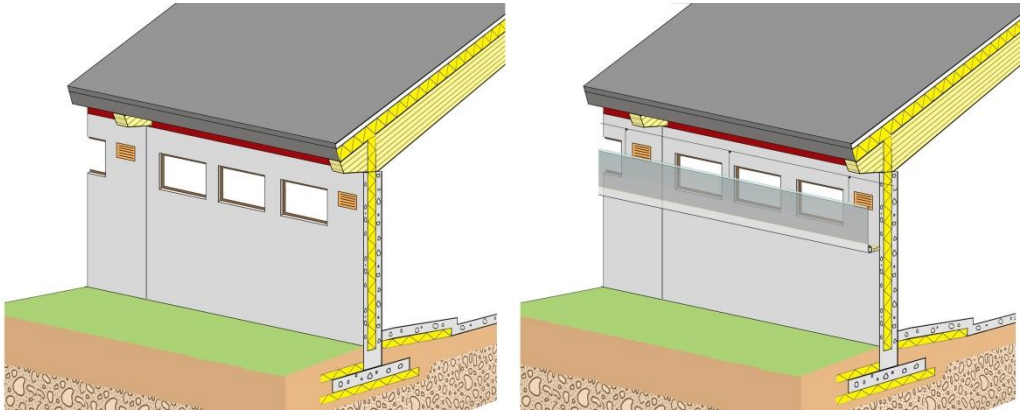


Kuva 3. Esimerkki rakoseinäisestä kylmäpihatosta (vasen kuva) ja varustettuna verhoratkaisulla (oikea kuva).



Kuva 4. Esimerkki viileäpihatosta (katto lämpöeristetty) osaverholla tai kokoseinäin korkuisella verholla.

Uutena trendinä painovoimaisen ilmanvaihdon toteuttamiseen on tullut koneellisten järjestelmien riisuminen ja ikkuna-aukkojen, jopa kokonaisten seinien, purkaminen aukoiksi, joihin säädettävät verho- tai kennolevyrakenteet sijoitetaan (kuva 5). Samalla kattoon tulevien poistoaukkojen määrää tulee lisätä vastaamaan lisääntyneitä sisäntuloaukkojen määrää.

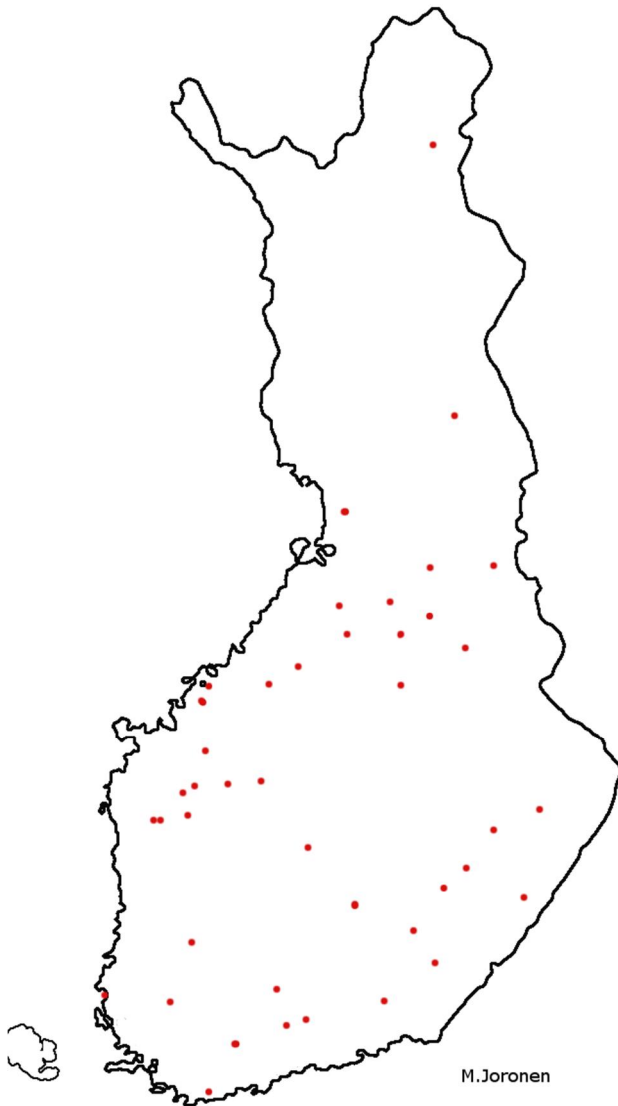


Kuva 5. Esimerkki perinteisestä täysin lämpöeristetyistä pihatosta, jonka ikkunat on purettu ja tilalle asennettu verhorakenne.

2.2 Kokemukset verhoseinäpihatosta – kyselytutkimus

Suomessa arvioidaan olevan yli 200 kpl painovoimaisella ilmanvaihdolla toimivaa verhoseinäistä pihattoa. Painovoimaisen ilmanvaihdon toimivuutta selvitettiin web-kyselyllä keväällä 2011. Kyselyyn vastasi 50 maidontuottajatilaa. Kyselyssä selvitettiin teknisten ominaisuuksien lisäksi verhoseinien vaikutusta pihatton toimivuuteen, työntekijöiden viihtyvyyteen ja eläinten hyvinvointiin. Ajankohta kyselylle oli kyselyn kannalta hyvä, koska kahtena edellisenä talvikautena oli esiintynyt erittäin kylmiä jaksoja ja edellisenä kesänä myös erittäin lämmin jakso, joten ääriolosuhteet olivat toteutuneet parin edellisen vuoden aikana.

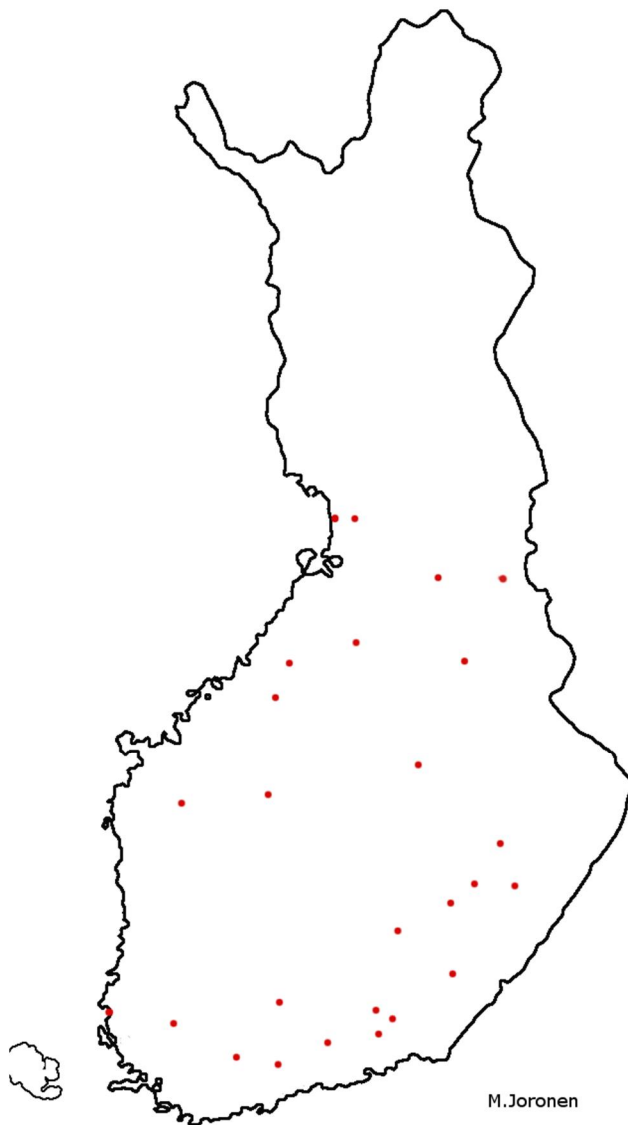
Toimivuuskyselyyn osallistuneiden tilojen sijainti Suomessa on esitetty kuvassa 6.



Kuva 6. Toimivuuskyselyyn osallistuneiden tilojen sijainti.

Ilmanvaihtoratkaisujen kustannuksia selvitettiin toisella web-kyselyllä keväällä 2012. Kustannuskyselyn tavoitteena oli selvittää järjestelmien kustannusrakennetta. Kyselyyn vastasi 33 maidontuottajatilaa.

Kustannuskyselyyn osallistuneiden tilojen sijainti Suomessa on esitetty kuvassa 7.



Kuva 7. Kustannuskyselyyn osallistuneiden tilojen sijainti.

Liitteissä A ja B on web-kyselyissä esitetyt kysymykset. Osa kysymyksistä oli mahdollisia, eli niiden esittäminen riippui edellisistä vastauksista. Seuraavissa luvuissa 2.3–2.9 esitetään kyselyn tulokset.

2.3 Verhoseinäilmanvaihdon tekniset ratkaisut

Verhoseinäilmanvaihdon teknisiä ratkaisuja selvitettiin muutamalla kysymyksellä, joissa valittiin tai kuvailtiin ilmanjaon ja -poiston teknisiä ratkaisuja (kysymykset liitteessä A).

Tuloilman sisäänvirtaukseen suunniteltu reitti oli verhoseinät 31 tapauksessa (66 %) ja alas liukuvat kennolevyseinät 15 tapauksessa (32 %). Nämä molemmat olivat käytössä 7 kohteessa (15 %). Suurimmassa osassa kohteista ilmanpoistoon käytettiin hormeja (35 tapausta / 74 %). Harjapoistoja oli toteutettu nk. kasvihuoneharjalla (esim. molempiin suuntiin avautuva läppä) (4 tapausta / 9 %) tai valokatteella, jonka pystysivut ovat avoinna (tai ohjattavissa auki) (5 tapausta / 11 %). Harvinaisempia ratkaisuja olivat paljeseinät tai ilmapalje sekä poistohormien ja valoharjan yhdistelmät.

Ilmanvaihdon säätö perustui käsisäätöön (manuaalisäätöön) 37 kohteessa (80 %) ja automatiikkaohjaukseen 9 kohteessa (20 %). Kaikissa automaattisäädön kohteissa säädöllä vaikutettiin verhoseinän tai kennolevyseinän avaukseen. Tuloilmapuolen aukon (verhoseinän tai kennolevyseinän avaus) kokoa säädettiin vinssillä tai vastaavalla (31 tapausta / 86 %) tai moottorilla (4 tapausta / 11 %). Poistoaukot sijaitsivat kaikissa tapauksissa rakennuksen keskiliinjalla, ja poistoaukon kokoa säädettiin manuaalisesti 42 tapauksessa (91 %) ja säätöä poistupuolella ei tehty ollenkaan (aina sama poistoilman aukko) 3 tapauksessa (7 %).

Viidessä kohteessa verhoseinän ja kennolevyseinän säädössä hyödynnettiin sääaseman tietoja ja kahdessa tapauksessa poistupuolen säädössä hyödynnettiin sääaseman tietoja. Sääaseman hyödynnettäviä tietoja olivat ulkolämpötila, tuulen nopeus, tuulen suunta ja sateisuus.

Lämmitystä varten rakennuksissa oli lisälämmitys kiinteänä asennuksena 20 % tapauksista, lisälämmitys siirrettävillä väliaikaisilla laitteilla 30 % tapauksista ja lattialämmitys 38 % tapauksista. Lämmittämiseen on varauduttu valtaosassa tapauksista, mutta vastaukset osoittivat, että lämmitystä ei juurikaan tarvittu tai käytetty. Lisälämmitys kiinteänä asennuksena tai lattialämmitys sijaitsi usein lypsyasemalla, vasikkatiloissa tai sosiaalituloissa.

Kesäajan viilennykseen kesällä oli käytettävissä puhaltimia tai ilmaa sekoittavia helikopterituulettimia noin viidesosassa tapauksista.

2.4 Verhoseinien käyttökokemukset ja käyttötavat

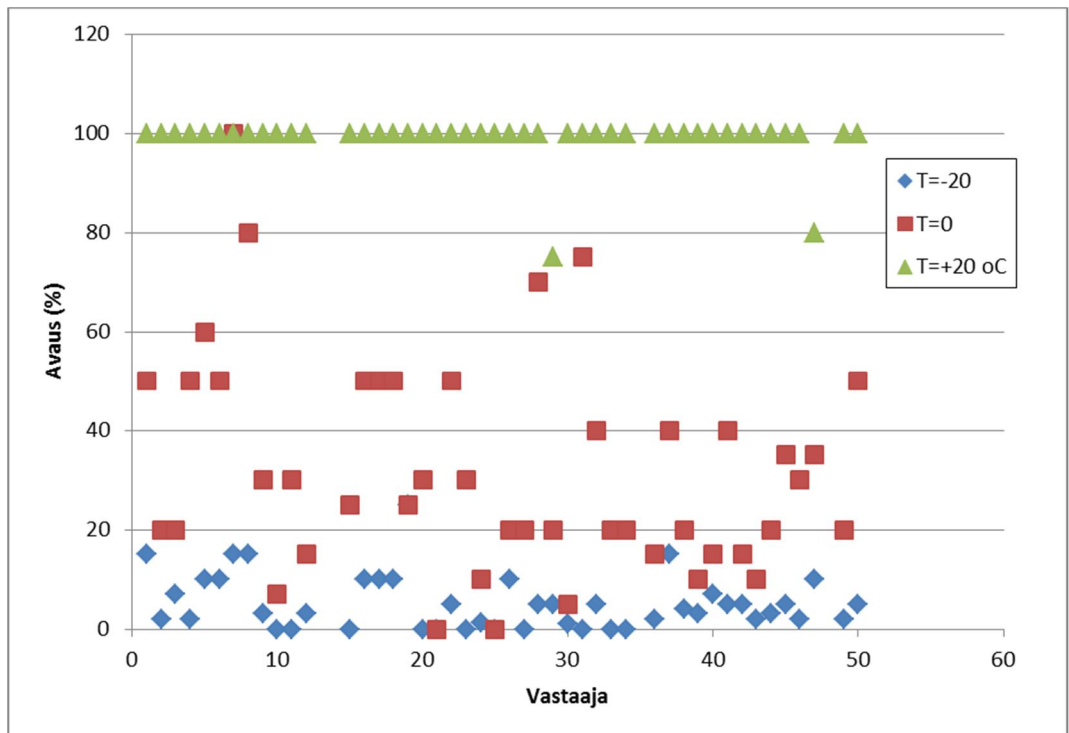
Verhoseinäpihattojen käyttökokemuksia oli tiloilla keskimäärin 2–3 vuotta. Muutama rakennus oli ollut käytössä yli 5 vuotta ja kaikki kyselyyn vastanneiden rakennukset kuitenkin alle 10 vuotta.

Manuaalisäädön kohteissa (80 %) tuloilma-aukkoja säädetään pääasiassa sisälämpötilan perusteella (lämpömittarista katsoen tai aistinvaraisesti). Useissa kohteissa myös huomioidaan ulkona vallitsevat olosuhteet ja ennakoidaan tulevaa säätilaa. Tuulisuus tai tuulen nopeus, tuulen suunta ja sateisuus voivat myös vai-

2. Painovoimaisten ilmanvaihtoratkaisujen nykytila

kuuttaa säätötapaan. Lisäksi ilman laadun tai kosteuden aistinvarainen arviointi voi vaikuttaa säätöön.

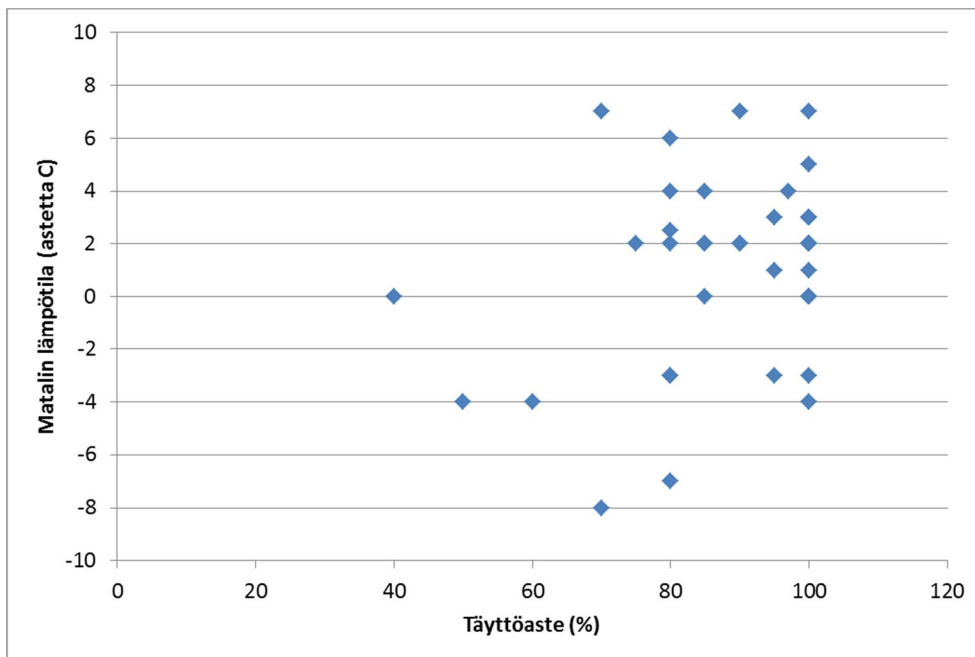
Kyselyssä vastaajia pyydettiin arvioimaan tuloilma-aukkojen korkeutta (prosenttia % maksimiarvosta) eri ulkolämpötiloissa (kuva 8). Ulkolämpötilassa $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ aukon korkeus oli keskimäärin 15 % maksimista, ulkolämpötilassa $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 38 % maksimista ja ulkolämpötilassa $+20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 88 % maksimista. Sanallisissa vastauksissa, joissa arvioitiin verhoseinän tai kennolevyseinän käyttötapoja vuoden aikana, ilmeni, että joissakin tapauksissa tuloilma-aukot olivat usein miltei täysin auki huhti-toukokuusta aina lokakuuhun asti. Marras-maaliskuun jaksolla taas verhot olivat miltei kiinni. Kevään ja syksyn välikausina oli tarvetta verhoseinien säätöön. Kaikissa automaattisäädön tapauksissa (9 kpl) säätö vaikutti verhoseinän tai kennolevyseinän tuloilma-aukkojen avaukseen.



Kuva 8. Vastaajan arvio verhoseinän tai kennolevyseinän avauksesta eri ulkolämpötiloissa (ulkolämpötiloilla $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$, $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ ja $+20\text{ }^{\circ}\text{C}$).

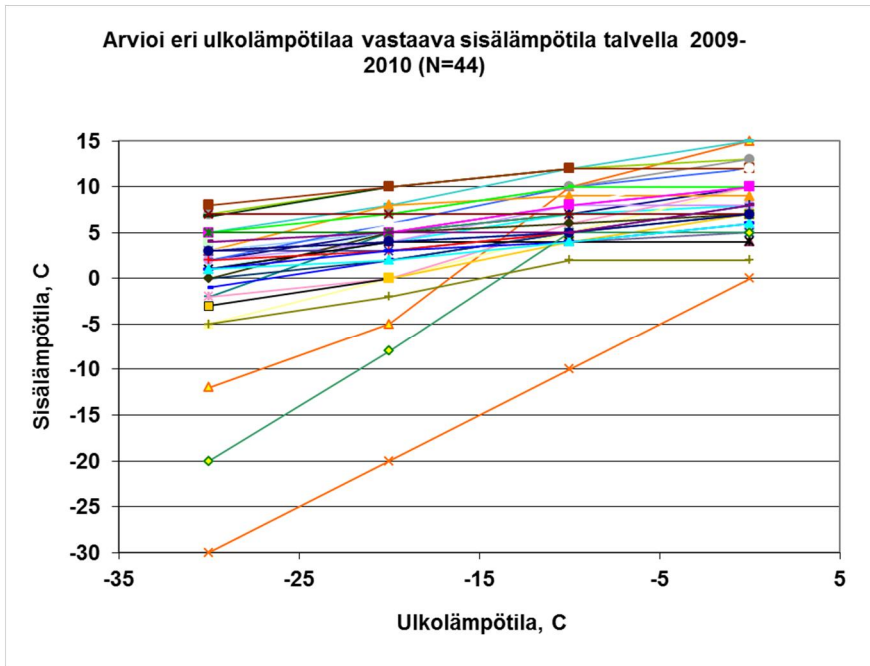
Vastaava kysymys poistopuolen aukkojen säädöistä osoitti, että ulkolämpötilassa $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ poistoreitin avaus suhteessa maksimiin oli keskimäärin 29 %, ulkolämpötilassa $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 81 % ja ulkolämpötilassa $+20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 99 %.

Vastaajien kokemukset lämpötiloista talvikauden 2009–2010 osoittivat, että yli puolessa tapauksista (24 tilaa / 54 % vastaajista) lämpötila ei ollut kertaakaan pakkasen puolella. Lämpötila sisällä oli pakkasen puolella 1–2 päivänä 7 tapauksessa (16 % vastaajista), 2–10 päivänä 8 tapauksessa (18 %), 10–30 päivää yhdessä tapauksessa (2 %) ja yli 30 päivänä 4 tapauksessa (9 %). Pihattojen keskimääräinen täyttöaste talvikaudella oli 82 %. Täyttöasteen vaikutusta lämpötiloihin on arvioitu kuvassa 9. Kuvasta havaitaan, että osa matalimmista lämpötiloista on selitettävissä pienellä täyttöasteella.



Kuva 9. Täyttöasteen vaikutus alimpaan lämpötilaan kohteissa talvikauden aikana.

Vastaajia pyydettiin arvioimaan sisälämpötilaa eri ulkolämpötilan aikoina. Kuva 10 esittää yhteenvedon vastauksista.



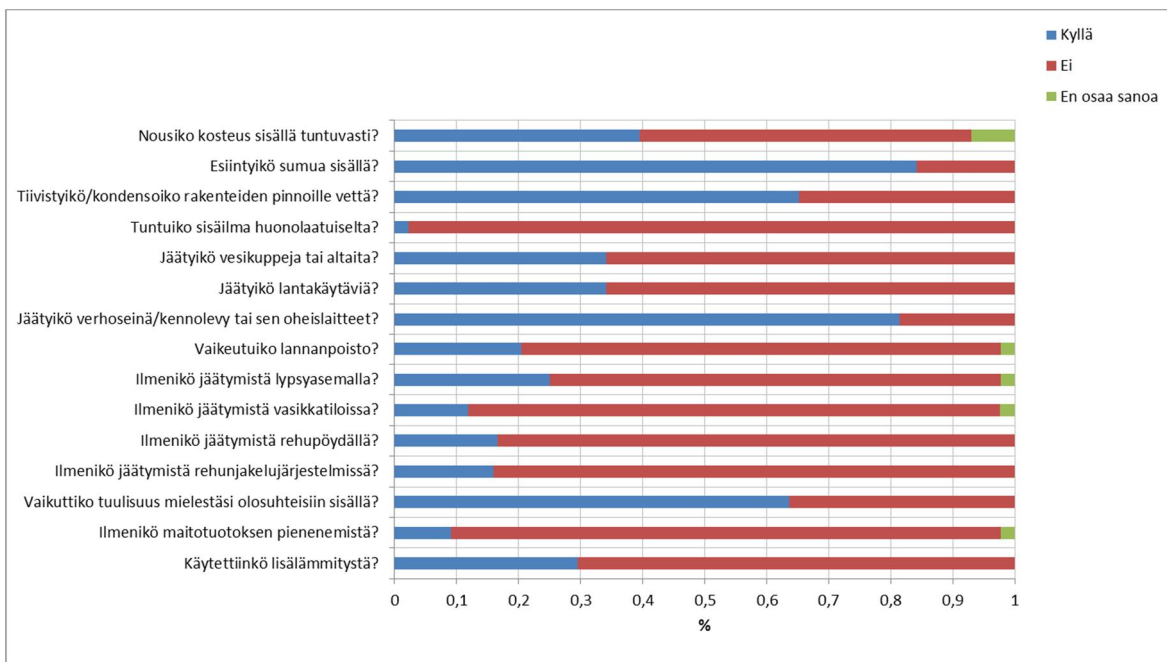
Kuva 10. Arvioitu sisälämpötila eri ulkolämpötilan aikoina. Jokainen käyrä edustaa yksittäistä tapausta.

Muiden talvikauden ilmiöiden esiintymisestä on yhteenveto kuvassa 11.

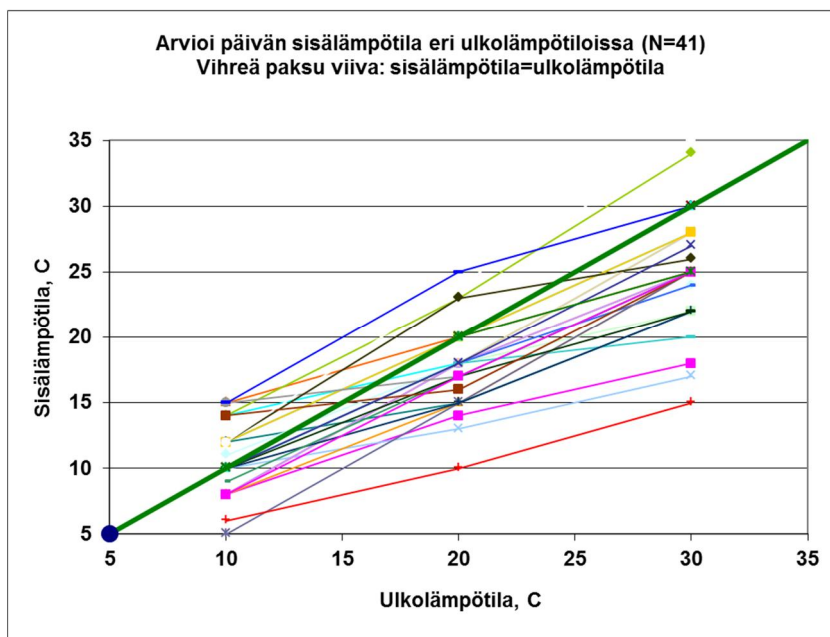
Vastaajat arvioivat, että kesäkaudella 2010 lämpötila pihatossa ylitti 35 astetta 1–2 päivänä 4 tapauksessa (10 % tapauksista), 2–10 päivänä 7 tapauksessa (18 %) ja ylitystä ei tapahtunut kertaakaan 29 tapauksessa (72 %).

Vastaajien arvio kesäkauden 2010 lämpötiloista on esitetty kuvassa 12. Muita kesäkaudella esiintyneitä ilmiöitä on esitetty kuvassa 13. Kuvista voidaan päätellä, että lämpötila nousi kesäkaudella haitallisen korkeaksi. Yli puolet vastaajista arvioi, että maitotuotos pieni kesäkaudella 2010. Pihattojen keskimääräinen täyttöaste kesäkaudella 2010 oli 89 %.

2. Painovoimaisten ilmanvaihtoratkaisujen nykytila

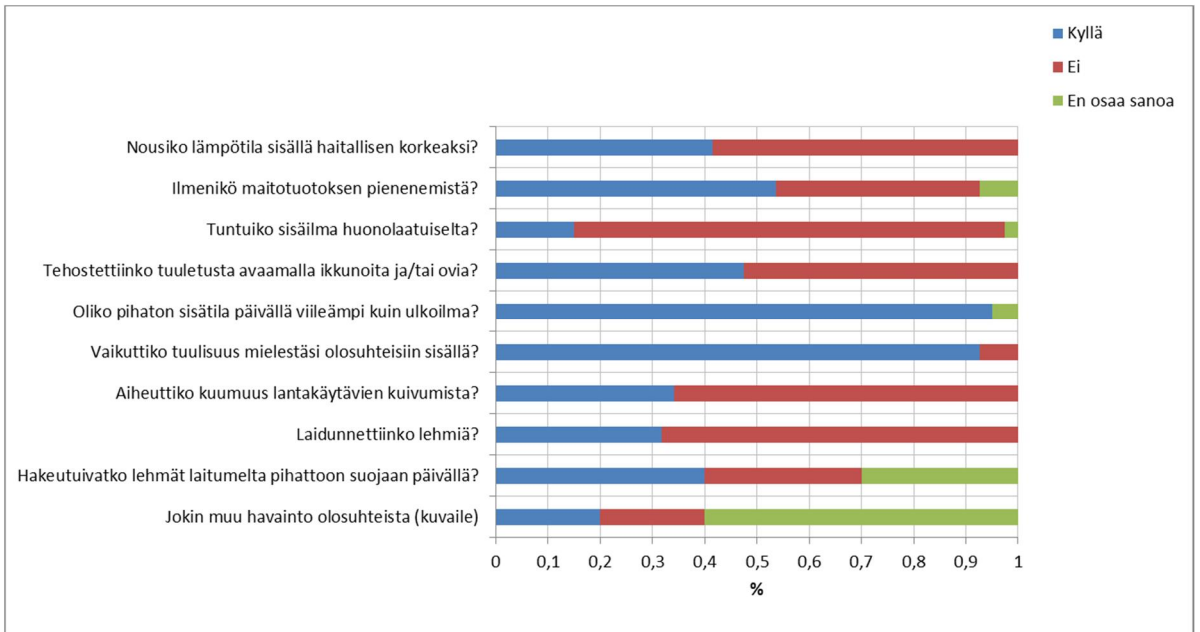


Kuva 11. Talvikaudella 2009–2010 verhoseinärakennuksissa esiintyneitä ilmiöitä.



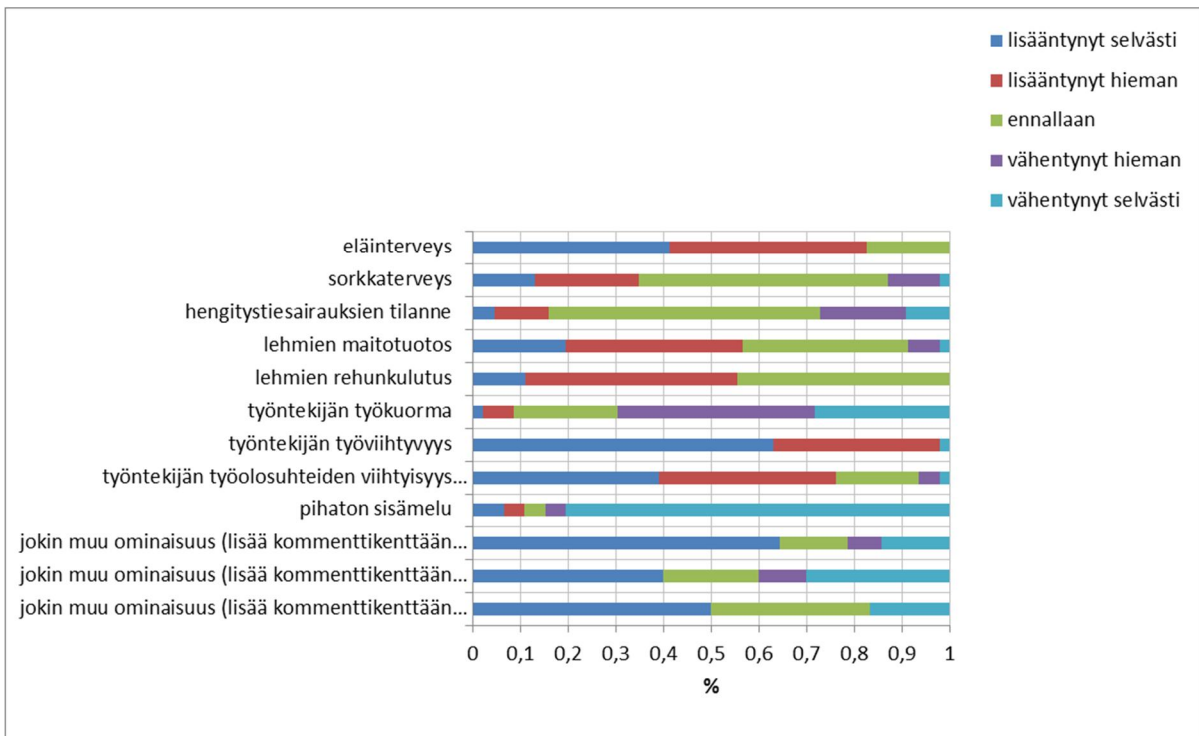
Kuva 12. Arvio kesäkauden 2010 lämpötiloista.

2. Painovoimaisten ilmanvaihtoratkaisujen nykytila



Kuva 13. Kesäkaudella 2010 esiintyneitä ilmiöitä.

Vastaajien kokemuksia nykyisestä verhoseinärakennuksesta verrattuna aikaisempaan on arvioitu kuvassa 14. Kysymyksenä oli: miten seuraavat asiat ovat yleisesti ajatellen kehittyneet verhoseinäpihatossa verrattuna aikaisemmin käytössä olleeseen lypsykarjarakennustyyppiin?

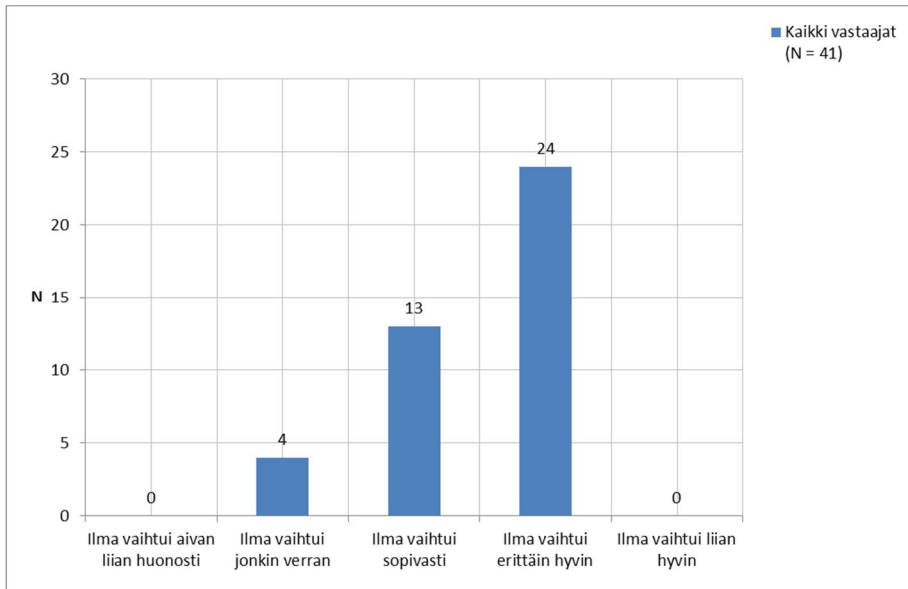


Kuva 14. Vastaajien arvio, miten mainitut asiat ovat yleisesti ajatellen kehittyneet verhoseinäpihatossa verrattuna aikaisemmin käytössä olleeseen lypsykarjarakennustyyppiin.

2.5 Luonnollisen ilmanvaihdon vaikutukset työntekijöihin

Vastaajat arvioivat ilmanvaihtoa ihmisten kannalta kesäkaudella 2010 kuvan 15 mukaisesti.

2. Painovoimaisten ilmanvaihtoratkaisujen nykytila



Kuva 15. Ilmanvaihto ihmisten kannalta kesäkaudella 2010.

Merkittävänä muutoksena vastauskohteissa oli havaittu työkuorman väheneminen hieman tai selvästi 70 %:ssa tapauksista. Työntekijöiden työviihtyvyys oli lisääntynyt hieman tai selvästi 98 %:ssa tapauksista ja työntekijän työolosuhteiden viihtyisyys 76 %:ssa tapauksista.

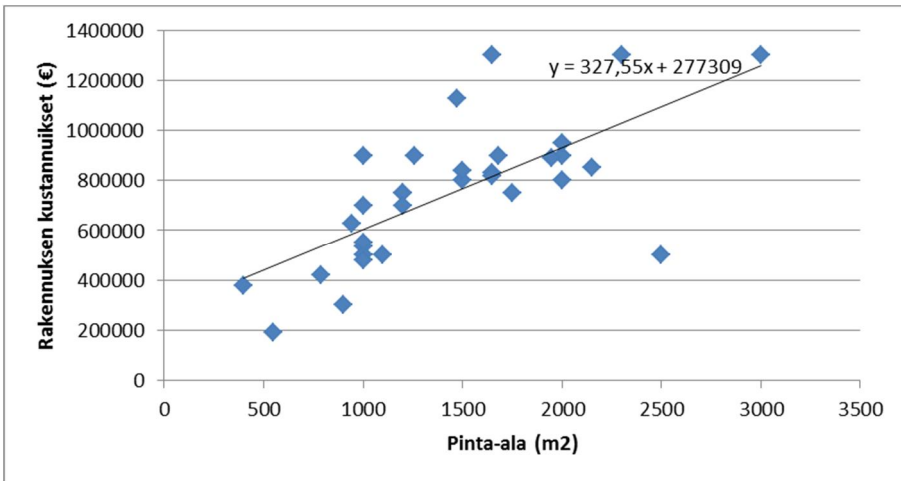
Akustisten olojen osalta arvioitiin, että pihatton melu oli vähentynyt hieman tai selvästi 85 %:ssa tapauksista.

Verhoseinien, kennolevyjen ja hormien peltien tai luukkujen säätö ei juurikaan vienyt työaikaa. Keskimäärin päivässä käytettiin 1 minuutti 17 sekuntia säätöön (minimi 0...maksimi 5 minuuttia).

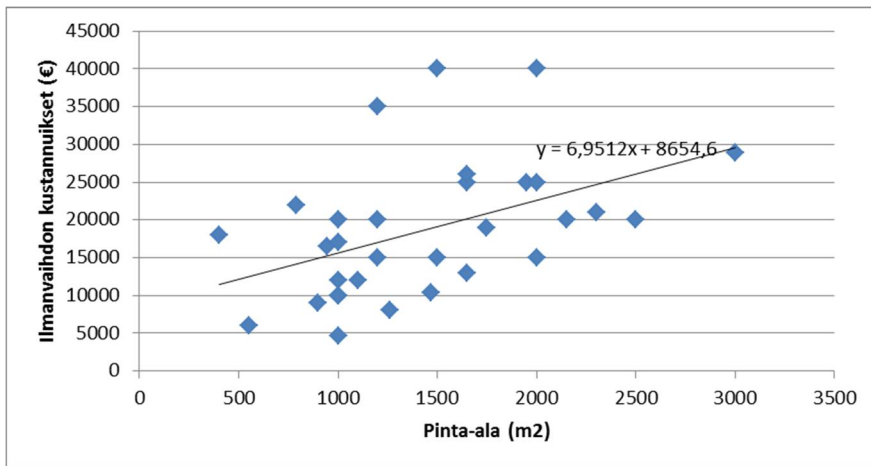
2.6 Verhoseinäilmanvaihdon kustannuskysely

Verhoseinäpihattojen kustannuskyselyyn vastanneiden tilojen rakennusten pinta-ala oli keskimäärin 1447 m² (400...3000 m²) ja käyttöönottovuodet olivat aikavälillä 1999–2012. Suunniteltu eläinmäärä oli keskimäärin yhteensä 128 kpl (minimi 40...maksimi 250 kpl), joista lypsylehmiä keskimäärin 96 kpl (32...250) ja nuorkarjaa 43 kpl (0...100).

Navettarakennuksen kokonaiskustannukset (investointi) olivat keskimäärin 751 150 € ja arvio ilmanvaihdon kokonaiskustannuksista oli keskimäärin 18 540 € (keskimäärin 2,4 % rakennuksen kustannuksista). Kuvissa 16, 17, 18 ja 19 on esitetty rakennuksen ja ilmanvaihdon arvioidut kustannukset pinta-alan ja suunnitellun eläinmäärän funktiona.

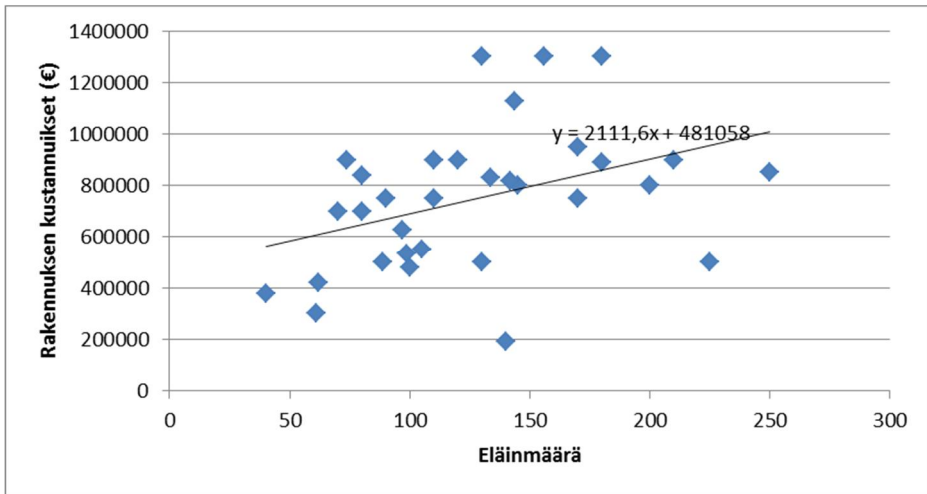


Kuva 16. Rakennuksen kustannukset pinta-alan funktiona.

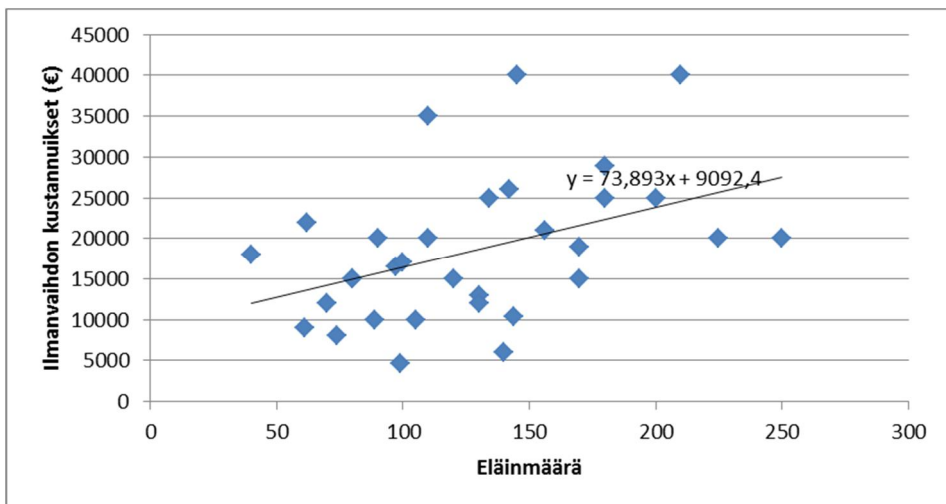


Kuva 17. Ilmanvaihdon kustannukset pinta-alan funktiona.

2. Painovoimaisten ilmanvaihtoratkaisujen nykytila



Kuva 18. Rakennuksen kustannukset eläinmäärän funktiona.



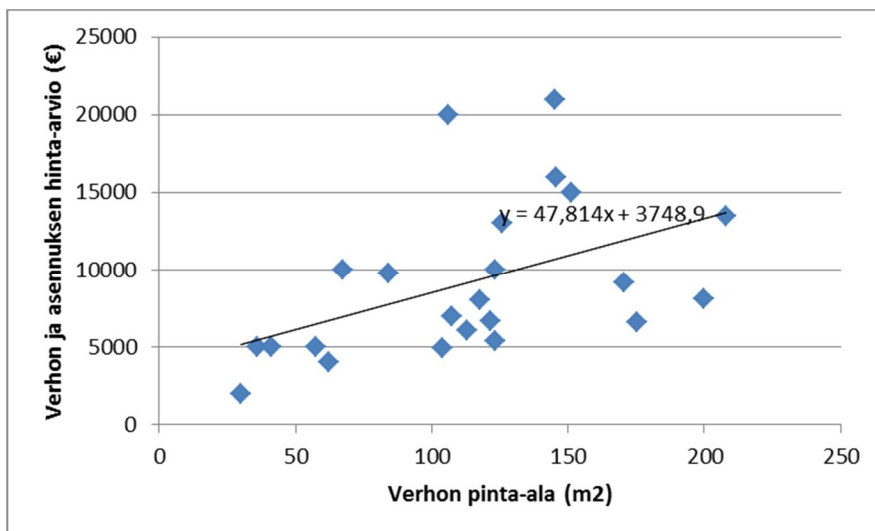
Kuva 19. Ilmanvaihdon kustannukset eläinmäärän funktiona.

Verhoseinien kokonaispituus ulkoseinällä oli keskimäärin 68 m ja verhoseinän maksimikorkeus keskimäärin 1,67 m. Kennolevyjen kokonaispituus ulkoseinällä oli keskimäärin 38 m ja kennolevyjen korkeus keskimäärin 1,46 m.

Kennolevy- tai verhovalmistajia tai toimittajia olivat

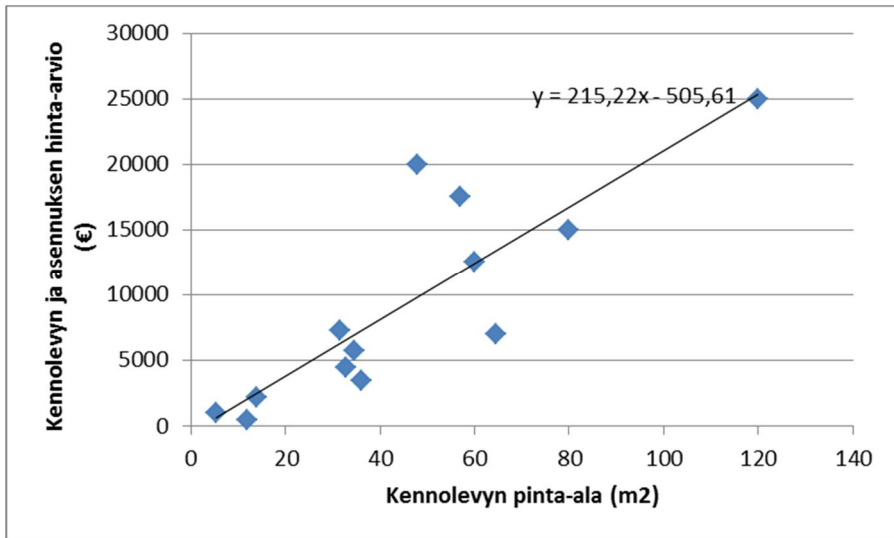
- Arntjen
- Suomen karjatilailmastointi
- Latter
- DeLaval
- Isocell
- Sun-North
- Dairytec
- Boair
- Secco
- Keraplast
- Pellon Group.

Verhoseinän laitteiden arvioidut hankintakustannukset olivat keskimäärin 8 716 € ja kennolevyseinän 8 635 €. Arvioitu asennuksen keskimääräinen hinta oli verhoseinälle 831 € ja kennolevyseinälle 1 440 €. Arvioitu verhon tai kennolevyseinän ja asennuksen keskimääräinen yhteishinta oli verhoseinälle 9 186 € ja kennolevyseinälle 9 046 €. Vastaavat keskimääräiset yhteishinnat (verho/kennolevy+asennus) pinta-alaa kohti olivat verhoseinälle 87 €/m² ja kennolevyseinälle 188 €/m². Kuvissa 20 ja 21 on esitetty verhoseinän ja kennolevyseinän hankintakustannukset verhon tai kennolevyn pinta-alan funktiona.



Kuva 20. Verhoseinän ja sen asennuksen hinta-arvio verhoseinän pinta-alan funktiona.

2. Painovoimaisten ilmanvaihtoratkaisujen nykytila

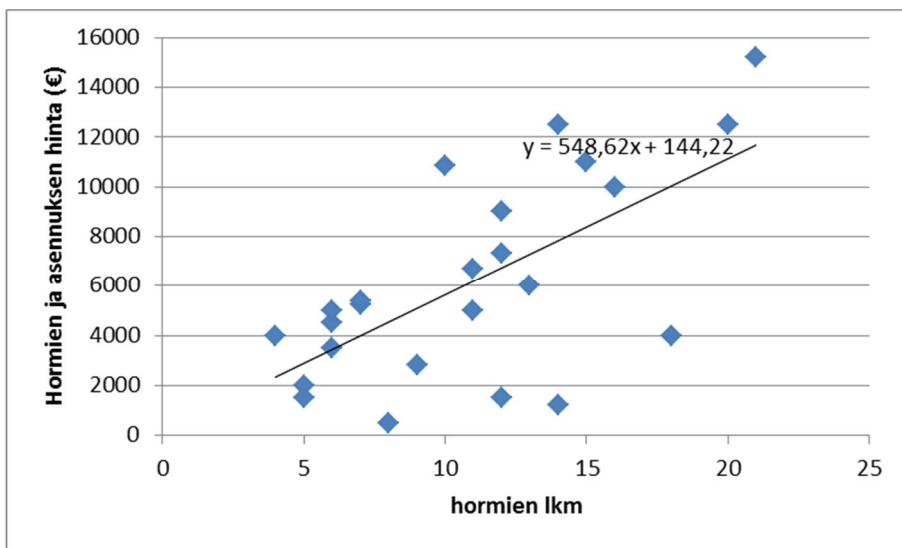


Kuva 21. Kennolevyseinän ja sen asennuksen hinta-arvio kennolevyseinän pinta-alan funktiona.

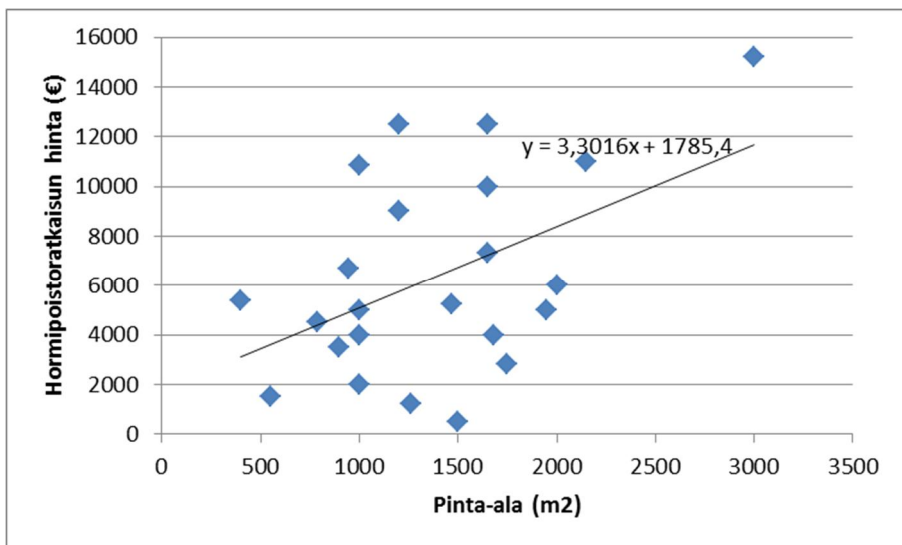
Poistoilman ulosjohtamiseen käytettiin 4 tapauksessa (13 % tapauksista) pyöreitä hormoneja, 22 (71 %) tapauksessa neliskanttisia hormoneja ja 5 tapauksessa (16 %) rakomaista kasvihuoneharjaa (16 % tapauksista).

Ilmanpoistoratkaisun hankintakustannukset laitteiden osalta olivat poistohormien tapauksessa keskimäärin 5 833 € ja kasvihuoneharjan (tai vastaavan) tapauksessa 10 114 €. Asennuksen kanssa hinta oli poistohormien tapauksessa keskimäärin 6 133 € ja kasvihuoneharjan (tai vastaavan) tapauksessa 14 216 €.

Ilmanpoistoratkaisujen osalta on tarkasteltu myös hormin ja sen asennuksen hintaa hormien lukumäärän funktiona (kuva 22) sekä eläinhallin pinta-alaa kohti laskettuna (kuva 23).



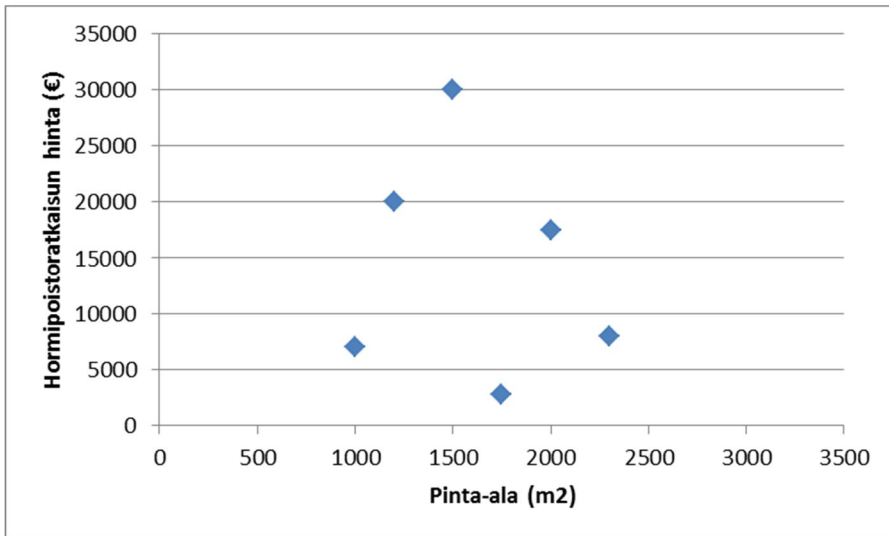
Kuva 22. Poistohormien ja niiden asennuksen hinta hormien lukumäärän funktiona.



Kuva 23. Hormipoistoratkaisun hinta rakennuksen pinta-alan funktiona.

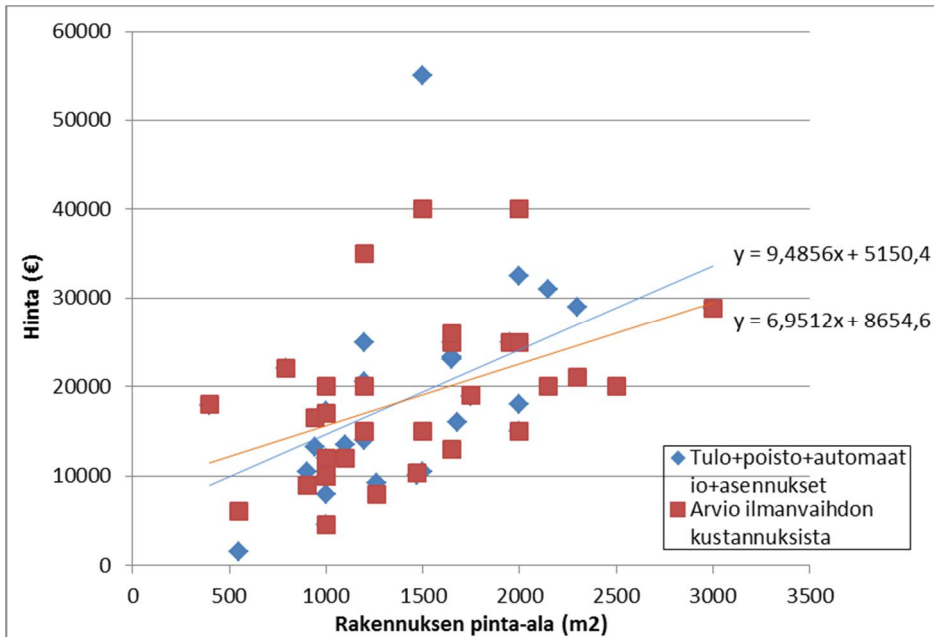
Kasvihuoneharjan tapauksessa vastauksia oli vähän (5 kpl + 1 kpl, jossa sekä kasvihuoneharja että hormipoisto), ja jossakin tapauksessa asennuksen hinta oli sisällytetty harjan hintaan. Hintavaihtelut (kuva 24) olivat suuria, ja ilmeisesti kasvihuoneharjan hinnan erottelu hallin hinnasta oli vaikeaa.

2. Painovoimaisten ilmanvaihtoratkaisujen nykytila



Kuva 24. Kasvihuoneharjan hinta rakennuksen pinta-alan funktiona.

Ilmanvaihdon tulo- ja poistoratkaisujen ja ilmanvaihdon automaation ja näiden asennuksen keskimääräinen yhteishinta oli 18 546 €. Kyselyn alussa pyydettiin hinta-arvio koko ilmanvaihdolle. Tämän kysymyksen kautta saatu keskimääräinen hinta oli 18 544 €. Kuvassa 25 on esitetty ilmanvaihdon hinta kokonaisarviona sekä laskemalla yhteen annetut tulo- ja poistopuolen, automaation ja asennuksen hinnat.



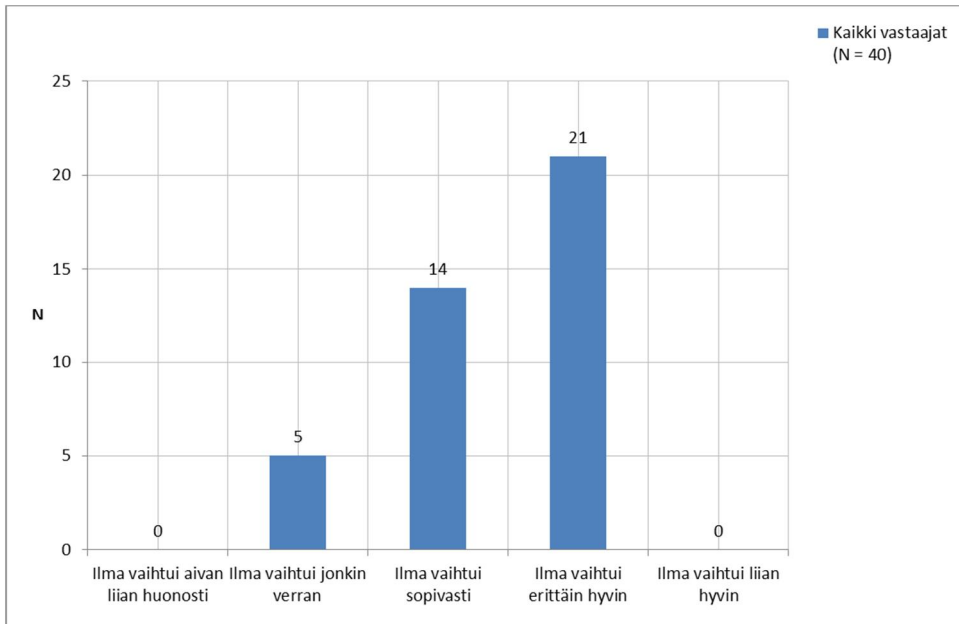
Kuva 25. Ilmanvaihdon hinta rakennuksen pinta-alan funktiona.

2.7 Luonnollisen ilmanvaihdon vaikutukset lehmien

Talvikauden kylmyyden vaikutusta eläimiin kysyttiin avoimella kysymyksellä: miten lehmät reagoivat kylmyyteen (käytös tms. ilmentymä)? Valtaosassa vastauksista todettiin, että lehmät eivät reagoineet mitenkään tai rehunkulutus kasvoi ja samalla myös maitotuotos.

Vastaajat arvioivat ilmanvaihtoa eläinten kannalta kesäkaudella 2010 kuvan 26 mukaisesti.

2. Painovoimaisten ilmanvaihtoratkaisujen nykytila



Kuva 26. Ilmanvaihto eläinten kannalta kesäkaudella 2010.

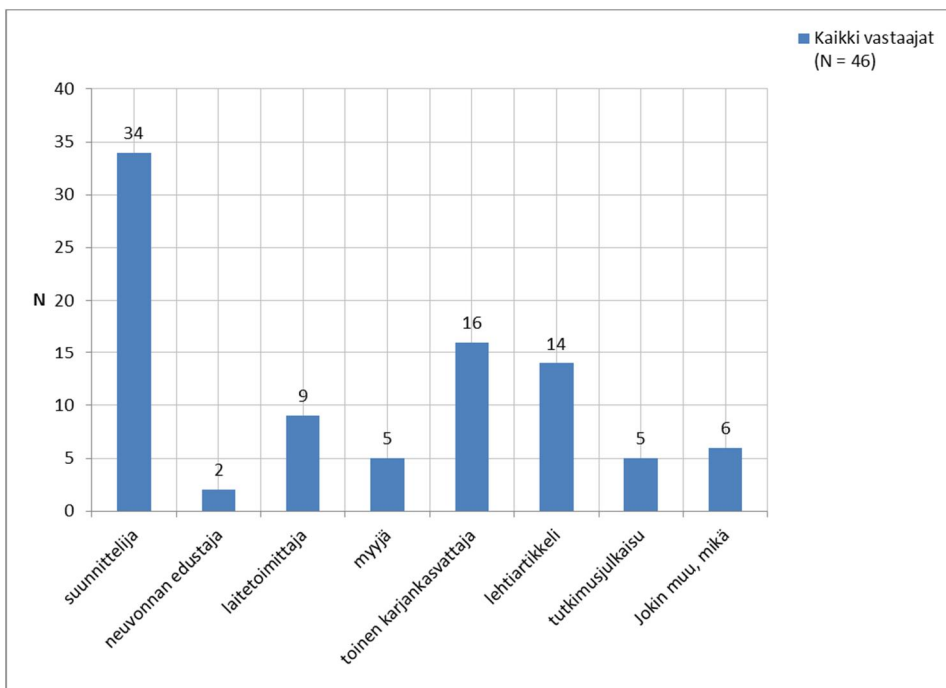
Kesäkauden kuumuuden vaikutusta eläimiin kysyttiin avoimella kysymyksellä: miten lehmät reagoivat kuumuuteen (käytös tms. ilmentymä)? Vastauksista ilmeni, että lehmät makailivat paikallaan, laiskistuivat, söivät vähemmän ja maitotuotos myös laski. Kesäkauden olosuhteiden parantaminen vaikuttaisi olevan tärkeää eläinten kannalta katsoen.

Eläinten kannalta arvioiden uusissa verhoseinärakennuksissa eläinterveys on lisääntynyt hieman tai selvästi verrattuna aikaisempaan lypsykarjarakennukseen 83 %:ssa vastaajajaloista (kuva 14). Sorkkaterveys on lisääntynyt hieman tai selvästi 35 %:ssa vastaajajaloista. Hengitystiesairauksien osalta vastaava luku oli 16 %. Suoraa ilmanvaihdon tai olosuhteiden vaikutusta eläinterveyteen ei kuitenkaan voida kyselyn perusteella varmentaa.

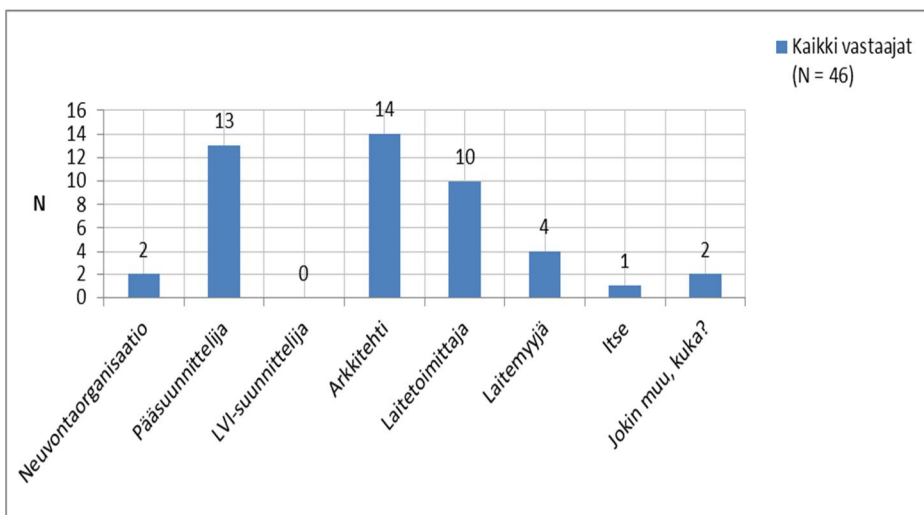
2.8 Verhoseinä- tai kennolevyseinäpihaton valintaperusteet

Kyselyssä selvitettiin, miksi tiloilla oli päädytty valitsemaan verhoseinä- tai kennolevyseinäpihatto. Kuvassa 27 on esitetty, kuka oli suositellut tilalle verhoseinäratkaisua. 74 %:ssa tapauksista verhoseinäpihattoa suositteli suunnittelija. Muut karjankasvattajat ja lehtiartikkelit toimivat myös merkittävinä suosittelijoina. Kuvassa 28 on esitetty, kuka oli suunnitellut tai mitoittanut ilmanvaihdon. Suunnittelija oli yleensä pääsuunnittelija, arkkitehti tai laitetoimittaja. Perinteinen LVI-suunnittelija ei ollut suunnitellut yhtään kyselyyn vastanneiden kohteista.

2. Painovoimaisten ilmanvaihtoratkaisujen nykytila



Kuva 27. Verhoseinäratkaisun suosittelijat vastaajatiiloilla.



Kuva 28. Ilmanvaihdon suunnittelija tai mitoittaja kohteessa.

Kyselyssä pyydettiin kuvaamaan, miksi valinnassa päädyttiin verhoseinäilmanvaihtoon. Perusteluita oli lukuisia, joista yleisimpiä olivat

- eläimille ja työntekijöille hyvät olosuhteet
- meluttomuus
- ilman laatu, ilman raikkaus, alhaiset lantakaasujen pitoisuudet
- sopiva tai matala sisälämpötila
- kesällä viileyttä
- valoisuus
- sähköenergian säästö
- varmatoimisuus
- kustannustehokkuus, edullisuus
- helppo, toimiva ja edullinen ratkaisu
- tilakäynneillä oli saatu muilta karjatalousyrittäjiltä tietoa hyvistä kokemuksista Suomessa ja ulkomailla.

2.9 Kyselyssä esiin tulleita verhoseinäilmanvaihdon kehitystarpeita

Muutos- ja kehitystarpeita selvitettiin kyselyssä kolmella kysymyksellä:

- Jos aloittaisitte pihaton suunnittelun alusta, minkä ilmanvaihtojärjestelmän valitsisitte?
- Minkä ilmanvaihtoteknisen osatekijän tai toiminnon vaihtaisitte toisenlaiseksi tekniseksi ratkaisuksi ja miksi?
- Mitä teknisiä kehittämistarpeita katsotte verhoseinäilmanvaihtoon liittyvän (säätö, materiaalit, tekniset liitosdetaljit jne.)?

Kehitys- ja muutostarpeina tuli esiin mm. seuraavia seikkoja:

Verhoseinä/kennolevyseinät

- Verhoseinien kokoa voisi joissakin kohteissa suurentaa (korkeampi verho) tai käyttää täysverhoseinää; visiiripöydät voisivat olla kesäaikana ulospäin avattavaa mallia, jolloin saataisiin enemmän ilmanvaihtopinta-alaa.
- Verho- ja kennolevyjen reuna-alueiden tiiveyden parantaminen.
- Tarvitaan parempia tiivistämateriaaleja.
- Vasikkalaan esitettiin kennolevyseinää, koska lämmöntuotto on pienempi kuin lypsykarjapuolella.

Poistohormit ja valoharja

- Valoharjan rakenteen kehitystarve; avattavan harjan kanssa on ongelmia lumituiskulla; lunta tulee sisälle, mikäli säädöt eivät ole kohdallaan.
- Valoharjan avautuminen ja säädettävyys varmistettava lumitilanteissa.

- Nykyisen pelkän avattavan harjan lisäksi muutama hormi talviaikaista tuuletusta varten. Harja saisi olla kiinni koko talven, ilmanvaihto hormien kautta. Hormien säätötarve on pienempi lumipyryjen ja tuulien aikana.

Säätö/säädettävyys ja käyttö

- Tarvitaan yksinkertaisia käyttö- ja säätöjärjestelmiä ja parempia säätömekanismeja.
- Verhojen säätölaitteiden parantaminen; nostomekanismit helppotoimisemmaksi ja nopeammaksi.
- Käyttömekanismit sellaisiksi, että toimivat myös verhojen tai kennolevyjen tai niiden mekanismien jäätyessä tai huutuessa.
- Valoharjan/poistoharjan ja poistohormin säädettävyyden parantaminen.
- Automaatiikan lisääminen poistohormien tai -harjan puolelle.
- Hormeja täytyisi olla enemmän kesäaikana.
- Sääaseman hyödyntäminen verhojen säädössä.
- Sääasemaan sateiden havainnointi yhdessä tuulen suunnan havainnoinnin kanssa.
- Kennolevyseinien säätömekanismin kehittyneemmäksi.
- Paljeseinän säädön parantaminen; paljeseinä laskee hitaasti, kun moottori sammuu ja ilma poistuu pussista.
- Paljeseinän toiminnan varmistaminen, jos tulee sähkökatko tai vikavirtasuojalaukea.
- Hormien luukkujen asennonosoitin (osoitinviisari tms.).
- Hätälaukaisu tulipalotilanteita varten.

Kesäolosuhteiden hallinta

- Helikopterituuletin tai puhaltimia sekoittamaan ilmaa tyynellä säällä

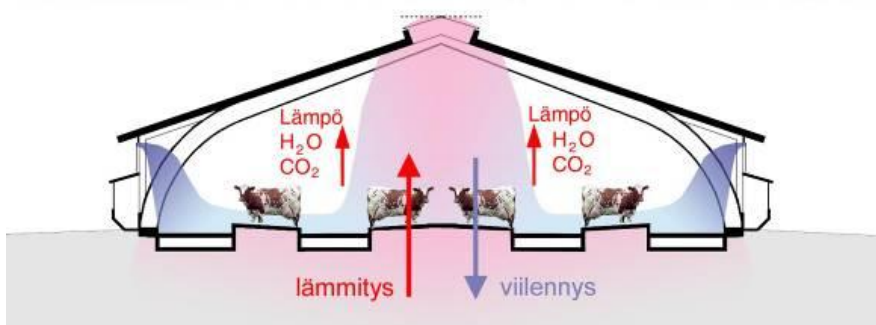
Rakentaminen, rakenteet ja materiaalit

- Asennusohjeet
- Rakennustekniset ratkaisut päätytaskujen tekoon
- Kestävät materiaalit, mm. säätövinssit ruostumattomasta materiaalista
- Huomioita, että isojen ovien kohdat ovat kylmiä ja niiden lähellä vaara jäätymiselle, esim. lantakone.

3. Painovoimaisen ilmanvaihdon periaate ja tekniikasovellukset pihatoissa

Painovoimaisen ilmanvaihdon käyttöenergia syntyy eläinlämmöstä. Eläinlämmön vaikutuksesta sisäilma on kevyempää kuin ulkoilma. Sisä- ja ulkoilman tiheyseron vuoksi syntyy hormivaikutus, jonka voimakkuus on riippuvainen tulo- ja poistoaukkojen korkeuserosta sekä sisä- ja ulkolämpötilojen erosta. Poistuva lämmin ilma korvautuu uudella kylmemmällä ilmalla ja systeemi toimii automaattisesti, kunhan eläinlämpöä on saatavilla. Kun painovoimaisuuteen lisätään tuulen vaikutus, syntyy luonnollinen ilmanvaihto, joka on ilman tiheyseroista sekä tuulenpaineesta rakennuksen eri pinnoille ja hormoneihin vaikuttavien voimien summa.

Kuvassa 29 on esitetty periaatteellinen kuva ilman virtauksista pihatossa.



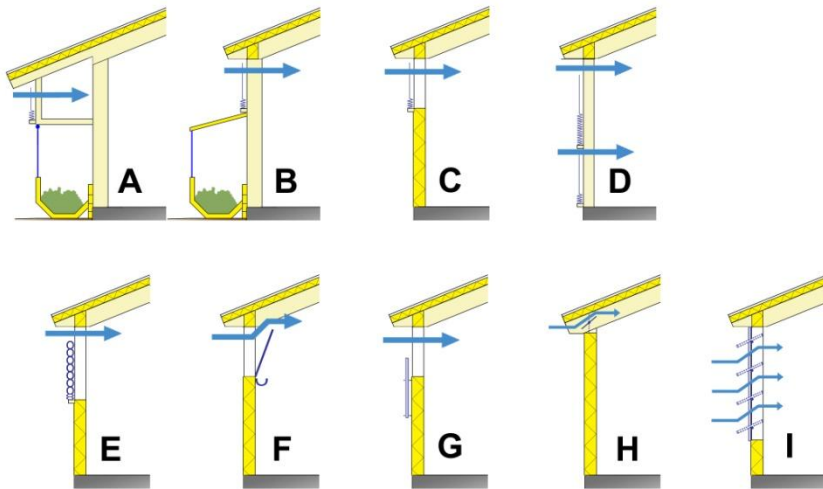
Kuva 29. Ilman virtaukset pihatossa (Kivinen et al. 2006).

Nautarakennuksen luonnollinen ilmanvaihto toimii eri vuodenaikoina vaihtelevalla tavalla. Kesällä ilman kulkua säätelevät verhot tai vastaavat rakenteet pidetään täysin auki, jotta ilma pääsee mahdollisimman vapaasti kulkemaan rakennuksen läpi. Tällöin vain osa poistuvasta ilmasta kulkee kattohormien kautta. Talvella verhorakenteet ovat joko kiinni tai lähes kiinni. Ilmanvaihdon säätö tapahtuu verhoa laskemalla tai nostamalla. Avauksen määrä riippuu lämpötilasta ja tuulesta,

mutta vaihtelee muutamasta cm:stä 20–30 cm:iin. Tällöin poistuva ilma pääsääntöisesti kulkeutuu kattohormien kautta ulos.

3.1 Ilman sisääntuloaukot

Raittiin ilman sisään johtamisen periaatteet verhoseinä- ja kennolevyseinäpihatoissa on esitetty kuvassa 30.



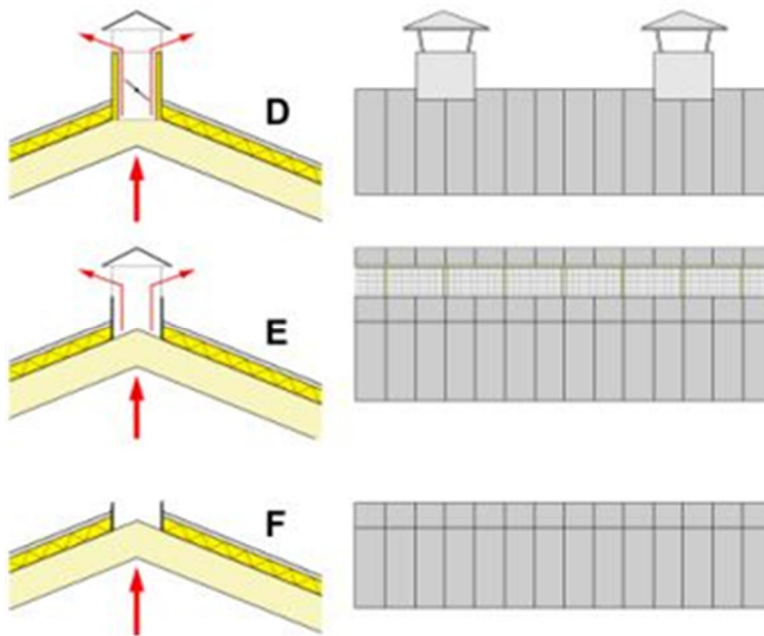
Kuva 30. Ilman sisään johtamisen ratkaisuja. A = Verhoseinä yläverholla rehupöydän yläpuolella, B = verhoseinä yläverholla ousvedetyn rehupöydän yläpuolella, C = verhoseinä pelkällä yläverholla, D = verhoseinä ylä- ja alaverholla, E = palje/ilmapaljeseinä, F = alasaranoitu kennolevy, jossa itkupintaominaisuuksia, G = kennolevyseinä, H = tuloilmaluukut kattopalkkien välissä. (Huom.! Kuvat ovat periaatekuvia, eivät mittakaavassa.)

Käytännön esimerkkejä ilman sisäänjohtamisen ratkaisuista on esitetty lukujen 4 ja 7 kuvissa.

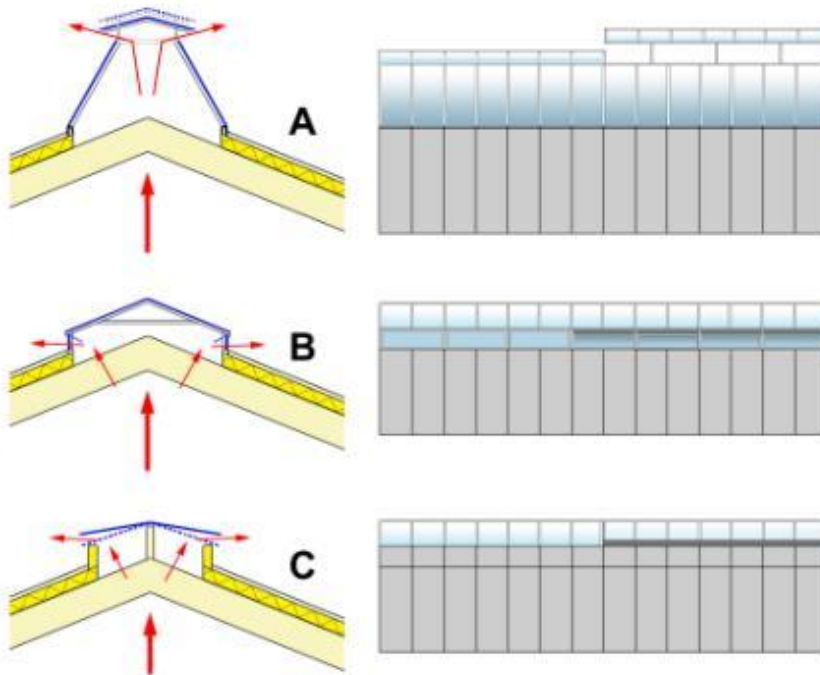
3.2 Ilman poistoaukot

Kuvissa 31 ja 32 on esitetty eri mahdollisuuksia järjestää ilman poisto hormoneilla tai kasvihuoneharjalla.

3. Painovoimaisen ilmanvaihdon periaate ja tekniikkasovellukset pihatoissa



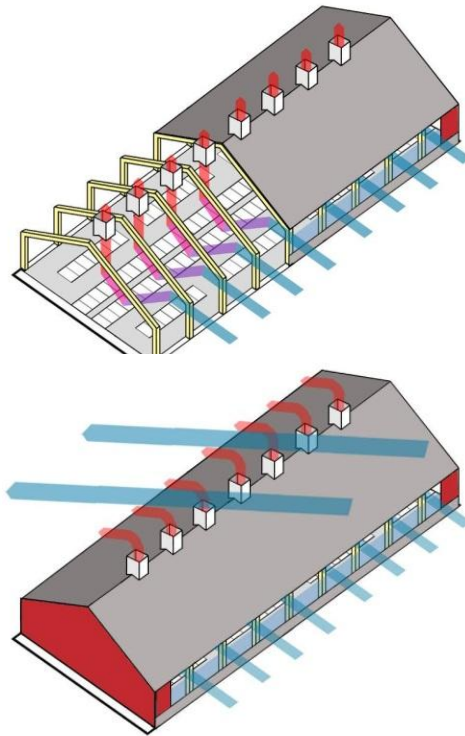
Kuva 31. Hormityyppisiä ilmanpoistoratkaisuja. D = katettu poistohormi ja säätöpelti, E = katettu avoharja ilman säätömahdollisuutta, lintuverkko, F = avoharja.



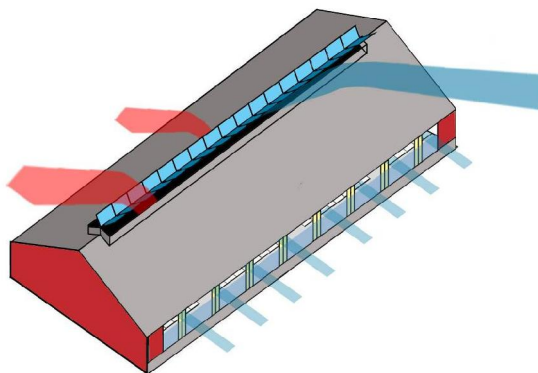
Kuva 32. Kasvihuonetyyppisiä ilman poistoratkaisuja. A = valokateharja passiivisilla luukuilla, B = valokateharja sivulta avautuvilla luukuilla, C = valokateharja ylhäältä saranoiduilla luukuilla.

Esimerkkejä ilman sisään- ja ulosvirtauksista molemmilla poistoilmaperiaatteilla on havainnollistettu kuvissa 33 ja 34.

3. Painovoimaisen ilmanvaihdon periaate ja tekniikkasovellukset pihatoissa



Kuva 33. Tulo- ja poistoilmavirtausten periaate tyynellä (yläkuva) ja tuulisella säällä (alakuva) hormipoistoa käytettäessä.

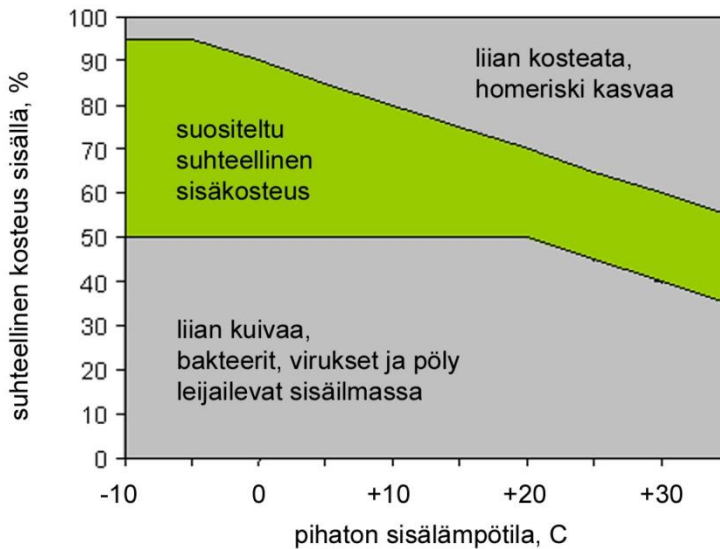


Kuva 34. Mahdollinen tulo- ja poistoilmavirtojen kulku tuulisella säällä kasvihuoneharjaa käytettäessä.

Käytännön esimerkkejä ilman ulosjohtamisen ratkaisuista on esitetty lukujen 4 ja 7 kuvissa.

3.3 Ilmanvaihdon tarve navetassa

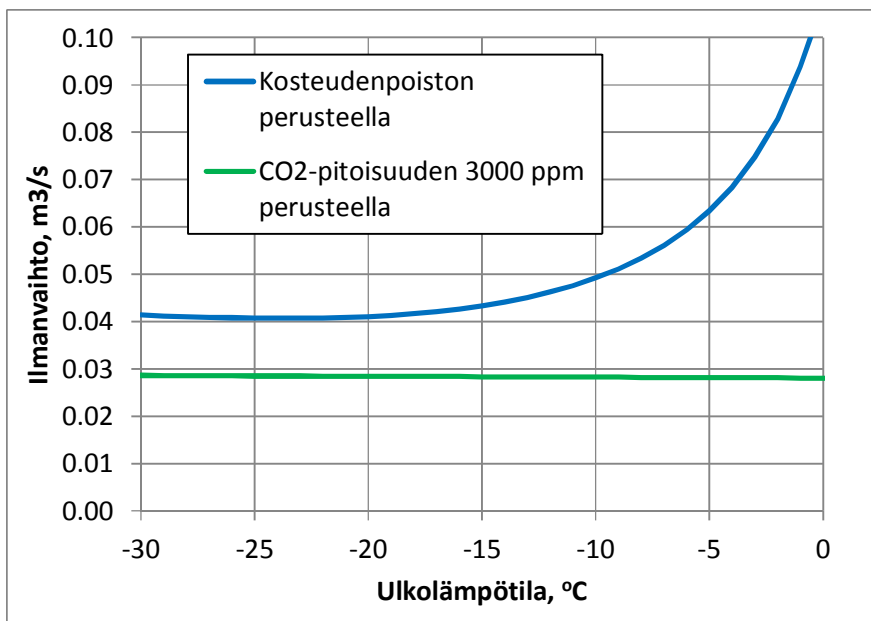
Ilmanvaihdon tarkoituksena on pitää navetan ilman laatu ja kosteus hyväksyttävällä tasolla sekä estää lämpötilan nousu liian korkeaksi. Ilman laadun kriteerinä on yleensä hiilidioksidipitoisuus 3000 ppm. Ilman kosteudelle ei ole vastaavaa raja-arvoa mutta kuva 35 esittää suositeltavan kosteusalueen.



Kuva 35. Eläinsuojan suositeltu suhteellinen kosteus eri sisälämpötiloissa (CIGR 1984).

Kuvassa on 36 esitetty yhden lehmän aiheuttama ilmanvaihtotarve sekä hiilidioksidipitoisuuden että kosteuden poiston perusteella lämmittämättömässä navetassa eri ulkolämpötiloilla. Kovalla pakkasella (noin 0 °C sisälämpötilassa) kosteuden poiston mukainen ilmanvaihtotarve on 40 litraa sekunnissa ja pitoisuuden perusteella noin 30 litraa sekunnissa. Tämän mukaan kosteuden poisto on ilmanvaihdon määräävä peruste lämmittämättömissä navetoissa. Kuitenkin tässä tutkimuksessa hiilidioksidipitoisuutta pidetään ensisijaisena ilmanvaihtoa mitoittavana tekijänä, koska kosteuden vaatiman ilmanvaihdon määritys sisältää valinnaisia oletuksia (ks. kuvan 36 kuvateksti). Lisäksi käyttäjäkokemusten perusteella ilman kosteus ei ole ollut merkittävä ongelma luonnollisen ilmanvaihdon navetoissa.

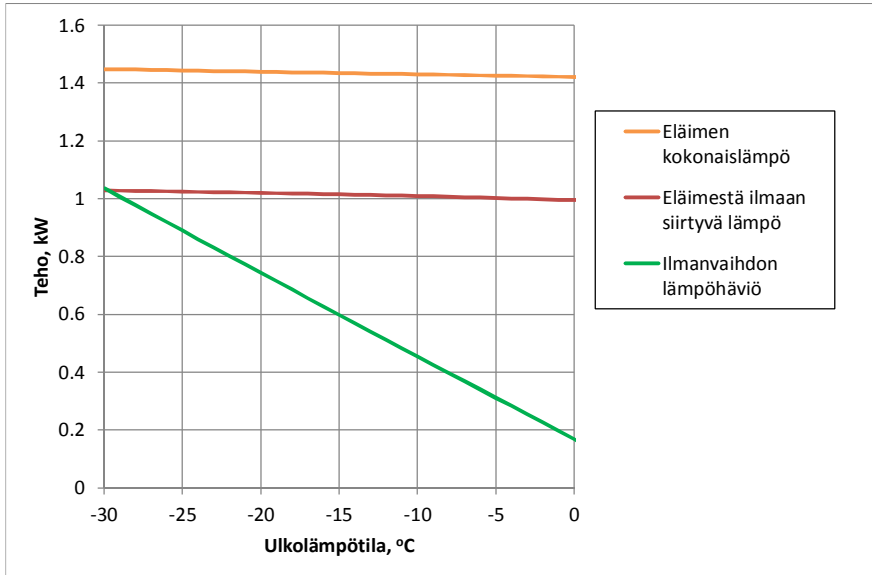
Vertailuarvona mainittakoon, että Suomen rakentamismääräyskokoelman (osa D2) mukaan normaaleissa oleskelutiloissa henkilöä kohti mitoitettava ilmanvaihto on vähintään kuusi litraa sekunnissa.



Kuva 36. Suurikokoisen lypsylehmän (650 kg, maidon tuotto 28 kg päivässä, lämmön tuotto 1340 W 20 asteessa) aiheuttama ilmanvaihdon tarve hiilidioksidipitoisuuden ja kosteuden perusteella. Sisälämpötilan on oletettu nousevan kuvan ulkolämpötilavälillä lineaarisesti nolasta viiteen asteeseen. Käytetty CIGR:n kaavoja (Pedersen & Sällvik 2002) kosteuden- ja hiilidioksidin tuotolle. Sisäilman kosteus on kuvan 35 suosituksen mukainen ja ulkoilman kosteus vastaa Jyväskylän keskikosteutta eri ulkolämpötiloilla.

3.4 Lämpötase navetassa

Nykyaikaisissa suurissa ja lämpöeristetyissä navetoissa ilmanvaihdon lämmöntarve on selvästi suurempi kuin rakenteiden läpi johtumalla menevä lämpövirta. Lämmitämättömässä navetassa eläimet ovat pääasiallinen lämmön lähde. Kuvassa 37 on esitetty yhden suurikokoisen ja paljon maitoa tuottavan lehmän ilmaan vapauttama lämpö ja ilmanvaihdon tarpeen aiheuttama lämmön tarve. Kuvasta näkyy, että lehmän tuottama ilmaan siirtyvä lämpö riittää kattamaan ilmanvaihdon lämmöntarpeen -30 asteen ulkolämpötilaan saakka. Sitä lämpimämmällä säällä eläimen lämpöä voidaan käyttää johtumislämpöhäviöiden kattamiseen sekä tarvetta suurempaan ilmanvaihtoon.



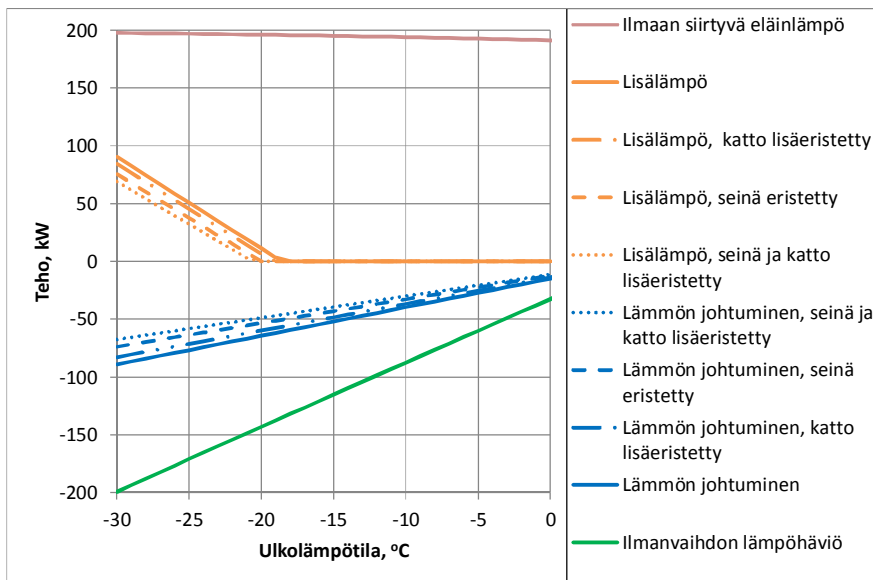
Kuva 37. Suurikokoisen lypsylehmän (650 kg, maidon tuotto 28 kg päivässä, lämmön tuotto 1340 W 20 asteessa) kokonaislämmöntuotto ja ilmaan vapautuva lämpö. Näiden erotus kuluu veden höyrystämisen vesihöyryksi. Kuvassa on myös hiilidioksidipitoisuuden perusteella mitoitettun ilmanvaihdon (kuva 36) lämpöhäviö. Käytetty CIGR:n kaavoja (Pedersen & Sällvik 2002) kosteuden- ja hiilidioksidin tuotolle.

Vastaavaa lämpötasetta koko navetan tasolla on tarkasteltu kuvassa 38. Esimerkinavetassa on 200 lypsylehmää ja nuorkarjaa on 80. Kuten yhden lehmän tapauksessakin (kuva 37), eläinten tuottama lämpö riittää kattamaan ilmanvaihdon tarpeen -30 asteen ulkolämpötilaan saakka. Koska myös rakenteiden läpi johtuu ulos lämpöä, tarvitaan kovalla pakkasella lisälämpöä. Lisälämmön määrä riippuu eristystasosta, ja siksi kuvaan on otettu suunnitellun navetan ulkovaipan lisäksi kolme paremmin eristettyä ulkovaippaa (näitä on tarkemmin selostettu myöhemmin luvussa 4.1.8).

Paremman lämmöneristyksen vaikutus lisälämmön määrään jää pieneksi, koska ilmanvaihdon osuus kokonaislämmön tarpeesta on hallitseva. Toinen tulkinta kuvasta 38 on, että kuvan eristystasoista paras nostaa sisälämpötilaa kovilla pakkasilla noin kolme astetta verrattuna toteutettuun eristystasoon.

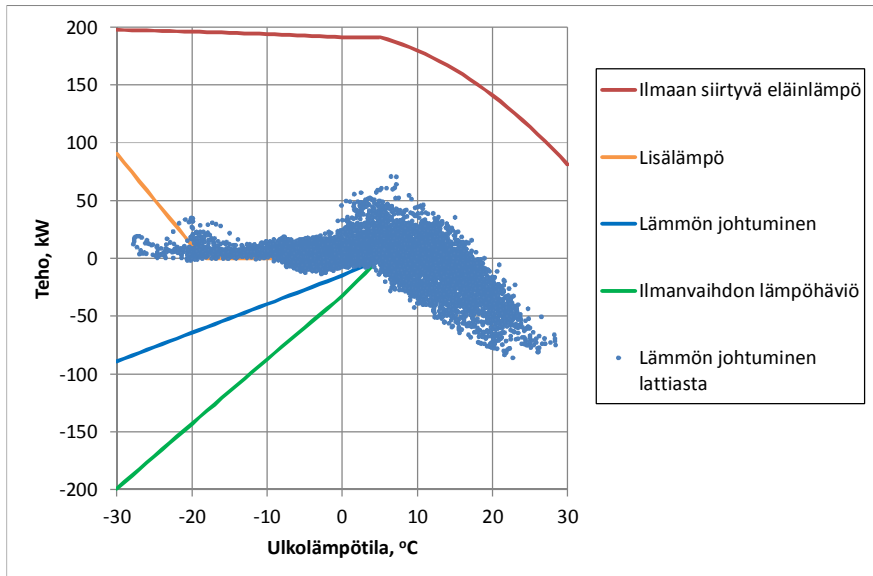
Lämmöneristystä voidaan parantaa myös käyttämällä tavanomaisen verhoseinän sijaan paremmin eristävää kennolevyä. Kuvan 38 paras eristystaso saavutetaan esimerkiksi myös käyttämällä muilta osin perustason lämpöeristystä mutta käyttäen verhoseinän sijaan kennolevyä, jonka lämmönläpäisykerroin on noin $1,6 \text{ W/m}^2\text{K}$.

3. Painovoimaisen ilmanvaihdon periaate ja tekniikkasovellukset pihatoissa



Kuva 38. Navetan (200 lypsylehmää, 80 nuorkarjaa, lämmön tuotto 258 kW 20 asteessa) eläimistä ilmaan vapautuva lämpö, ilmanvaihdon lämmön tarve, johtumisen lämmön tarve sekä lisälämmön tarve eri eristysvaihtoehdoilla. Osa lisälämmöstä voidaan kattaa navetan lattiasta saatavalla maaperän lämmöllä, jota ei ole mukana tässä kuvassa.

Eristämättömästä lattiasta navettaan vapautuva maaperän lämpö voi olla kylmällä säällä merkittävä navetan lämpötaseessa. Kuvassa 39 on esimerkinavetalle laskettu lattian lämpöteho vuoden jokaisena tuntina eri ulkolämpötiloilla. Parhaimmillaan lattian lämmitysvaikutus on noin 40 kW, joka vastaa tässä 2900 neliömetrin navetassa tehoa 14 W neliometriä kohti. Esimerkinavetassa oletettiin, että lattian pinta-alasta 50 % osallistuu lämmönsiirtoon ja loppu lattian alasta on lähes eristettyä. Käytännössä vapaa pinta-ala ja siten lämmitysvaikutus voi olla suurempikin. Kesällä lattia toimii kuvan mukaan vastaavasti kylmävarastona, josta saadaan enimmillään noin 30 W jäähdystehoa lattianeliötä kohti.

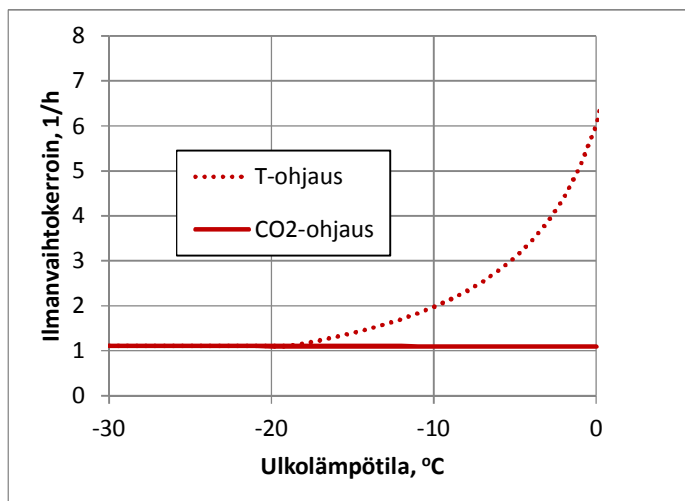


Kuva 39. Navetan (200 lypsylehmää, 80 nuorkarjaa, lämmön tuotto 258 kW 20 asteessa) eläimistä ilmaan vapautuva lämpö, ilmanvaihdon lämmön tarve, johtumisen lämmön tarve sekä lisälämmön tarve eri eristysvaihtoehdoilla. Osa lisälämmöstä voidaan kattaa lattiasta saatavalla maaperän lämmöllä, josta on esimerkki kuvassa. Pisteet vastaavat vuoden jokaista tuntia.

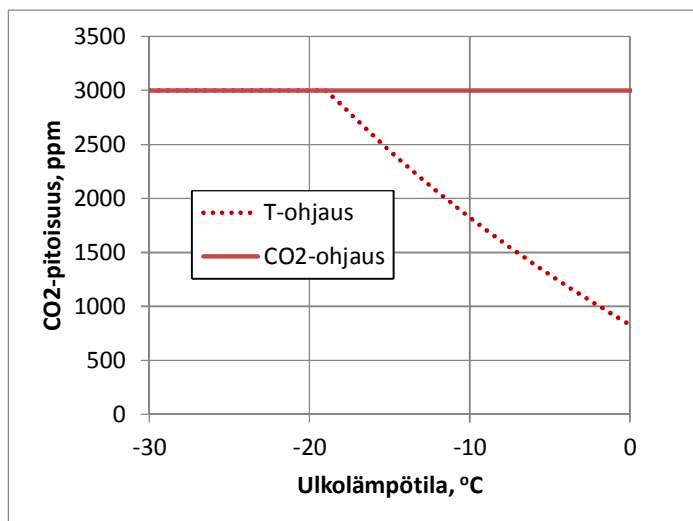
3.5 Ilmanvaihdon säätö kylmällä säällä

Kun ulkolämpötila on kymmeniä asteita pakkasen puolella, voi eläinten tuottama lämpö riittää vain niukasti sopivan sisälämpötilan ylläpitämiseen, kuten edellä olevista kuvista ilmenee (esim. kuva 39). Yli minimitarpeen menevään ilmanvaihtoon ei ole kovalla pakkasella varaa, koska ilmanvaihdon osuus lämpöhäviöistä on hallitseva. Ilmanvaihtoa voidaan lisätä vasta kun lämpötila nousee tietyn rajan yläpuolelle, kuvan 40 tapauksessa -19 asteen yläpuolelle. Tällöin ilman laatu paranee (kuva 41). Ilmanvaihdon lisäys on suotavaa myös kosteuden poiston kannalta (vertaa kuvia 36 ja 40).

3. Painovoimaisen ilmanvaihdon periaate ja tekniikkasovellukset pihatoissa



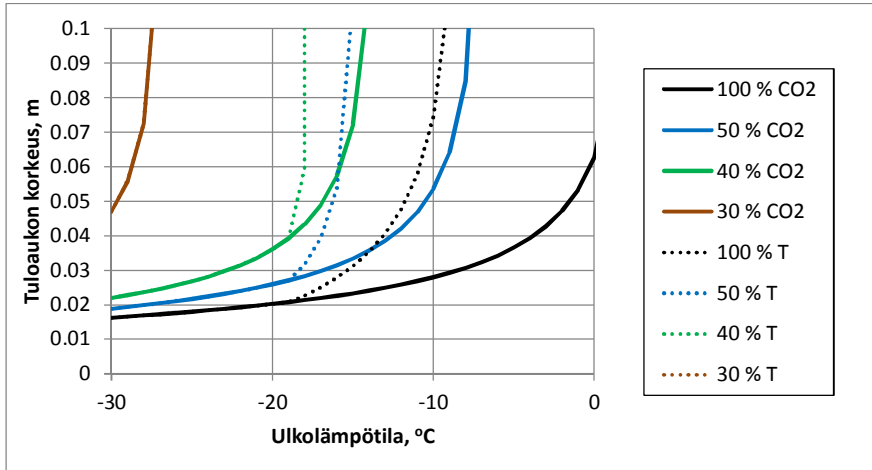
Kuva 40. Kuvan 38 navetan ilmanvaihto eri ulkolämpötiloilla, kun ilmanvaihtoa ohjataan sisälämpötilan perusteella (T-ohjaus) tai hiilidioksidipitoisuuden perusteella (CO₂-ohjaus).



Kuva 41. Kuvan 38 navetan hiilidioksidipitoisuus, kun ilmanvaihtoa ohjataan sisälämpötilan perusteella (T-ohjaus) tai hiilidioksidipitoisuuden perusteella (CO₂-ohjaus).

Kovalla pakkasella ilmanvaihdon pääasiallisena käyttövoimana on sisä- ja ulkoilman lämpötilaero. Siksi seuraavassa tarkastellaan tarvittavia tulo- ja poistoilmavaukkojen suuruuksia tyynellä pakkassäällä. Esimerkkinä on edelleen kuvan 39

navetta, jonka poistoilmahormin yläpää on 7 m korkeammalla kuin verhoseinän pienin avausaukko. Näiden aukkojen välille muodostuu 30 asteen lämpötilaerolla 11 Pascalin paine-ero, joka on käytettävissä verhoseinän aukon ja poistoilmahormin virtausvastuksiin. Kuvasta 42 näkyy, miten suuri tuloilma-aukon korkeus tarvitaan, kun poistoilmahormi on täysin auki tai osittain suljettuna.



Kuva 42. Kuvan 40 mukaiseen ilmanvaihtoon tarvittavat poistohormin ja tuloilma-aukkojen avaukset. Prosentit tarkoittavat poistoilmahormin avaukseen. CO₂ viittaa ilmanvaihdon säätöön hiilidioksidipitoisuuden perusteella ja T sisälämpötilan perusteella kuvan 40 mukaisesti. Tuloaukon avaus sisältää verhon aukon lisäksi muutkin seinärakenteessa olevat ilmavirtausaukot. Poistohormin 100 % ala on 0,33 % lattiapinta-alasta. Tuloaukossa samaa alaa vastaa aukon korkeus 0,078 m.

Kuvasta näkyy, että kovalla pakkasella poistohormin aukkoa on supistettava, jottei ilmanvaihto tule liian suureksi. Verho voi olla kovimmilla pakkasilla täysin suljettuna, koska seinärakenteessa olevat tahattomat aukot ja verhon ylä- ja alapuolella olevat raot ovat yleensä vähintään kahden senttimetrin suuruisia. Pienellä tuloaukon korkeudella on etuna pienempi ilmanvaihdon tuuliherkkyys. Silloin tuloaukon suuri painehäviö estää tarpeetonta läpituulemistä tuulen puoleiselta fasadilta tuulen alapuolelle. Tuloaukon korkeuden vaikutusta tuuliherkyyteen on arvioitu laskennallisesti luvussa 4.1.7.

4. Kohdemittaukset ja ilmanvaihdon parantamisen keinot

Tutkimuksessa tehtiin muutama tilakäynti erityyppisiin verhoseinäpihattoihin. Tilakäyntien perusteella valittiin neljä kohdetta mittauskohteiksi ja näistä edelleen kaksi kohdetta tarkempien laskennallisten tarkastelujen kohteeksi. Kohteet olivat 1) noin 200 lypsylehmän uudiskohde, jossa rakennus oli poistohormeilla varustettu verhoseinäarakennus, 2) verhoseinillä ja harjapoistolla varustettu 170 eläimen nuorkarjapihatto, 3) noin 40 lypsylehmän peruskorjattu pihatto, jossa kiinteät ikkunat on vaihdettu avattaviin kennolevyihin, mutta poistohormeja ei ole lisätty, ja 4) noin 150 eläimen peruskorjattu lypsy- ja nuorkarjarakennus verho- ja kennolevyseinillä ja poistohormeilla varustettuna.

Näistä kahdelle kohteelle (1 ja 3) tehtiin ilmanvaihdon ja olosuhteiden laskennallinen tarkastelu ja esitettiin keinoja parantaa ilmanvaihdon toimivuutta ja kustannustehokkuutta. Mittausten tavoitteena oli samalla varmentaa käytetyn laskentamallin toimivuus. Mittauksissa kerättiin tietoa sisä- ja ulko-olosuhteista ja kirjattiin ylös eläinmäärät ja mahdolliset poikkeukset normaaliin käyttöön.

Kuvassa 43 esitetään yleisesti mittauksissa kerättävää tietoa. Yksittäisen kohteen osalta mittaussuunnitelma laadittiin valiten näistä kohteessa oleelliset tekijät.

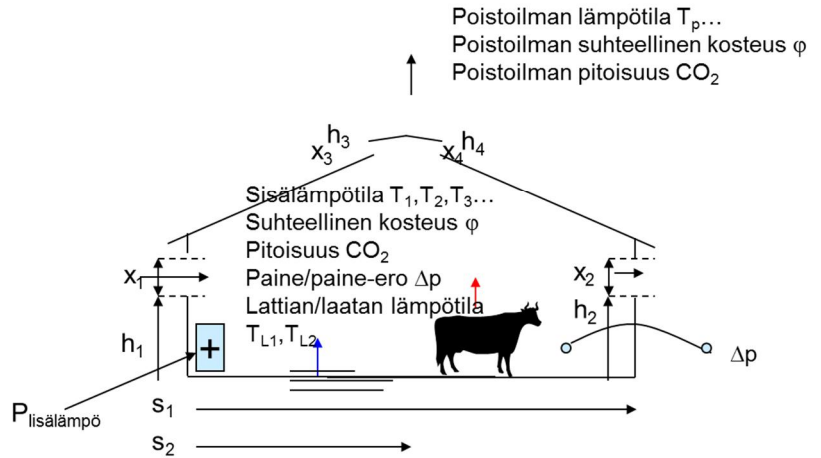
Tyypillisesti ilman lämpötila ja suhteellinen kosteus mitattiin TinyTalk-mittauslogereilla, joiden mittausepävarmuudet arvioidaan olevan $\pm 0,4$ °C (lämpötila) ja ± 5 % (ilman kosteus). CO₂-pitoisuutta mitattiin mittarilla Telaire, jonka maksiminäyttämä on 2000 ppm. Mittausepävarmuuden arvioidaan olevan ± 40 ppm + 2 % lukemasta. Lämpötila-, kosteus- ja CO₂-pitoisuus mitattiin yleensä pihaton keskiosasta noin 2,5 m:n korkeudelta lattiasta ja hiukkaspitoisuus mitattiin pihaton keskeltä noin 0,5 m:n korkeudelta. Pölypitoisuutta mitattiin hiukkasmittarilla TSI DustTrak DRX. Mittausepävarmuuden arvioidaan olevan ± 10 % lukemasta.

4. Kohdemittaukset ja ilmanvaihdon parantamisen keinot



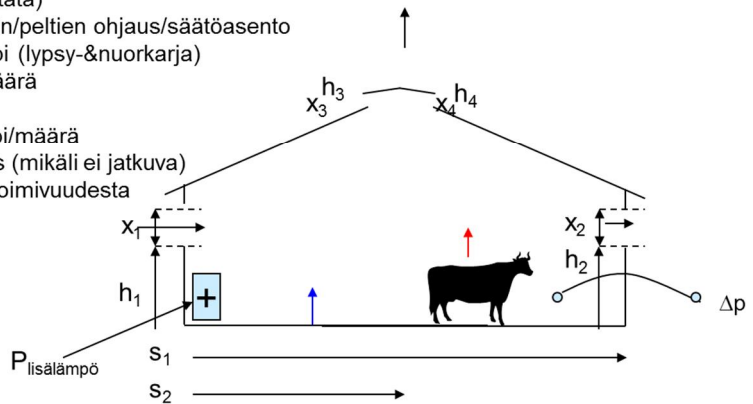
Säätieto

- tuulen nopeus (optio)
- tuulen suunta (optio)
- ulkolämpötila
- ulkoilman kosteus
- auringon säteily (optio)



Käyttötapa (mikäli ei mitata)

- Verhon/aukkojen/hormin/peltien ohjaus/säätöasento
- Eläinten määrä ja tyyppi (lypsy-&nuorkarja)
- Rehun/juomaveden määrä
- Maidon määrä
- Kuivikkeen käyttö/tyyppi/määrä
- Lannanpoiston toteutus (mikäli ei jatkuva)
- Visuaaliset havainnot toimivuudesta
- Poikkeustilanteet



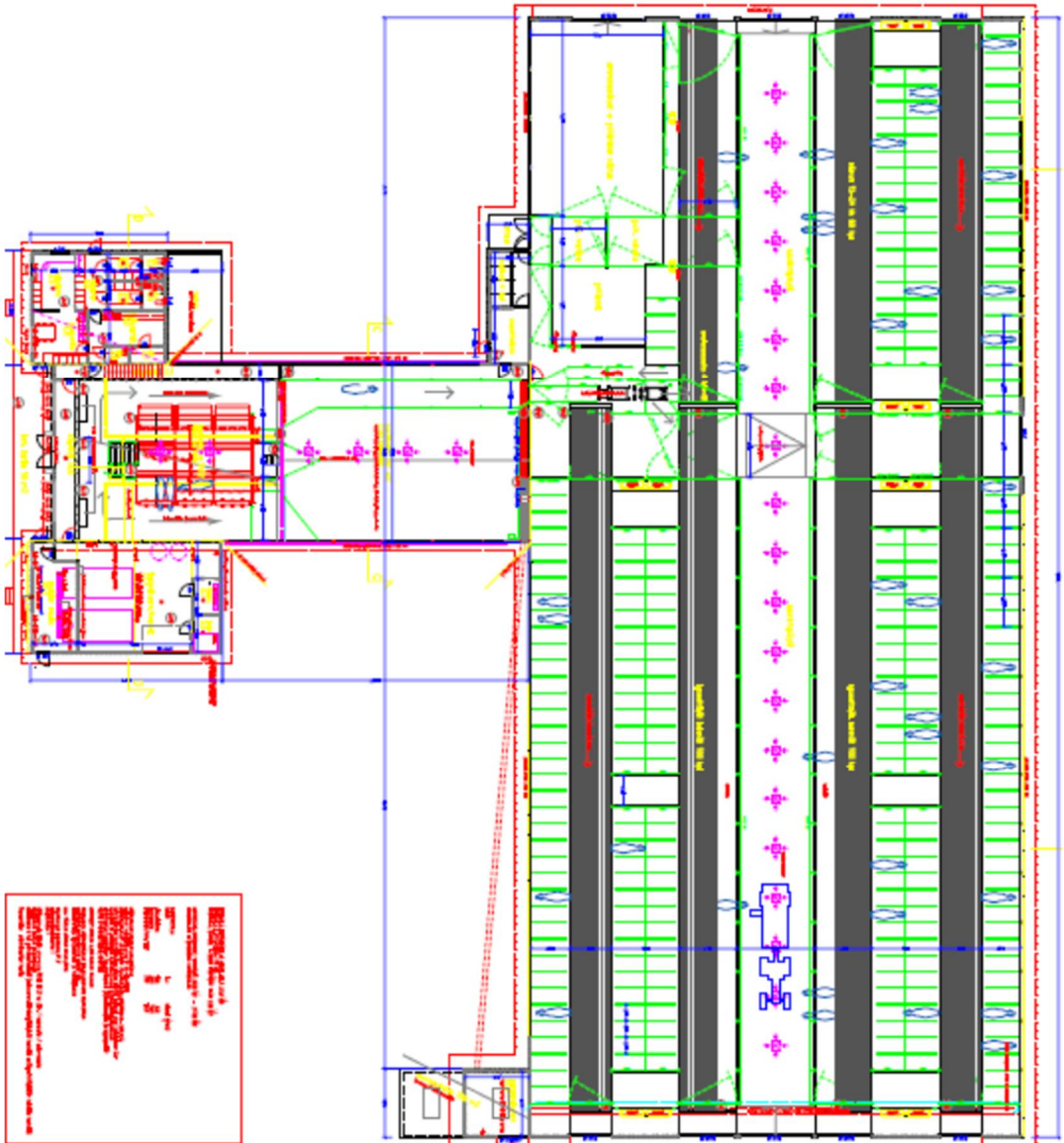
Kuva 43. Mittauksissa kerättävää tietoa.

4.1 Olosuhdemittaukset ja laskelmat – verhoseinät ja poistohormit 200 lehmän uudisrakennuksessa

Lammilla sijaitseva lypsykarjapihattonavetta (kuvat 44 ja 45) on otettu käyttöön huhtikuussa 2010. Eläinmäärä on yhteensä noin 260 kpl. Maidon tuotto on noin 5000 ltr/vrk eli noin 2 milj.ltr/a.



Kuva 44. Verhoseinäpihatto.



Kuva 45. Pihaton pohjapiirustus.

Ilmanvaihtojärjestelmänä on painovoimainen verhoseinälmanvaihto, kuvat 46 ja 47. Tuloilma johdetaan pihattoon sivuseinillä olevien verhoseinien tuloilma-aukkoa säätämällä. Yläverhot toimivat automaattisäätöisesti ulkolämpötilan mukaan. Ohjauksessa käytetään sade- ja tuulikompensointia mm. siten, että tuulen nopeuden ylittäessä asetusarvon verhoa suljetaan tuulen puolelta. Kun ulkolämpötila on alle

4. Kohdemittaukset ja ilmanvaihdon parantamisen keinot

0 °C, verhon avaus on noin 5 cm, ja kun lämpötila on korkeampi kuin 10 °C, verho on täysin auki. Lisäksi räystäään alla on noin 6 cm ilmarako jatkuvasti auki. Ilmanvaihtoa säädetään BO-AIR-säätölaitteilla ja automatiikalla (kuva 48).

Poistoilmaluukut (19 kpl) säätöpelteineen sijaitsevat rakennuksen katon harjalla (kuva 49) ja ne toimivat manuaaliohjauksella (naruohjaus). Järjestelmässä ei ole lämmöntalteenottoa. Varsinaisissa eläintiloissa ei ole lämmitystä. Lattialämmitys on eläinlääkärin toimistossa, vasikoiden kuivaustilassa, lypsyasemalla ja sosiaaliloissa.



Kuva 46. Verhoseinä talvella. Yläverhon tuloilma-aukko on auki noin 25 cm.



Kuva 47. Verhoseinä kesällä.



Kuva 48. Ilmanvaihtoa säädetään BO-AIR-säätölaitteilla.



Kuva 49. Poistoilmaluukku katossa.

4.1.1 Mittausten suoritus

Sisäilmastomittaukset käsivät talvella lämpötilojen, ilman suhteellisen kosteuden, CO₂-pitoisuuden ja pölypitoisuuden mittauksen. Mittaukset tehtiin jatkuvatoimisilla seurantamittareilla noin kuukauden ajan 10.1.2011–7.2.2011. Pölypitoisuus mitattiin lyhyenä kertamittauksena lähinnä taustapitoisuuksien selvittämiseksi. Kesällä mittaukset uusittiin lukuun ottamatta pölymittausta. Mittaus suoritettiin 15.6.–30.8.2011. Kuvissa 50 ja 51 on esitetty lämpötila-, kosteus-, hiilidioksidi- ja pölypitoisuusmittauksen paikat.



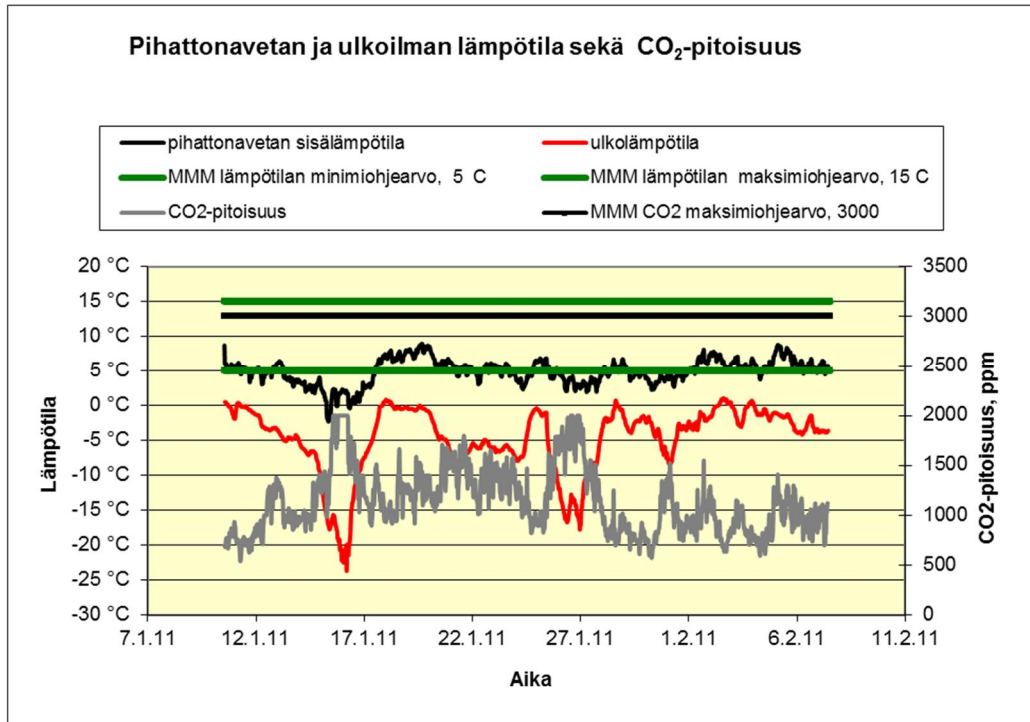
Kuva 50. Mittausanturit lämpötilalle, kosteudelle ja hiilidioksidille.



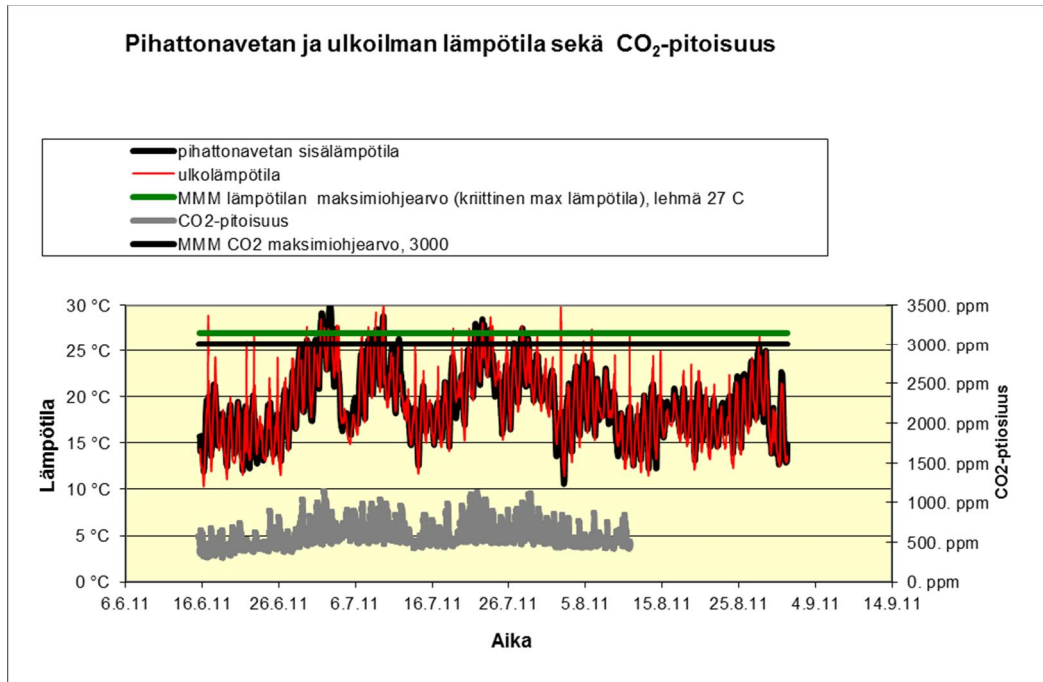
Kuva 51. Hiukkaspitoisuuden mittauslaite.

4.1.2 Mittaustulokset

Kuvissa 52 ja 53 on mitatut sisätilan ja ulkoilman lämpötilat sekä CO₂-pitoisuus talvella ja kesällä. Kuviin on myös merkitty MMM-RMO C2.2:n (MMM 2009) CO₂-pitoisuuden maksimiohjearvo sekä lämpötilan minimin ja maksimin ohjearvot.



Kuva 52. Ilman lämpötilat ja CO₂-pitoisuus talvella.



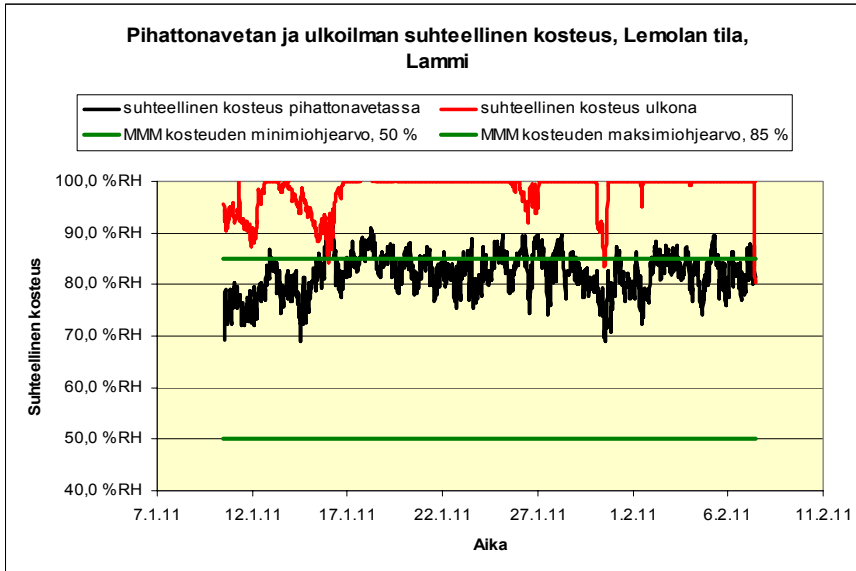
Kuvan 52 mukaan pihatton ilman lämpötila oli talven mittausjaksolla optimialueen sisällä noin puolet mittausajasta. Sisälämpötila meni pakkasen puolelle vähäksi aikaa kovimpien pakkasten aikana. Samanaikaisesti myös CO₂-pitoisuus nousi hetkellisesti yli mittarin maksimilukeman 2000 ppm, joten maksimipitoisuutta ei saatu selville. CO₂-pitoisuuden nousupiikit (16.1. ja 26.1.) kovimpien pakkasten aikana johtuvat siitä, että verhoseinät ovat säätyneet oikein minimiasentoon, jolloin ilmanvaihto on pienentynyt ja CO₂-pitoisuus on noussut hetkellisesti mutta on kuitenkin alhainen. Ohjearvoa 3000 ppm ei todennäköisesti ylitetty. Pitoisuuden keskiarvo oli 1139 ppm.

Kuvan 53 mukaan pihatton ilman lämpötila oli kesän mittausjaksolla pääosin kriittisen maksimilämpötilan alapuolella. Pihatton sisä- ja ulkolämpötilat korreloivat selvästi toisiaan, eikä eläimistä syntynyt lämpö juuri nostanut pihatton lämpötilaa. Tämä kertoo pihatton hyvästä ilman vaihtuvuudesta. Eläimet olivat navetassa mittausjakson aikana.

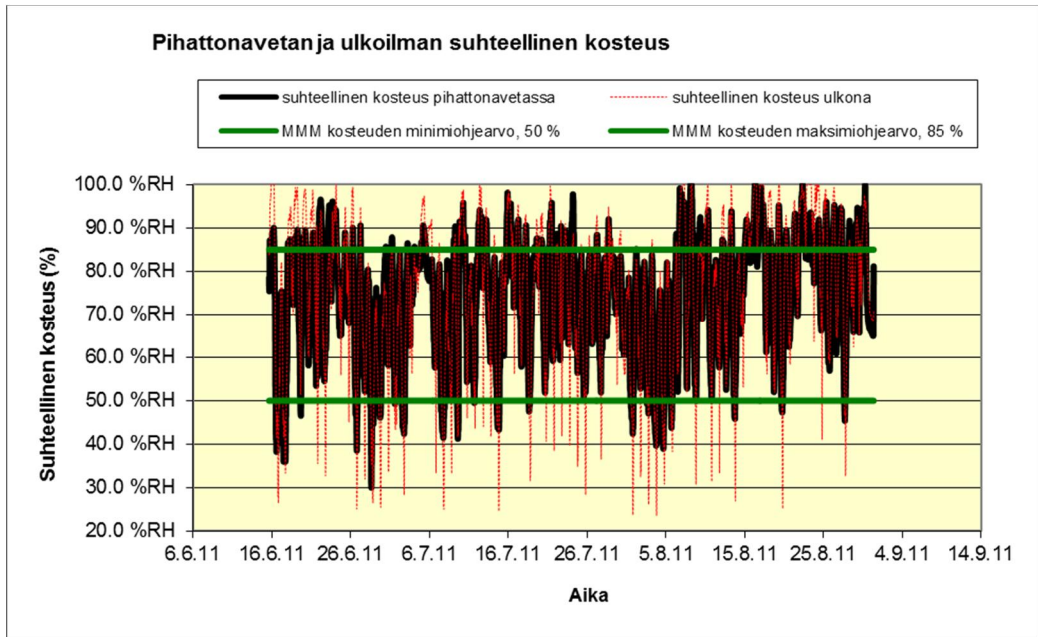
CO₂-pitoisuus oli erittäin alhainen, sillä keskiarvo 564 ppm alittaa reilusti ohjearvon 3000 ppm. Alhaisesta CO₂-pitoisuudesta kertoo lisäksi se, että mitattu pitoisuus olisi alittanut selvästi myös asuinrakennusten parhaan S1-luokan raja-arvon 750 ppm.

4. Kohdemittaukset ja ilmanvaihdon parantamisen keinot

Kuvissa 54 ja 55 on sisä- ja ulkoilman suhteelliset kosteudet talvella ja kesällä. Kuviin on merkitty myös MMM-RMO C2.2:n (MMM 2009) suhteellisen kosteuden ohjearvot.



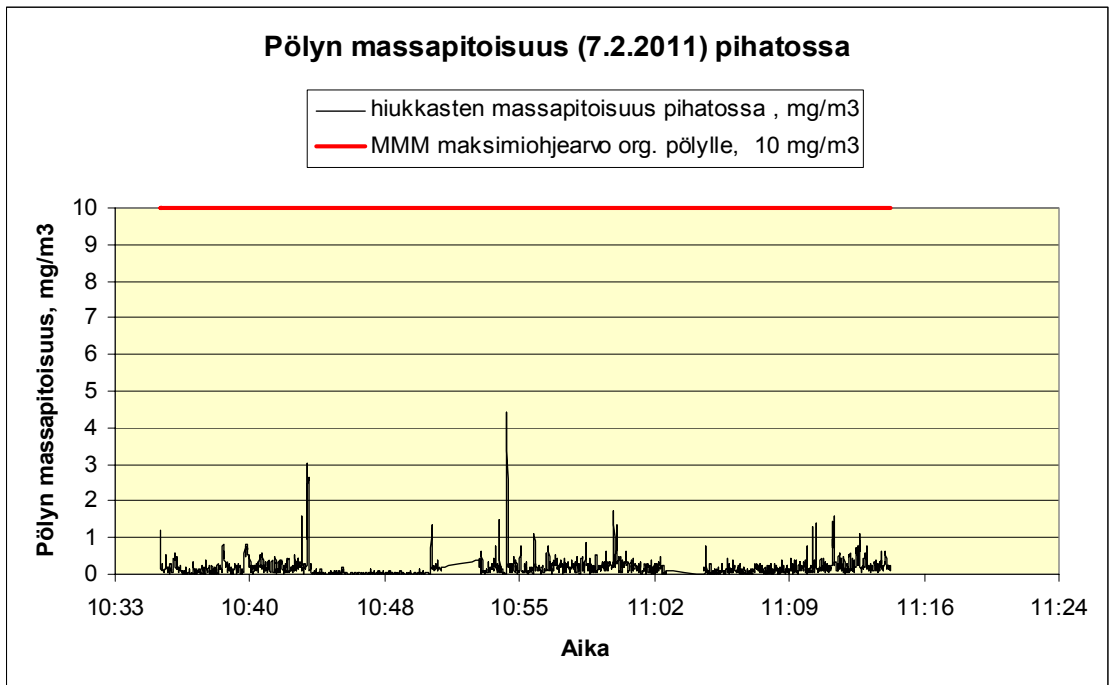
Kuva 54. Ilman suhteellinen kosteus talvella.



Kuvan 54 mukaan talvella sisäilman suhteellinen kosteus ylitti seurantajakson aikana useina päivinä osan ajasta maksimiohjearvon 85 %. Talvella absoluuttinen kosteus on kuitenkin niin pieni, ettei siitä ole haittaa toiminnolle.

Kuvan 55 mukaan kesällä sisäilman suhteellinen kosteus ylitti seurantajakson aikana useina päivinä maksimiohjearvon 85 % ja alitti muutamina päivinä minimiohjearvon 50 %. Pihatton sisäkosteus seuraa ulkoilman kosteutta.

Pölypitoisuuden mittaustuloksessa (kuva 56) ovat mukana kaikki ilmassa leijuvat hiukkaset (orgaaninen ja epäorgaaninen pöly). Mittausaika oli erittäin lyhyt, mutta kuvasta 56 havaitaan, että hiukkaspitoisuus on erittäin pieni verrattuna ohjearvoon.



Kuva 56. Hiukkaspitoisuus.

4.1.3 Tulosten tarkastelu

Lämpötila

Pihaton ilman lämpötila oli talven mittausjaksolla optimialueen sisällä noin puolet mittausajasta. Sisälämpötila meni pakkasen puolelle kerran mittausseurannan aikana kovimpien pakkasten aikana.

Kesällä pihaton ilman lämpötila oli mittausjaksolla pääosin kriittisen maksimilämpötilan alapuolella. Pihaton sisä- ja ulkolämpötilat korreloivat selvästi toisiaan, eikä eläimistä syntynyt lämpö juuri nostanut pihaton lämpötilaa. Tämä kertoo pihatton hyvästä ilmanvaihtuvuudesta

Suhteellinen kosteus

Sisäilman suhteellinen kosteus ylitti talven seurantajakson aikana useina päivinä maksimiohjearvon 85 %. Talvella absoluuttinen kosteus on kuitenkin niin pieni, ettei siitä ole haittaa toiminnoille.

Kesällä sisäilman suhteellinen kosteus ylitti seurantajakson aikana useina päivinä maksimiohjearvon 85 % ja alitti muutamina päivinä minimiohjearvon 50 %. Pihaton suhteelliset sisä- ja ulkokosteudet korreloivat selvästi toisiaan.

CO₂-pitoisuus

Ohjearvoa 3000 ppm ei ylitetty. CO₂-pitoisuuden nousupiikit talven (16.1. ja 26.1.) kovimpien pakkasten aikana johtuvat siitä, että verhoseinät ovat säätyneet minimiasentoon, jolloin ilmanvaihto on pienentynyt ja CO₂-pitoisuus on noussut. Tämä kertoo automatiikan toimivuudesta. Säättö perustuu lämpötilan säätöön. Verhoseinien ohjaus menee minimiin, jotta sisälämpötila ei menisi liian kylmäksi.

CO₂-pitoisuus oli kesällä erittäin alhainen, sillä mittausten keskiarvo oli 564 ppm ja alitti reilusti ohjearvon 3000 ppm. Alhaisesta CO₂-pitoisuudesta kertoo myös se, että mitattu CO₂-pitoisuus olisi alittanut selvästi myös asuinrakennusten parhaan S1-luokan raja-arvon (750 ppm).

Hiukkaspitoisuus

Hiukkaspitoisuus pihatossa oli talvella erittäin pieni verrattuna ohjearvoon. Kesällä mittausta ei suoritettu.

4.1.4 Talvimittausjakson laskennallinen tarkastelu

Edellä olevia mittaustuloksia käytettiin aikaisemmassa verhoseinäprojektissa (Kivinen et al. 2006) kehitetyn laskentamallin varmentamiseen ja edelleen kehittämiseen. Siksi mittausjakson lämpötilat, pitoisuudet ja kosteudet laskettiin kyseisellä mallilla.

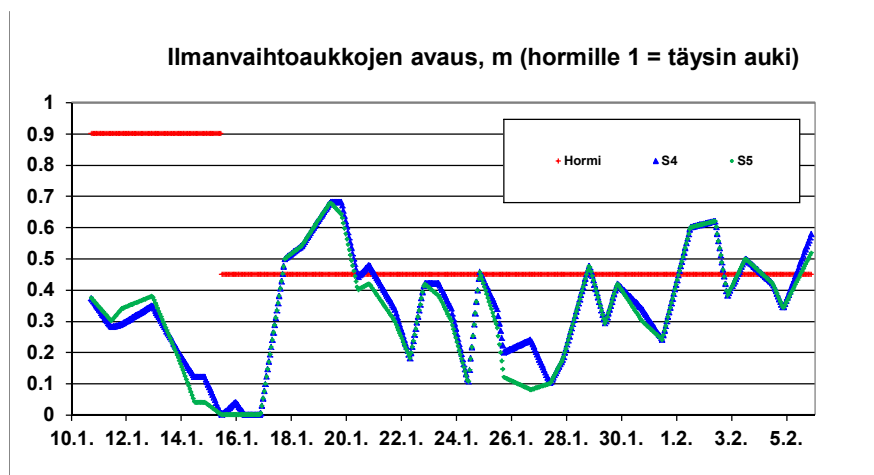
Lähtötietoina annettiin navetan mitat (kuva 45), eläinmäärä (200 lehmää, 80 nuorkarjaa, lämmöntuotto 20 asteessa 258 kW), verhoseinän mitat (korkeus 2,45 m), poistohormien määrä (15 kpl 0,8 m x 0,8 m) sekä eri rakenteiden johtumislämpöhäviöt (taulukko 1). Ulkolämpötilana käytettiin navetan seinustalta mitattua ulkolämpötilaa (kuva 52). Tuulen nopeus ja suunta otettiin Ilmatieteen laitoksen sääasemalta 19 kilometrin päästä. Maasto oletettiin tuulen kannalta maaseutu-maiseksi, lähes avoimeksi.

Taulukko 1. Ulkovaipparakenteiden alat ja lämmönläpäisykertoimet (U-arvot).

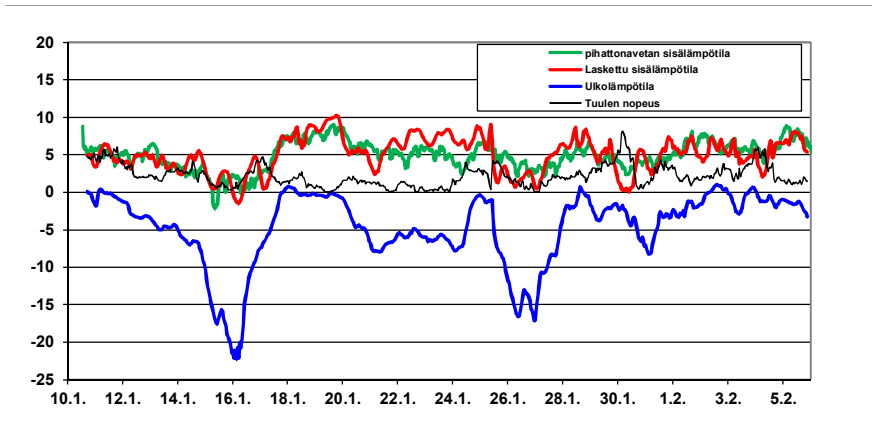
	Ala, m ²	U, W/m ² K	UA, W/K	%
Ovet	146	1,50	218	7
Ikkunat	131	2,50	328	11
Verhoseinä	302	4,00	1208	41
Eristämätön seinä	134	4,00	537	18
Eristetty seinä	243	0,21	51	2
Katto	2972	0,21	624	21
Yhteensä			2967	100

Lisäksi käytettiin isännän 1–2 kertaa päivässä kirjaamia verhojen sekä poistohormien säätöasentoja. Verhoissa on automaattisäätö, joten verhojen asento muuttuu jatkuvasti. Siksi laskenta tehtiin sekä isännän antamilla verhojen avauksilla (kuva 57) että laskentaohjelman ehdottamilla avauksilla. Laskentaohjelmassa verhoja säädetään siten, että sisälämpötila pysyy mahdollisuuksien mukaan välillä 3–7 astetta.

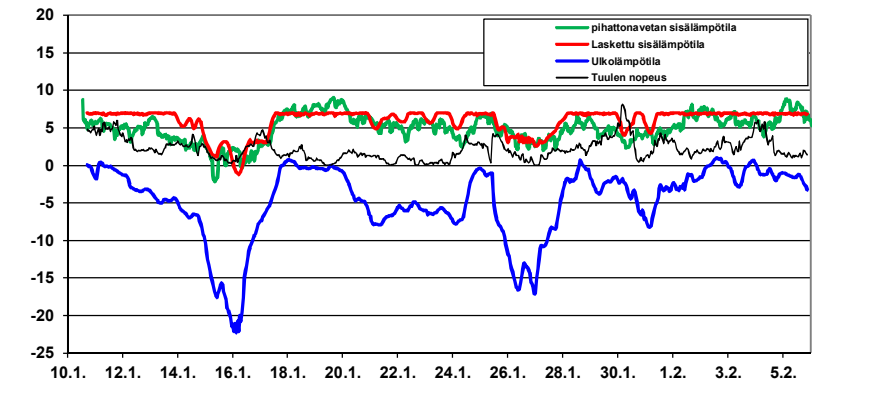
Kuvista 58 ja 59 näkyy, että laskettu sisälämpötila vastaa varsin hyvin mitattua sisälämpötilaa sekä isännän ilmoittamilla verhon avauksilla että laskentaohjelman avauksilla. Ensimmäisinä päivinä saadaan parempi yhtäpitävyys laskennan ja mittausten välillä isännän ilmoittamilla avauksilla.



Kuva 57. Isännän kirjaamat verhojen (s4 ja s5) ja poistohormien säätöasennot mittaajaksolla.



Kuva 58. Mitatut ja lasketut ilman lämpötilat. Laskennassa on käytetty isännän kirjaamia verhojen ja poistohormien säätöasentoja.

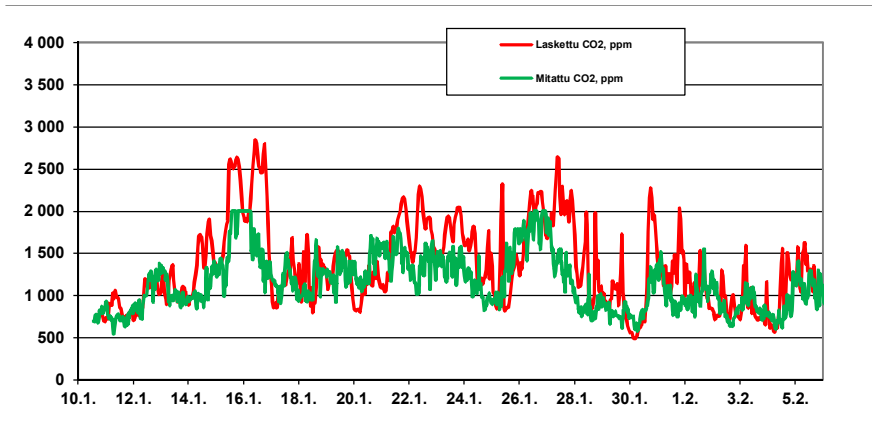


Kuva 59. Mitatut ja lasketut ilman lämpötilat. Laskennassa on käytetty isännän kirjaamia poistohormien säätöasentoja mutta verhoja on säädetty laskentaohjelmaan rakennetulla verhojen säätömallilla.

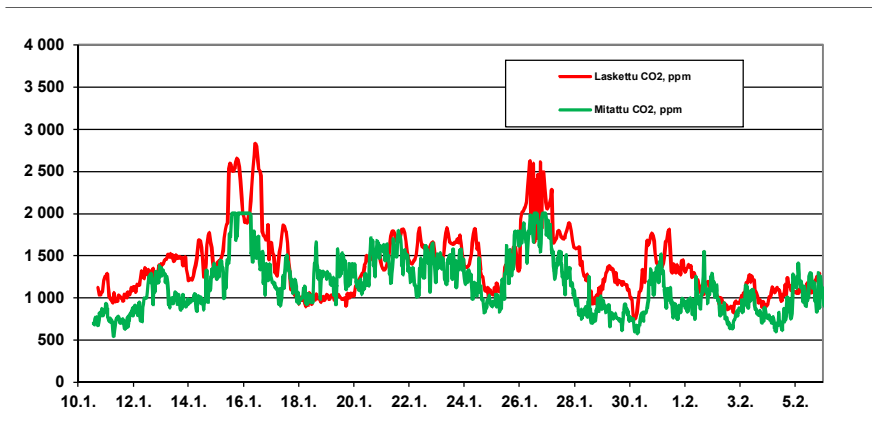
Myös laskettu hiilidioksidipitoisuus on lähempänä mitattua ensimmäisinä päivinä käyttäen isännän ilmoittamia verhon avauksia (kuvat 60 ja 61), mutta sen jälkeen laskentaohjelman automaattisäätö antaa parempia tuloksia. Tulosten yhtäpitävyys on kuitenkin vähintään tyydyttävä, kun otetaan huomioon, että mittaustuloksista ovat leikkautuneet mittarin mittausalueen ylityksen takia yli 2000 ppm pitoisuudet. Myös lasketut ilman kosteudet (kuvat 62 ja 63) ovat lähempänä oikeata, kun käytetään laskentaohjelman sisältämää verhojen automaattisäätöä. Tämä selittyy sillä, että kaksi kertaa päivässä kirjatut säätöasennot eivät kuvaa riittävän hyvin

4. Kohdemittaukset ja ilmanvaihdon parantamisen keinot

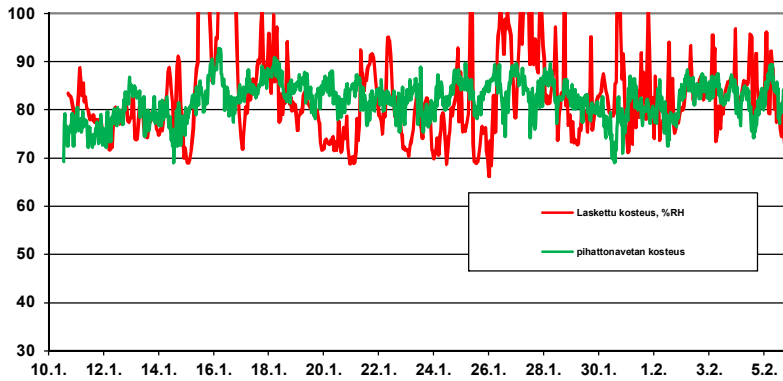
todellista verhojen automaattisäätöä, joka muuttaa avausta heti kun esimerkiksi tuuli laskee navetan lämpötilaa.



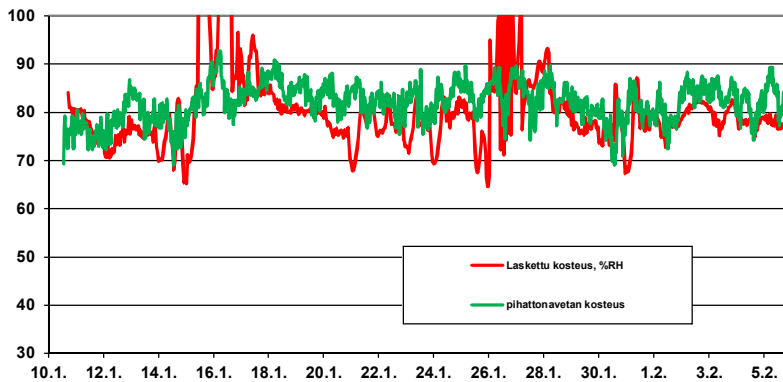
Kuva 60. Mitatut ja lasketut ilman hiilidioksidipitoisuudet. Laskennassa on käytetty isännän kirjaamia verhojen ja poistohormien säätöasentoja.



Kuva 61. Mitatut ja lasketut ilman hiilidioksidipitoisuudet. Laskennassa on käytetty isännän kirjaamia poistohormien säätöasentoja mutta verhojen säädössä on käytetty laskentaohjelmaa.



Kuva 62. Mitatut ja lasketut ilman kosteudet. Laskennassa on käytetty isännän kirjaamia verhojen ja poistohormien säätöasentoja.



Kuva 63. Mitatut ja lasketut ilman kosteudet. Laskennassa on käytetty isännän kirjaamia poistohormien säätöasentoja mutta verhojen säädössä on käytetty las-kentaohjelmaa.

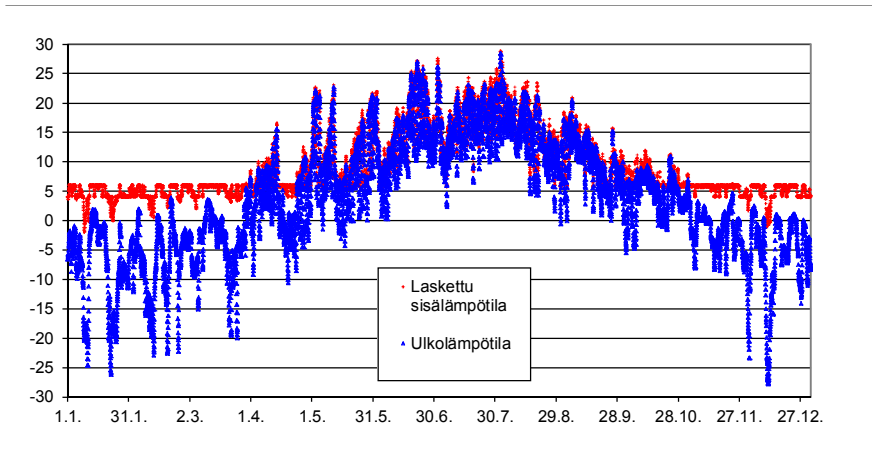
4.1.5 Olosuhteiden laskenta koko vuoden ajalla

Edellä testattua laskentamallia käyttämällä voidaan simuloida tunti tunnilta lämpötilaa, pitoisuutta ja kosteutta koko vuoden jaksolla. Esitettävissä laskentatuloksissa on käytetty uutta Jyväskylän mallisäätiedostoa, jota käytetään asuin- ja toimistorakennusten energiankulutuslaskennassa vuodesta 2012 alkaen.

Kuvassa 64 on koko vuoden ulkolämpötila ja sisälämpötila tunneittain. Verhojen ja hormien säätö pyrkii pitämään sisälämpötilaa välillä 4–5 astetta, mikä toteutuu-

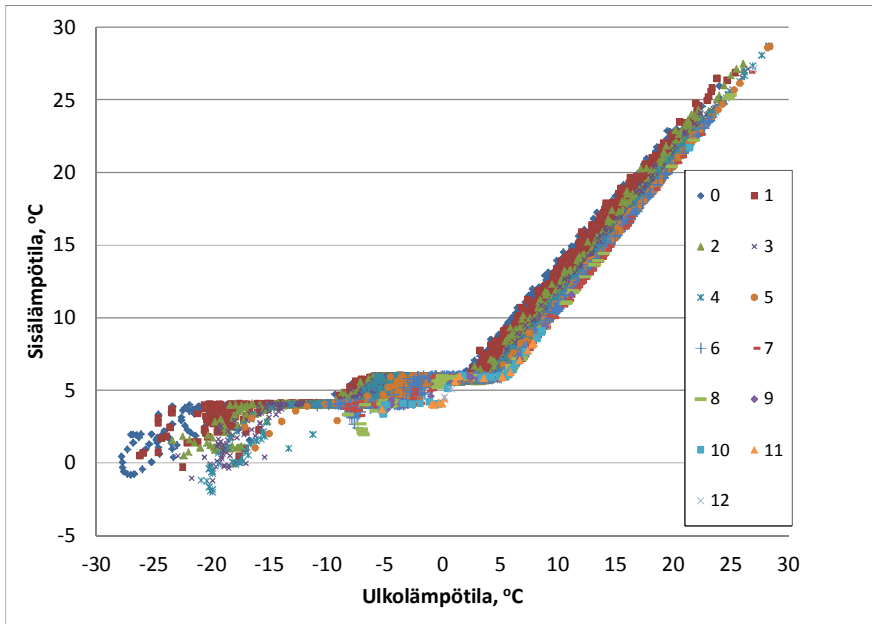
4. Kohdemittaukset ja ilmanvaihdon parantamisen keinot

kin suurimman osan ajasta. Talvella lämpötila menee ajoittain nollan alapuolelle, koska lisälämmitystä ei käytetä.



Kuva 64. Lasketut ilman lämpötilat vuoden jokaisena tuntina.

Samat sisälämpötilat eri ulkolämpötiloilla ovat kuvassa 65, josta käyvät ilmi myös tuulen nopeudet. Sisälämpötila on alimmillaan noin -20 asteen ulkolämpötiloilla, kun tuulen nopeus on 3–4 metriä sekunnissa. Tämä tukee maitotilojen havaintoja siitä, että avoimessa maastossa tuuli jäädyttää joskus navettaa enemmän kuin matala ulkolämpötila.

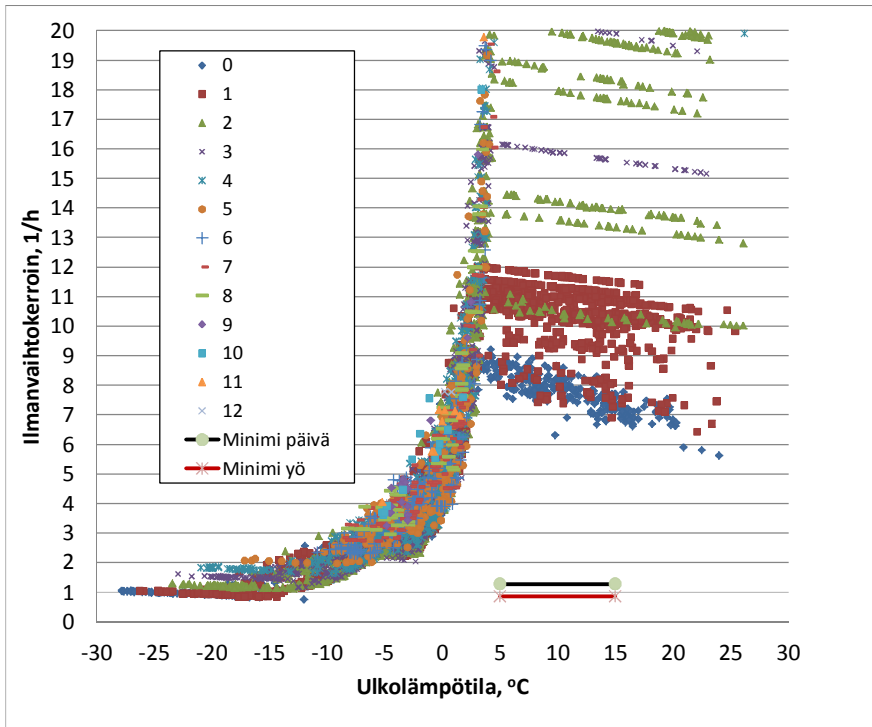


Kuva 65. Lasketut sisäilman lämpötilat vuoden jokaisena tuntina eri ulkolämpötiloilla ja tuulen nopeuksilla (m/s). Verhojen ja hormien automaattisäätö pyrkii pitämään sisälämpötilan 4 ja 6 asteen välillä.

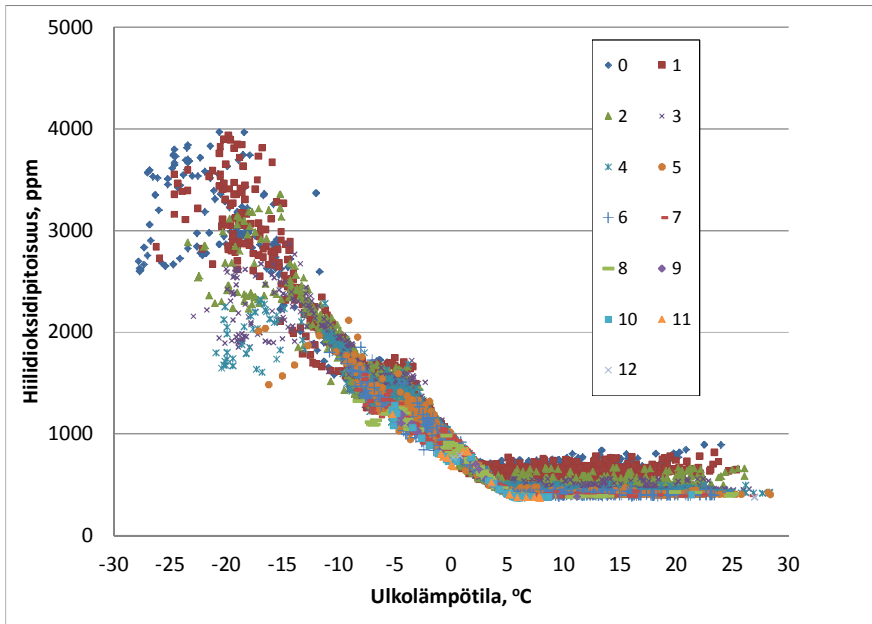
Kyseisinä tuulisina tunteina -20 asteen lämpötilassa ilmanvaihto on tarpeettoman suurta (kuva 66) ja siten hiilidioksidipitoisuus (kuva 67) selvästi mitoitusarvoa 3000 ppm pienempi. Pitoisuus 3000 ppm ylittyy 136 tuntina vuodessa, mikä vastaa 1,6:ta prosenttia vuoden tunneista. Nämä ylitykset tapahtuvat yleensä päiväsai-kaan, jolloin eläinten aktiiviteetti ja siten hiilidioksidin tuotto ovat korkeimmillaan.

Sisäilman kosteus (kuvat 68 ja 69) muodostuu korkeaksi matalilla ulko- ja sisälämpötiloilla, koska ilmanvaihto on pientä ja kylmä sisäilma kykenee sisältämään vain vähän vesihöyryä. Suhteellinen kosteus 100 % ylittyy 303 tuntina vuodessa, mikä tarkoittaa 3,5 % vuoden tunneista. Yli 100 %:n kosteudet tarkoittavat tässä tilannetta, jossa ilmassa on vettä sumuna tai vesihöyry on tiivistynyt nestemäiseksi vedeksi kylmille pinnoille.

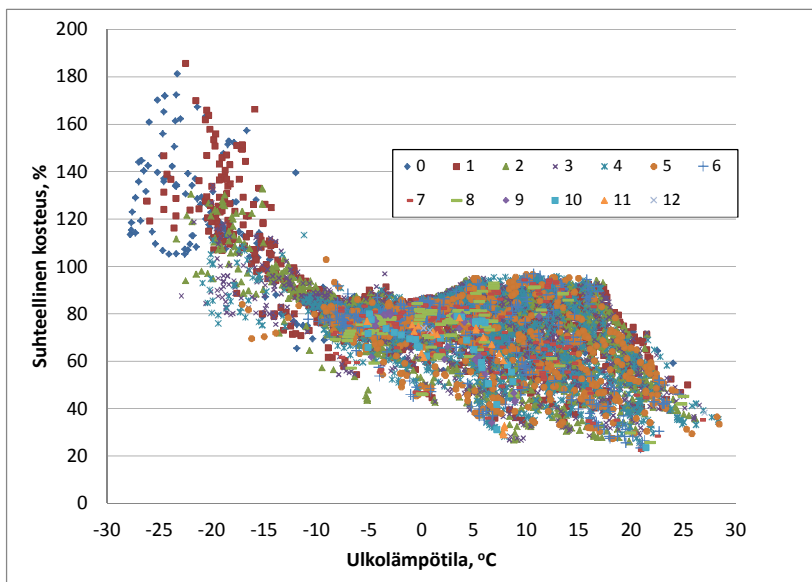
4. Kohdemittaukset ja ilmanvaihdon parantamisen keinot



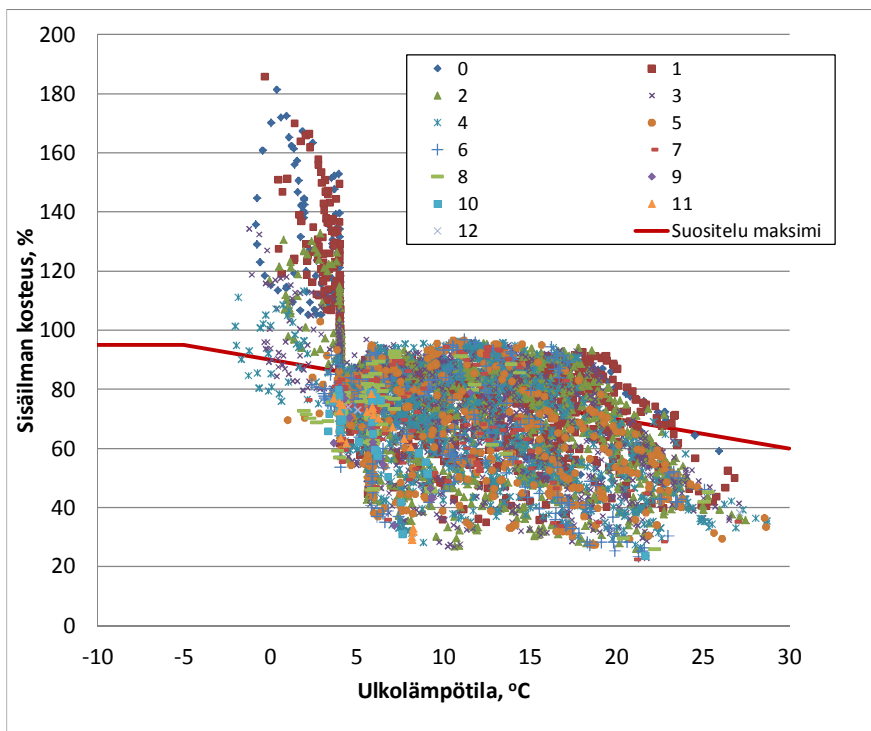
Kuva 66. Lasketut ilmanvaihtokertoimet vuoden jokaisena tuntina eri ulkolämpötiloilla ja tuulen nopeuksilla (m/s). Kuvaan on merkitty myös 3000 ppm hiilidioksidipitoisuutta vastaavat ilmanvaihtokertoimet päivällä ja yöllä. Päivällä ilmanvaihdon tarve on yötä suurempi eläinten suuremman aktiviteetin ja hiilidioksidituoton takia.



Kuva 67. Lasketut hiilidioksidipitoisuudet vuoden jokaisena tuntina eri ulkolämpötiloilla ja tuulen nopeuksilla (m/s).



Kuva 68. Lasketut sisäilman kosteudet vuoden jokaisena tuntina eri ulkolämpötiloilla ja tuulen nopeuksilla (m/s). Yli 100 %:n kosteudet tarkoittavat, että vettä on sumuna ilmassa tai kondenssina kylmillä pinnoilla.



Kuva 69. Lasketut sisäilman kosteudet vuoden jokaisena tuntina eri sisälämpötiloilla ja tuulen nopeuksilla (m/s). Kuvassa on myös suositeltu maksimikosteus kuvasta 35. Yli 100 %:n kosteudet tarkoittavat, että vettä on sumuna ilmassa tai kondenssina kylmillä pinoilla.

4.1.6 Homehtumisriskin arviointi

Koska suositeltu sisäilman kosteus voi ylittyä vuoden aikana usein (kuva 69), on syytä tarkastella, aiheutuuko kosteudesta homehtumista pinoilla. Homeriskin arvioinnissa käytettiin VTT:n homemallia (kuva 70), joka ottaa huomioon materiaalin homehtumisherkkyden sekä ajallisesti muuttuvat lämpötila- ja kosteusolosuhteet (mm. Hukka & Viitanen 1999). Seuraavissa laskelmissa käytetään kuvan 69 sisäilman kosteuksia ja lämpötiloja, joten tarkasteltavana ovat sisäpinnat, joiden lämpötila on lähellä sisäilman lämpötilaa.

Tarkasteluun valittiin materiaaliksi käsittelemätön puu, joka on orgaanisena materiaalina hyvin homeherkkä. Puupinnan homeindeksi seitsemän vuoden jaksolla on kuvassa 71. Homeindeksi jää alle yhden, mikä tarkoittaa, että puupinoille ei synny edes mikroskoopilla havaittavaa homea. Homekasvua ei esiinny, koska korkean kosteuden ajanhetkinä lämpötila on niin matala, että homeen kasvulle ei ole edellytyksiä. Kuva 72 kertoo, missä olosuhteissa homeriski on mahdollinen. Kuvasta 72 ilmenee myös, että eläinsuojien kosteussuositus ("säätö-90", kuva

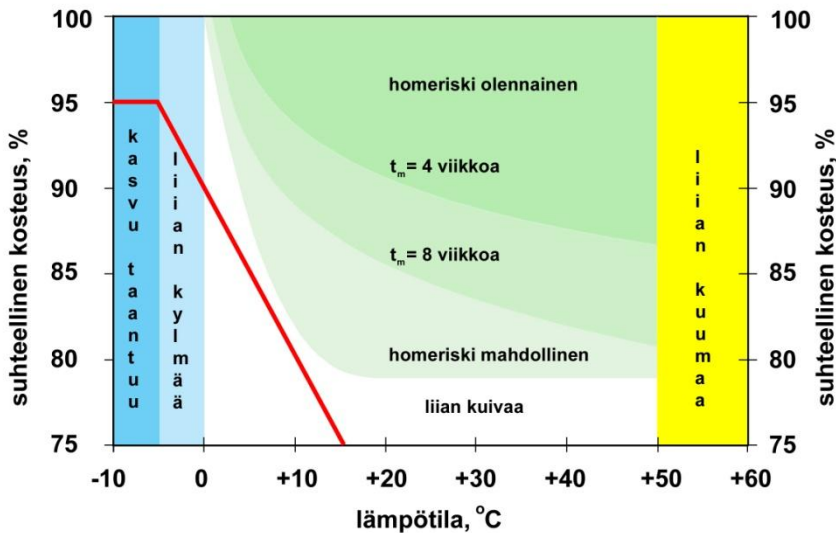
35) on alle viiden asteen lämpötiloissa selvästi varmalla puolella, jos tarkastellaan homeriskiä.

Home- indeksi	Luokitusperusteet
0	Ei kasvua, pinta puhdas
1	Mikroskoopilla havaittava kasvu, Paikoin alkavaa kasvua, muutama rihma
2	Mikroskoopilla havaittava kasvu, useita rihmastopesäkkeitä muodostunut
3	Silmin havaittava kasvu, rihmaston peitto alle 10 % alasta (alkavaa itiöiden muodostusta) TAI Mikroskoopilla havaittava kasvu, peitto alle 50 %
4	Silmin havaittava kasvu, rihmaston peitto noin 10–50 % alasta TAI Mikroskoopilla havaittava kasvu, peitto yli 50 %
5	Silmin havaittava kasvu, paikoin runsas tai rihmaston peitto yli 50 % alasta
6	Erittäin runsas kasvu, rihmaston peitto lähes 100 %

Kuva 70. Homeen luokitusperusteet VTT:n homemallissa.



Kuva 71. Laskettu homeindeksi seitsemän vuoden aikana puupinnoilla, jotka ovat kuvan 69 mukaisessa lämpötilassa ja kosteudessa.

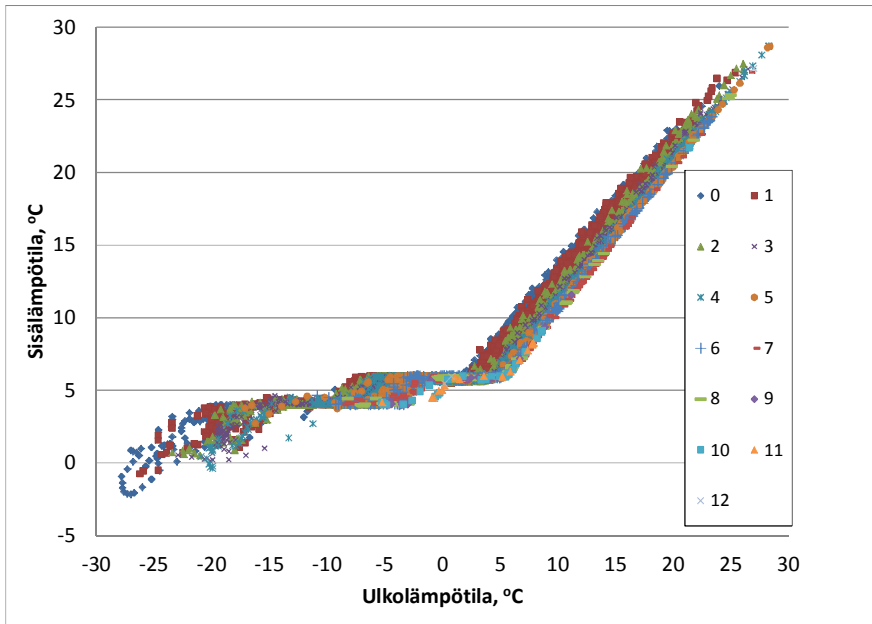


Kuva 72. Homeriskin kannalta mahdolliset olosuhteet käsittelemättömälle puulle (Hukka & Viitanen 1999). Kuvassa on myös suositeltu eläinsuojien sisäilman maksimikosteus kuvasta 35.

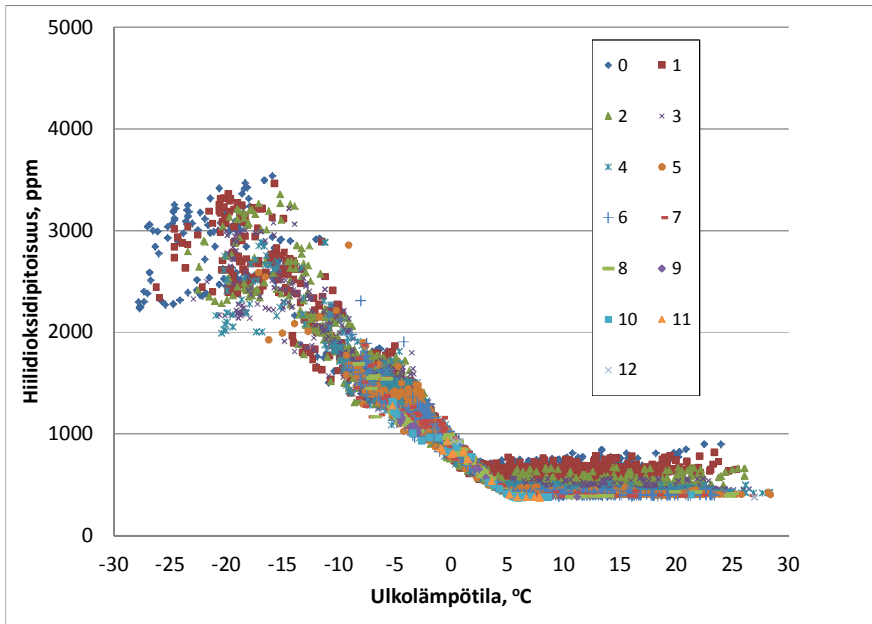
4.1.7 Verhon minimiavauksen vaikutus

Luvussa 3.5 esitettiin, että pienellä tuloaukon korkeudella on etuna pienempi ilmanvaihdon tuuliherkkyys. Siksi laskettiin edellä luvussa 4.1.5 esitetty tilanne myös 2 cm korkealla tuloilman minimiaukolla, kun luvun 4.1.5 laskelmissa aukon minimikorkeus oli 5 cm. Samalla hormin minimiavausta kasvatettiin 25 prosentista 40 prosenttiin, jotta tarpeellinen ilmanvaihto toteutuu.

Kuvia 73 ja 65 vertaamalla nähdään, että sisälämpötilan herkkyys tuulelle on vähentynyt. Matalat sisälämpötilat -20 asteen lähetyvillä tuulen nopeuksilla 3–4 m/s ovat nousseet. Sen sijaan matalimpien ulkolämpötilojen tuulettomien tuntien sisälämpötilat ovat hieman laskeneet. Ilmeisestikin valittu hormin minimiavaus 40 % on hieman liian suuri. Tuloaukon muutoksella on suotuisa vaikutus myös hiilidioksidipitoisuuksiin (vertaa kuvia 74 ja 67). Pitoisuuden 3000 ppm ylitystunnit ovat pienentyneet 136 tunnista 98 tuntiin.



Kuva 73. Lasketut sisäilman lämpötilat vuoden jokaisena tuntina eri ulkolämpötiloilla ja tuulen nopeuksilla (m/s), kun verhon minimiavausta on pienennetty kuvaan 65 verrattuna.

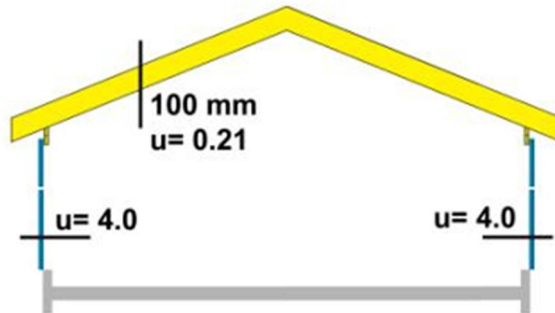


Kuva 74. Lasketut hiilidioksidipitoisuudet vuoden jokaisena tuntina eri ulkolämpötiloilla ja tuulen nopeuksilla (m/s), kun verhon minimiavausta on pienennetty kuvaan kuva 67 verrattuna.

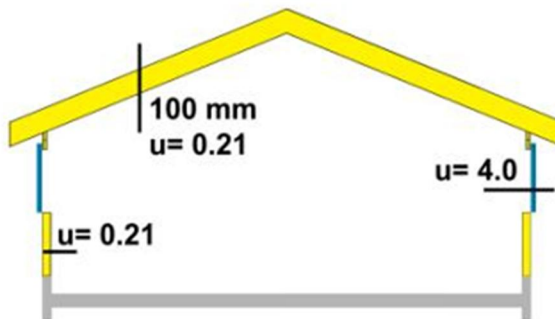
4.1.8 Vaipan erityspaksuuden vaikutus lämpötalouteen

Lammin kohteen eri vaipan osien U-arvot ja prosentuaaliset osuudet on esitetty aikaisemmin luvun 4.1.4 taulukossa 1. Eristyspaksuuden muutoksilla simuloitiin vaikutusta eläinhallin olosuhteisiin ja niistä aiheutuviin kustannusmuutoksiin. Simuloidut vaihtoehdot olivat seuraavat:

1. Toteutettu tilanne, jossa katossa (2972 m^2) ja päätyseinissä (243 m^2) on 100 mm polyuretaanieristeinen peltikasettielementti (Kingspan), verhoalue on koko seinän korkuinen (360 m^2).



2. Toteutettu tilanne muutettuna siten, että verhoaluetta pienennetään 190 m² ja sen tilalle asennetaan sivuseinille 100 mm polyuretaanipeltikasetti (Kingspan) sokkelista 1,6 m korkeuteen, tällöin verhoalue pienenee 190 m² ja eristetyn seinän osuus kasvaa vastaavalla määrällä. Vastaavasti seinällä korvautuvan verhoalueen U-arvo pienenee 3,8 W/m²K:stä 0,21 W/m²K:iin.

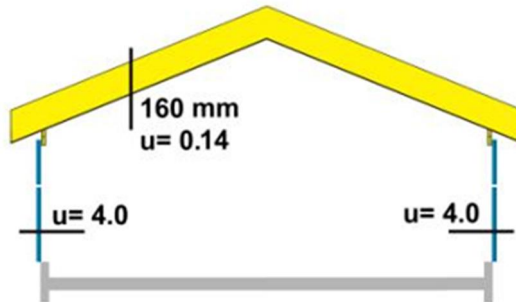


Rakennuskustannus muuttuu tässä tilanteessa siten, että verhoalueen pienentyminen halventaa verhoainvestointia n. 12 000 € ja vastaavasti peltikasettiseinän lisäkustannus on 12 000 €. Hinnat ovat puhtaasti materiaalihintoja, eikä niissä ole otettu huomioon rakennusteknisistä muutoksista aiheutuvia lisäkustannuksia (lisäpilarit, tuennat, kiinnikkeet jne.). Vaikutus hallin sisäilmastoon on marginaalinen, sillä lisälämmitystarpeen muutos on vain muutamia asteita kylmempään päin. Samalla kuitenkin vaikutetaan verhoalueen pinta-alaan siten, että kesäilmanvaihdossa ei saavuteta optimaalista aukkopinta-alaa maksimi-ilmanvaihtotarvetilanteessa.

3. Toteutettu tilanne muutettuna siten, että katon (2972 m²) 100 mm polyuretaanieristeinen peltikasettielementti (Kingspan) muutetaan 160 mm

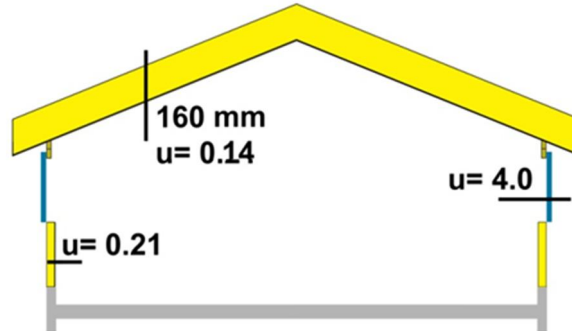
4. Kohdemittaukset ja ilmanvaihdon parantamisen keinot

kasetiksi, jolloin U-arvo muuttuu $0,21 > 0,14 \text{ W/m}^2\text{K}$, verhoalueeseen ei tehdä muutoksia.



Rakennuskustannus muuttuu tässä tilanteessa siten, että katon investointi kasvaa 22 300 €:lla. Vaikutus hallin sisäilmastoon on edelleen marginaalinen, sillä lisälämmitystarpeen muutos on vain muutamia asteita kylmempään päin.

4. Edellisten yhdistelmä, jossa katossa on 160 mm peltikasetti ja sivuseinillä on 100 mm peltikasetti 1,6 m korkeuteen asti ja sen yläpuolella verhoalue.



Rakennuskustannus muuttuu tässä tilanteessa siten, että verhoalueen pienentyminen halventaa verhoinvestointia n. 12 000 € ja vastaavasti peltikasettiseinän lisäkustannus on 12 000 €. Lopputulos seinien osalta on ± 0 . Katto kallistuu 23 000 €, mikä on merkitsevä kustannuslisä. Hinnat ovat puhtaasti materiaalihintoja, eikä niissä ole otettu huomioon rakennusteknisistä muutoksista aiheutuvia lisäkustannuksia. Vaikutus hallin sisäilmastoon on marginaalinen, sillä lisälämmitystarpeen muutos on vain muutamia asteita kylmempään päin. Samalla kuitenkin vaikutetaan verhoalueen pinta-alaan siten, että kesäilmanvaihdossa ei saavuteta optimaalista aukkopinta-ala maksimi-ilmanvaihtotarvetilanteessa.

Eristepaksuusmuutosten simuloitua vaihtelua vaikuttivat hallin lämpötaseessa enimmäkseen vain kolme asteen sisälämpötilan muutosta kylmimpinä ajanjaksoina (kuva 38 sivulla 48). Kohtuullinen eristepaksuus tarvitaan, mutta ylieristämällä ei saavuteta oleellisia säästöjä lämpötaloudessa. Kysymys on siitä, missä ajassa lisäeristysinvestoinnin maksaa takaisin, jos vaakakupissa on lisälämmitystarpeen toteuttaminen esimerkiksi siirrettävällä hallilämmittimellä ja siihen käytettävällä polttoaineella, jota tarvitaan noin viikon ajan vuodessa.

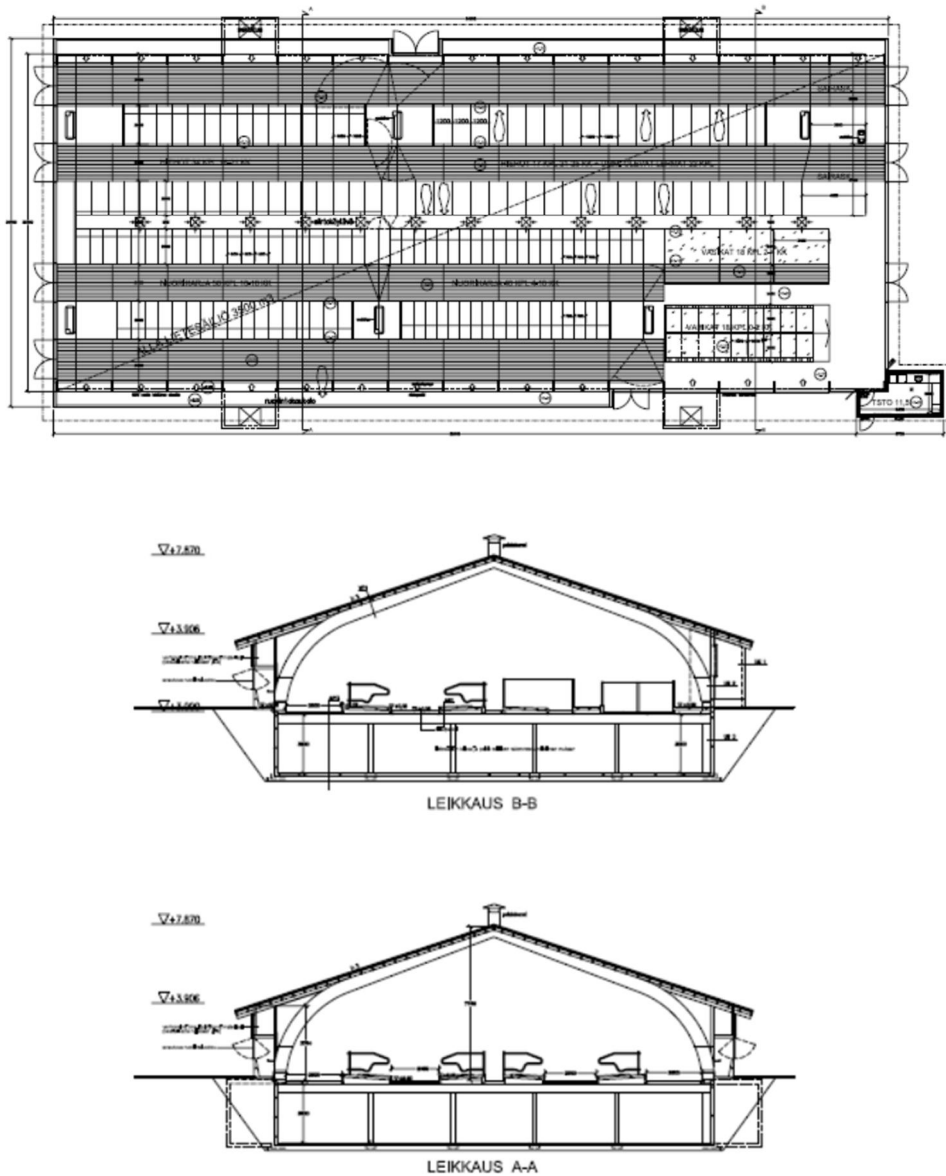
4.2 Olosuhdemittaukset – verhoseinät ja poistoharja 170 eläimen nuorkarjarakennuksessa

Pihattonavetta (kuvat 75 ja 76) on otettu käyttöön lokakuussa 2010 ja siinä on noin 150 parsipaikkaa.



Kuva 75. Pihatto sisältä.

4. Kohdemittaukset ja ilmanvaihdon parantamisen keinot



Kuva 76. Pihaton pohja- ja leikkauspiirustukset.

Ilmanvaihtojärjestelmänä on painovoimainen verhoseinäilmanvaihto (Arntje) manuaalisäädöllä, kuva 77. Tuloilma johdetaan sivuseinillä olevien verhoseinien tuloilma-aukkoa säätämällä. Sivuseinän ruokintakourussa on visiiriluukut, joita voidaan kesällä käyttää ilmanvaihdon tehostukseen, kuva 79. Poistoilma johde-

taan ulos katon kautta, jossa on nauhamainen valoharja; harjan alareunan alapuolella pystyasennossa olevat sivuläpät ovat ohjattavissa, kuva 78. Järjestelmässä ei ole lämmöntalteenottoa. Eläintiloissa ei ole lämmitystä.



Kuva 77. Tuloilma-aukko. Verhoseinä auki yläosastaan noin 30 cm.



Kuva 78. Poistoilma johdetaan ulos katon harjassa olevien aukkojen kautta.



Kuva 79. Sivuseinän alareunassa ruokintakourussa on visiirilukut, joita voidaan kesällä käyttää ilmanvaihdon tehostukseen.

4.2.1 Mittaukset

Sisäilmastomittaukset käsittivät lämpötilojen, ilman suhteellisen kosteuden, CO₂-pitoisuuden ja pölypitoisuuden mittauksen. Mittaukset tehtiin jatkuvatoimisilla seurantamittareilla noin kuukauden ajan 10.1.2011–7.2.2011. Pölypitoisuus mitattiin lyhyenä kertamittauksena lähinnä taustapitoisuuksien selvittämiseksi.

Lämpötila-, kosteus- ja CO₂-pitoisuus mitattiin pihaton keskiosassa noin 2,5 m:n korkeudella lattiasta ja hiukkaspitoisuus mitattiin pihaton keskeltä lattialta noin 0,1 m:n korkeudelta (kuvat 80 ja 81).



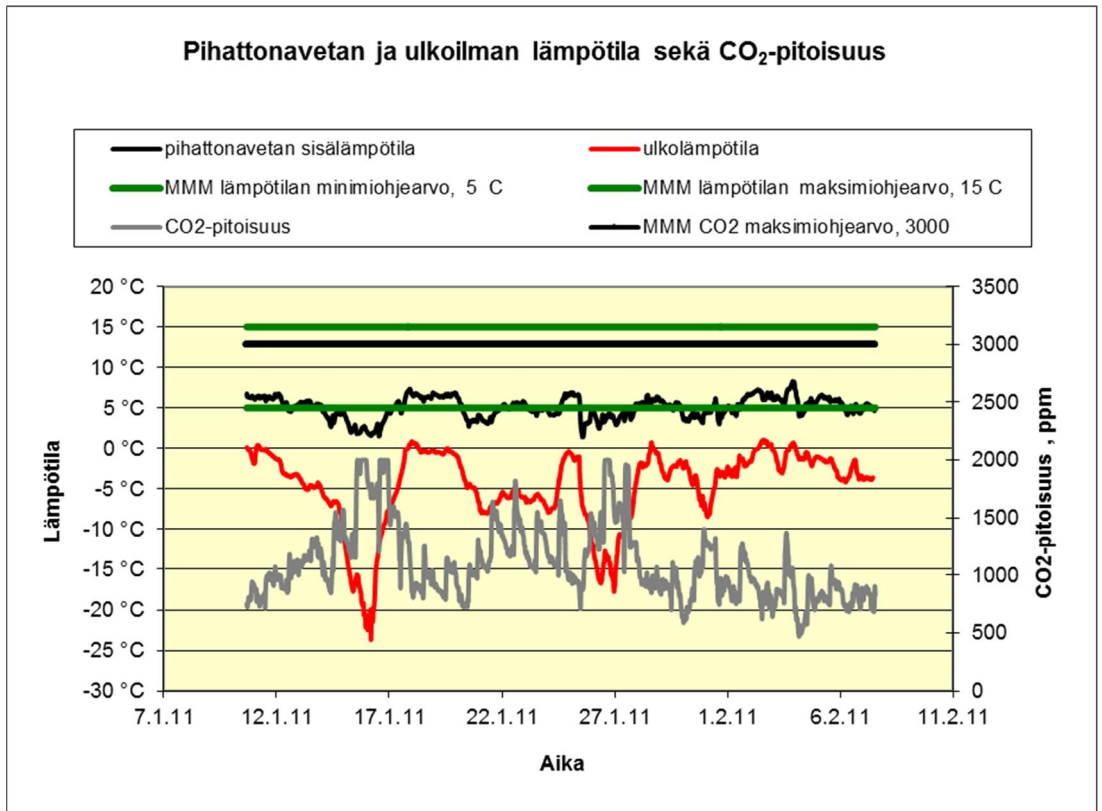
Kuva 80. Mittausanturit (lämpötila, kosteus ja CO₂).



Kuva 81. Hiukkaspitoisuusmittaus.

4.2.2 Mittaustulokset

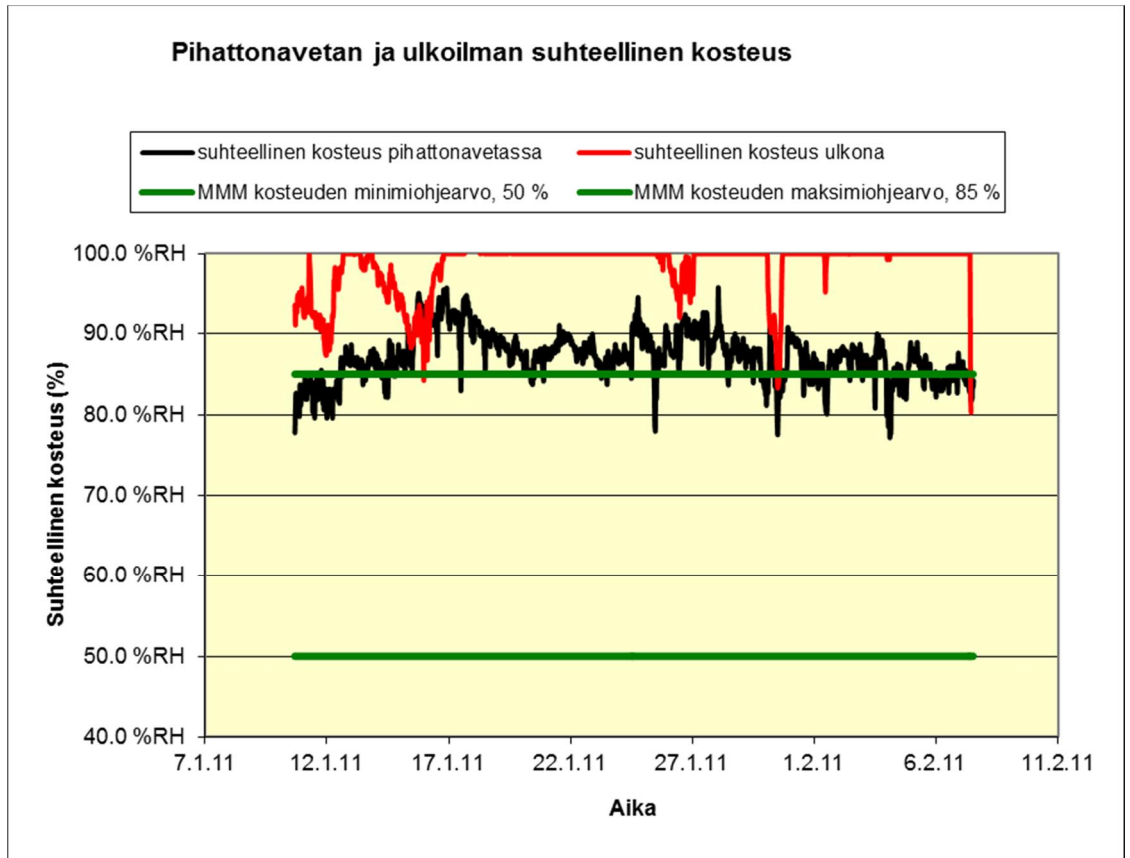
Kuvassa 82 on mitatut sisätilan ja ulkoilman lämpötilat sekä CO₂-pitoisuus. Kuvassa on myös merkitty MMM-RMO C2.2:n (MMM 2009) CO₂-pitoisuuden maksimumiarvo sekä lämpötilan minimi- ja maksimumiarvot (lehmä).



Kuva 82. Ilman lämpötilat ja CO₂-pitoisuus seurantajakson ajalta.

Kuvan mukaan pihatton ilman lämpötila oli mittausjaksolla optimialueen sisällä noin puolet mittausajasta. Sisälämpötila ei mennyt pakkasen puolelle edes kovimpien pakkasten aikana. CO₂-pitoisuuden nousupiikit (16.1., 26.1. ja 27.1.) kovimpien pakkasten aikana johtuvat siitä, että verhoseinät ovat säätyneet minimiasentoon, jolloin ilmanvaihto on pienentynyt ja CO₂-pitoisuus on noussut. Ohjearvoa 3000 ppm ei kuitenkaan tällöinkään ylitetty.

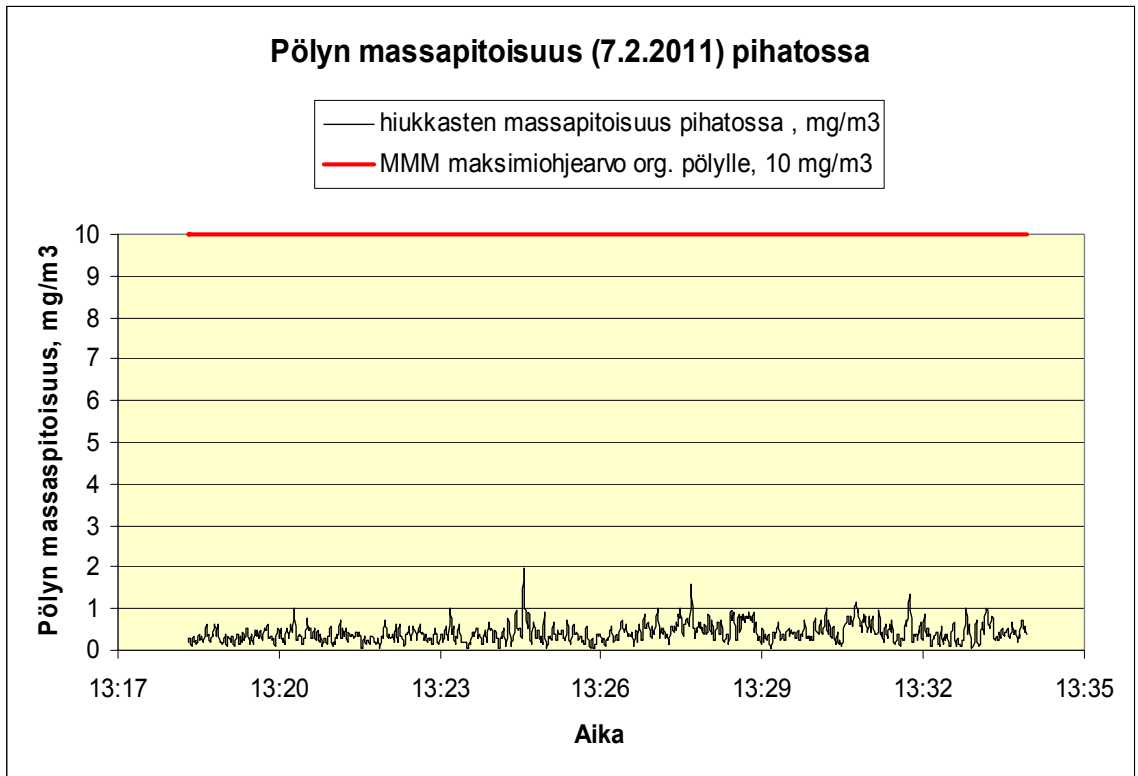
Kuvaan 83 on merkitty mitatun pihatton ja ulkoilman suhteelliset kosteudet. Kuvaan on myös merkitty MMM-RMO C2.2:n suhteellisen kosteuden ohjearvot.



Kuva 83. Ilman suhteellinen kosteus seurantajakson ajalta.

Kuvan mukaan sisäilman suhteellinen kosteus ylitti seurantajakson aikana maksimiohjeearvon 85 % suurimman osan mittausajasta. Talvella absoluuttinen kosteus on kuitenkin niin pieni, ettei siitä ole haittaa toiminnoille.

Hiukkas- ja pölypitoisuusmittauksessa on mukana kaikki leijuvat hiukkaset (orgaaninen ja epäorgaaninen pöly). Kuvasta 84 havaitaan hiukkaspitoisuuden olevan erittäin pieni ($< 1 \text{ mg/m}^3$) verrattuna ohjeearvoon.



Kuva 84. Hiukkaspitoisuus.

4.2.3 Tulosten tarkastelu

Pihaton ilman lämpötila oli mittausajaksolla optimialueen sisällä noin puolet mittausajasta. Sisälämpötila ei mennyt pakkasen puolelle edes kovimpien pakkasten aikana.

Sisäilman suhteellinen kosteus ylitti seurantajakson aikana maksimiohjearvon 85 % suurimman osan mittausajasta. Talvella absoluuttinen kosteus on kuitenkin niin pieni, ettei siitä ole haittaa toiminnoille.

CO₂-pitoisuuden nousupiikit (16.1., 26.1. ja 27.1.) kovimpien pakkasten aikana johtuvat siitä, että verhoseinät ovat säätyneet minimiasentoon, jolloin ilmanvaihto on pienentynyt ja CO₂-pitoisuus on noussut. Tämä kertoo säädön toimivuudesta. Ohjearvoa 3000 ppm ei kuitenkaan tällöinkään ylitetty. Hiukkaspitoisuus pihatossa oli erittäin pieni verrattuna ohjearvoon.

4.3 Olosuhdemittaukset ja laskelmat – kennolevyt ja poistohormit 40 lehmän peruskorjatussa navettarakennuksessa

Navetta (kuvat 85 ja 86) on rakennettu vuonna 1951 ja se on muutettu pihattonavetaksi vuonna 1989. Muita laajennuksia on tehty vuonna 1997 (lypsyasema), 1999 ja 2004 (lehmäpaikkojen lisäyksiä). Eläinmäärä on yhteensä noin 70 kpl. Nuorkarja on navetan toisella reunalla ja lypsykarjapuoli vastakkaisella reunalla. Lypsyasema on uudistettu vuonna 2004. Rakennus sijaitsee Punkaharjulla.



Kuva 85. Kohdetila ulkoa katsoen.



Kuva 86. Pihattonavetta sisältä.

Ilmanvaihtojärjestelmänä on painovoimainen kennolevyilmanvaihto. Järjestelmä rakennettiin vuonna 2010 vanhan tilalle (koneellinen tulo/poisto). Tuloilma johdetaan pihattoon sivuseinillä olevien kennolevyjen tuloilma-aukkoa säätämällä. Kennolevyjen säätö tapahtuu manuaalisesti. Kennolevyissä on talvisin ollut jonkin verran jäätymisongelmia (ei kaikissa kennolevyissä) $-20\dots-25\text{ }^{\circ}\text{C}$ pakkasilla.

Katossa on 2 kpl vanhan järjestelmän poistoilmahormeja, jotka ovat toiminnassa. Poistoilmahormeissa (ks. kuva 88) on puhallin, mutta ne eivät ole normaalisti käytössä (kesällä niillä voidaan tarvittaessa tehostaa ilmanvaihtoa). Vanhan järjestelmän tuloilmahormit 2 kpl ovat paikallaan, mutta eivät ole käytössä. Kovilla pakkasilla kennolevyjä pidetään lähes kiinni (kuva 87). Varsinaisissa eläintiloissa ei ole lämmitystä.

4. Kohdemittaukset ja ilmanvaihdon parantamisen keinot



Kuva 87. Kennoseinä on auki yläreunastaan noin 10 cm.



Kuva 88. Poistoilmahormi katossa.

4.3.1 Mittaukset

Sisäilmastomittaukset käsittivät lämpötilojen, ilman suhteellisen kosteuden, CO₂-pitoisuuden ja pölypitoisuuden mittauksen. Mittaukset tehtiin jatkuvatoimisilla seurantamittareilla noin kolmen viikon ajan 11.3.2011–1.4.2011 (kuva 89). Pölypitoisuus mitattiin lyhyenä kertamittauksena lähinnä taustapitoisuuksien selvittämiseksi.

Lämpötila-, kosteus- ja CO₂-pitoisuus mitattiin pihaton keskiosasta noin 2,5 m:n korkeudelta lattiasta ja hiukkaspitoisuus mitattiin pihaton keskeltä (lypsyaseman puolelta) noin 0,5 m:n korkeudelta.

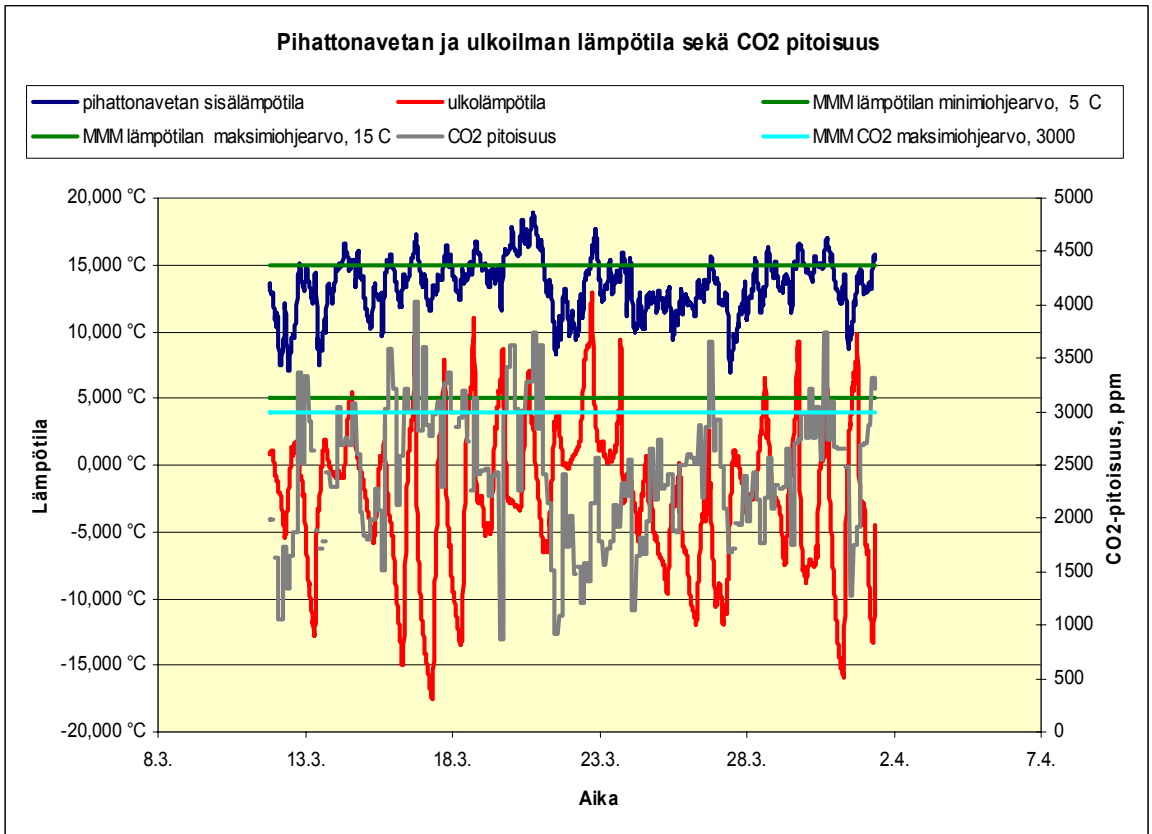


Kuva 89. Mittausanturit (lämpötila, kosteus ja CO₂).

4.3.2 Mittaustulokset

Lämpötila ja CO₂-pitoisuus

Kuvassa 90 on mitatut sisä- ja ulkoilman lämpötilat sekä CO₂-pitoisuus. Kuvaan on myös merkitty MMM-RMO C2.2:n CO₂-pitoisuuden maksimiohjearvo sekä lämpötilan minimi- ja maksimiohjearvot (lehmä).

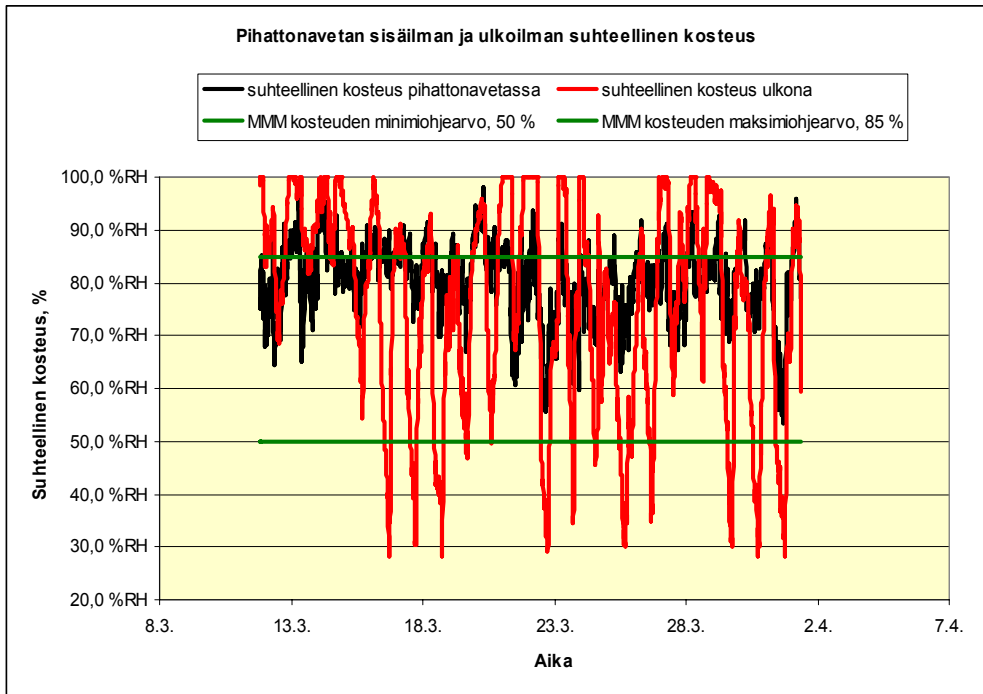


Kuva 90. Ilman lämpötilat ja CO₂-pitoisuus seurantajakson ajalta.

Kuvan mukaan pihatton sisäilman lämpötila ylitti optimilämpötilan 15 °C muutamina mittauspäivinä. Sisälämpötila ei mennyt pakkasen puolelle mittausjakson aikana. CO₂-pitoisuus oli paikoin aika korkea ja nousi hetkellisesti jopa 4000 ppm:iin asti. Suurimman osan mittausajasta CO₂-pitoisuus oli kuitenkin ohjearvon 3000 ppm alapuolelle. Isäntä kertoi pitävänsä kennolevyjä vähän liian pienellä avauksella, mikä selittää mitattuja lämpötila- ja CO₂-arvoja.

Ilman suhteellinen kosteus

Kuvaan 91 on merkitty mitatun sisä- ja ulkoilman suhteelliset kosteudet. Kuvaan on myös merkitty MMM-RMO C2.2:n suhteellisen kosteuden ohjearvot.

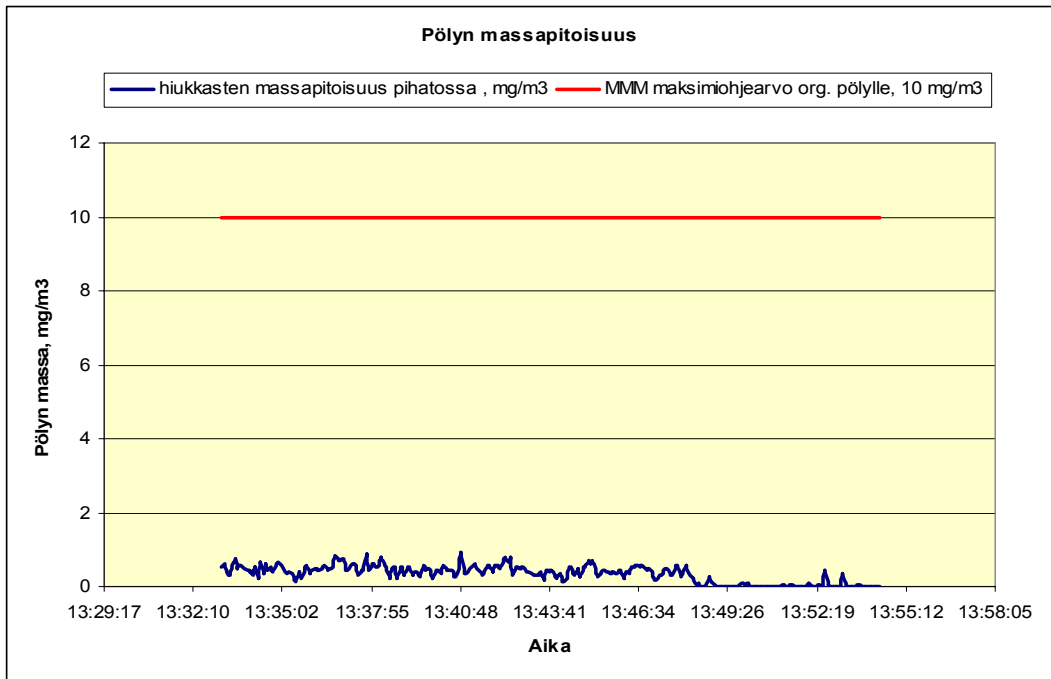


Kuva 91. Ilman suhteellinen kosteus seurantajakson ajalta.

Kuvan mukaan sisäilman suhteellinen kosteus ylitti ohjearvon 85 % välillä mittausjakson aikana. Talvella absoluuttinen kosteus on niin pieni, ettei siitä ole haittaa toiminnoille.

Hiukkas- ja pölypitoisuus

Kuvan 92 mittauksessa ovat mukana kaikki ilmassa leijuvat hiukkaset (orgaaninen ja epäorgaaninen pöly). Mittausaika oli lyhyt, mutta kuvasta havaitaan hiukkaspitoisuuden olevan erittäin pieni ($< 1 \text{ mg/m}^3$) verrattuna maksimiohjearvoon ja ulkoilman pitoisuuteen.



Kuva 92. Pölypitoisuus pihattonavetassa. Klo 13.49 alkaen mittaus tehty ulkoilmassa taustapitoisuuden selvittämiseksi.

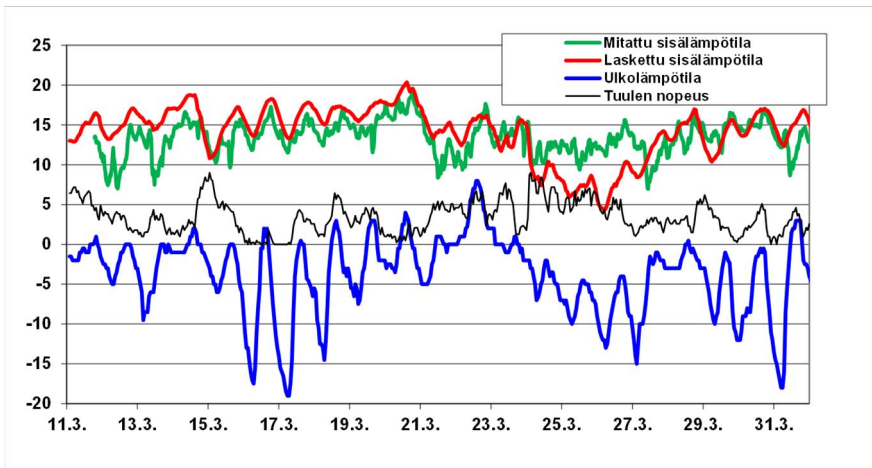
4.3.3 Tulosten tarkastelu

Pihatton sisäilman lämpötila ylitti optimilämpötilan 15 °C muutamina mittauspäivinä. Sisälämpötila ei mennyt pakkasen puolelle mittausjakson aikana. CO₂-pitoisuus oli paikoin aika korkea ja nousi hetkellisesti jopa 4000 ppm:iin asti. Suurimman osan mittausajasta CO₂-pitoisuus oli kuitenkin ohjearvon 3000 ppm alapuolella. Isäntä kertoi pitävänsä kennolevyjä vähän liian pienellä avauksella, mikä selittää mitattuja lämpötila ja CO₂-arvoja. Pihatton sisäilman suhteellinen kosteus ylitti ohjearvon 85 % välillä mittausjakson aikana. Talvella absoluuttinen kosteus on niin pieni, ettei siitä ole haittaa toiminnoille. Hiukkaspitoisuus oli erittäin pieni (< 1 mg/m³) verrattuna maksimiohjearvoon ja ulkoilman pitoisuuteen.

Kohteesta tehtiin laskennallinen tarkastelu, jossa selvitettiin tulo- ja poistoaukojen tarvetta ja sitä, tehostetaanko ilmanvaihtoa kennolevyjen avauksen vai hormien lisäämisen avulla.

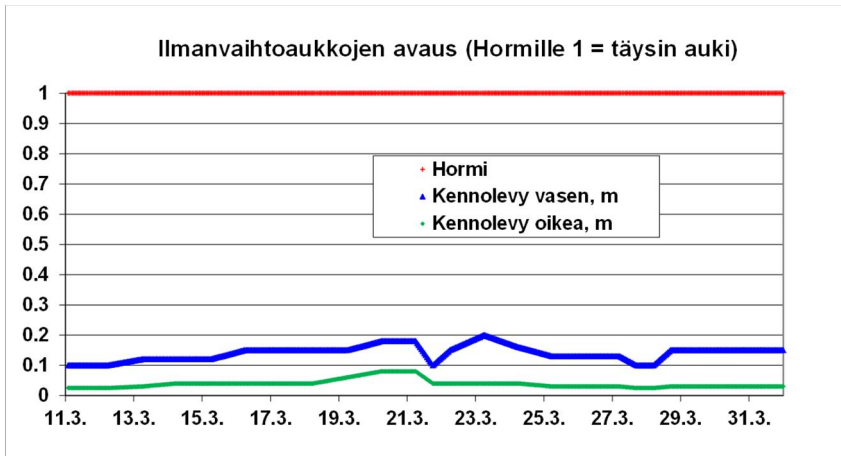
4.3.4 Talvimittausjakson laskennallinen tarkastelu

Kohteen mittaustuloksia talvikauden aikana käytettiin ilmanvaihdon laskentamallin viritämiseen. Laskentamallilla voidaan tarkastella ilmanvaihtojärjestelmään tai sen säätöön tehtävien muutosten vaikutusta ilmanvaihdon toimivuuteen. Kuvassa 93 on esitetty kohteessa mitatut sisä- ja ulkolämpötila, läheiseltä sääasemalta saatu tuulisuustieto ja laskentamallilla saatu sisälämpötila. Laskelmissa käytetyt rakennuksen ja ilmvirtausreittien tiedot selvitettiin kohdekäynnin aikana. Poistohormien ja kennonlevyseinien avauksina käytettiin isännän ilmoittamia tietoja (kuva 94). Tiedot kerättiin tilalle toimitettuun päiväkirjapohjaan yleensä kaksi kertaa vuorokaudessa. Laskentamallilla laskettiin myös rakennuksen kosteus ja CO₂-pitoisuus (kuvat 95 ja 96). Malli viritettiin vastaamaan mitattuja tietoja siten, että kolme tekijää eli sisälämpötila, sisäilman kosteus ja sisäilman CO₂-pitoisuus vastasivat mahdollisimman hyvin mitattuja arvoja. Mallin viritystä vaikeutti se, että kohteesta kirjattiin verhon asentotieto vain kaksi kertaa vuorokaudessa ja tuulen nopeuden tieto oli sääasemalta, joka sijaitsee 21 km kohteesta. Laskentamalli kuvaa kuitenkin riittävän hyvin kohteen ilmanvaihdon toimivuutta, joten sillä tehtiin jäljempänä luvussa 4.3.5 esitettäviä toimivuustarkasteluja.

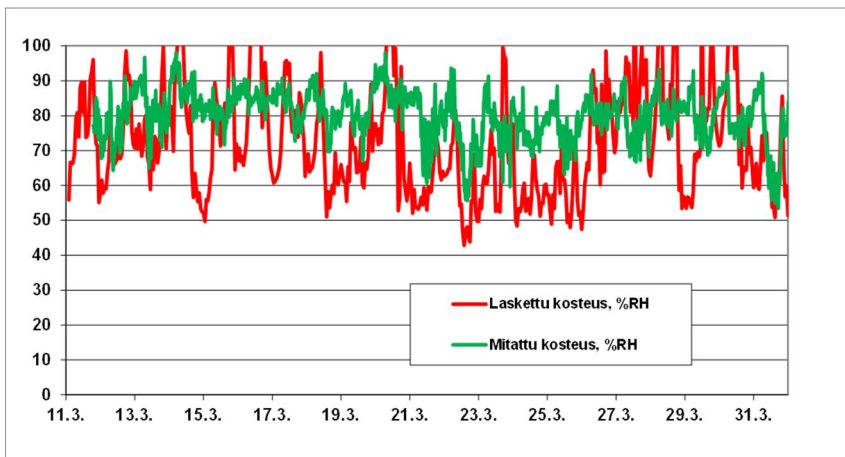


Kuva 93. Kohteessa mitatut sisä- ja ulkolämpötila, läheiseltä sääasemalta saatu tuulisuustieto ja laskentamallilla saatu sisälämpötila ajanjaksona 11.3.2011–31.3.2011.

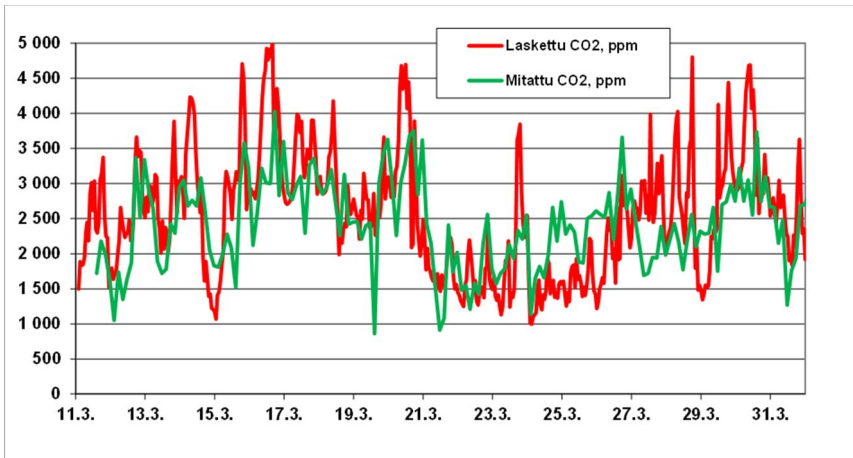
4. Kohdemittaukset ja ilmanvaihdon parantamisen keinot



Kuva 94. Poistohormien ja kennolevyjen avaukset ajanjaksona 11.3.2011–31.3.2011.



Kuva 95. Mitattu ja laskettu sisäilman suhteellinen kosteus ajanjaksona 11.3.2011–31.3.2011.

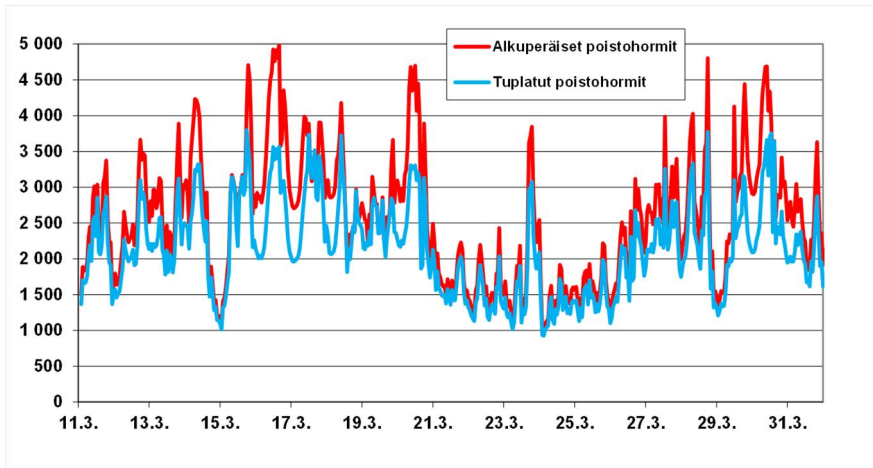


Kuva 96. Mitattu ja laskettu CO₂-pitoisuus ajanjaksona 11.3.2011–31.3.2011.

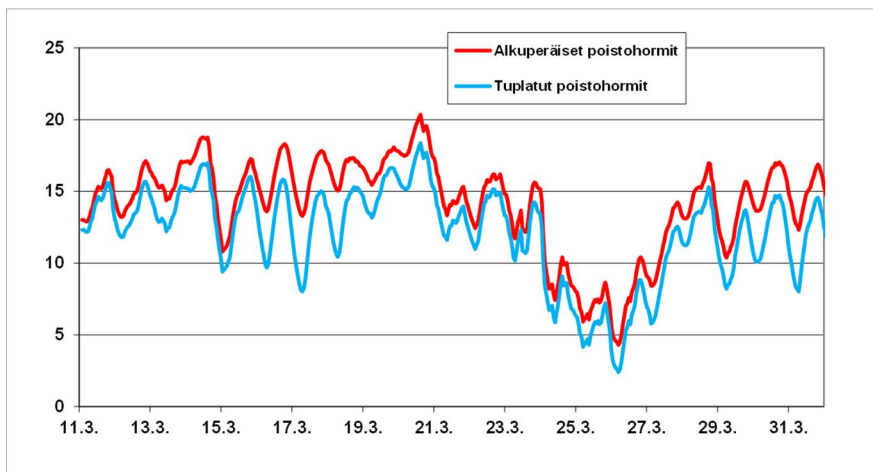
4.3.5 Tulo- ja poistoaukkojen määrän ja automaattisäädön vaikutus ilmanvaihdon toimivuuteen

Peruskorjatussa kohteessa ilmanpoisto on suunniteltu toimivaksi kahden poistoilmahormin kautta. Kahden vanhan tuloilmahormin puhaltimet otettu pois käytöstä ja hormit on tukittu. Tilalla on kuitenkin pohdittu mahdollisuutta tehostaa ja parantaa ilmanvaihdon toimivuutta ottamalla kaksi vanhaa tuloilmahormia käyttöön muuttamalla ne poistoilmahormeiksi ja poistamalla puhaltimet. Toimenpiteen vaikutusta on tarkasteltu laskentamallilla. Kuvissa on esitetty poistohormien määrän lisäämisen vaikutus tilan CO₂-pitoisuuteen (kuva 97) ja sisälämpötilaan (kuva 98). Laskennassa käytetty kennolevyjen ja poistohormin säätö oli jakson aikana kuvan 94 mukainen. Poistohormien lisääminen lisää ilmanvaihdon määrää ja laskee pitoisuuksia tilassa, mutta samalla lämpötila tilassa myös laskee.

4. Kohdemittaukset ja ilmanvaihdon parantamisen keinot

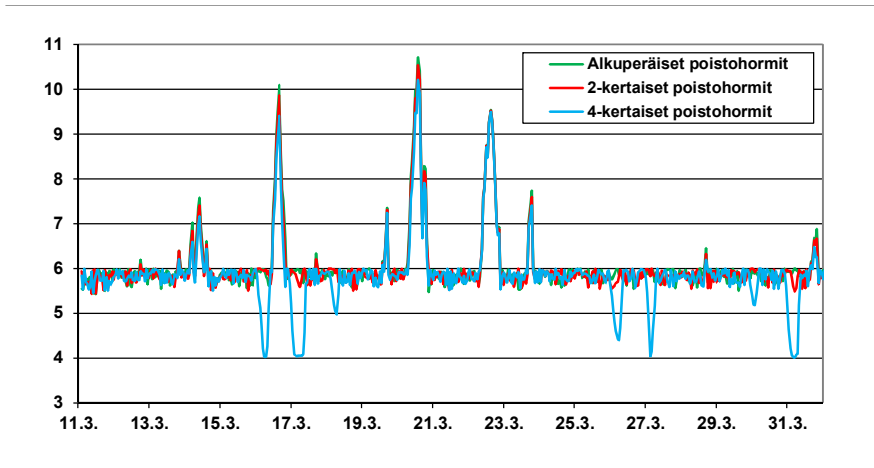


Kuva 97. Hormien lisäyksen vaikutus CO₂-pitoisuuteen ajanjaksona 11.3.2011–31.3.2011.

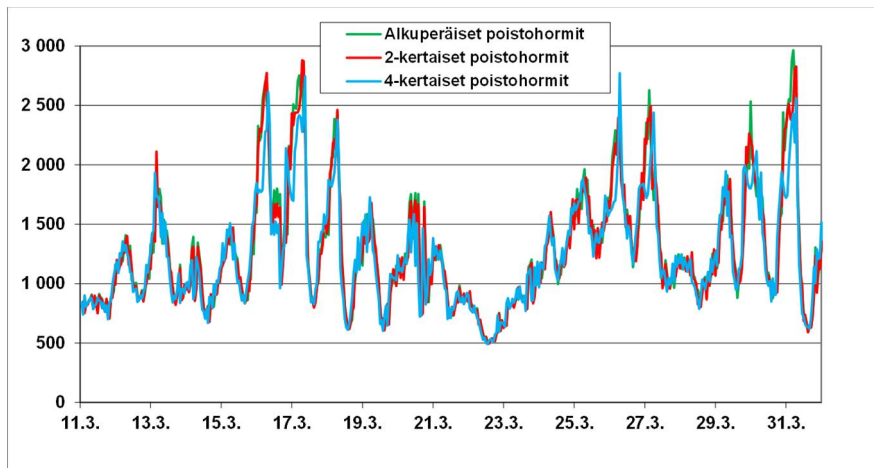


Kuva 98. Hormien lisäyksen vaikutus sisälämpötilaan ajanjaksona 11.3.2011–31.3.2011.

Olosuhteita tilassa voidaan parantaa myös parantamalla tulopuolen kennolevyjen säätöä. Kuvissa 99 ja 100 on esitetty laskennallinen tarkastelu, jossa automaattinen kennolevyjen säätö on käytössä. Poistohormien määrä on alkuperäinen, 2-kertainen tai 4-kertainen (verrattuna alkuperäiseen). Tuloksista huomataan, että automaattisäätö lämpötila-asetuksilla 4–6 °C johtaa huomattavasti suurempiin kennolevyjen avauksiin kuin mitä kohteessa on käytetty. Ilmavirrat kasvavat, pitoisuus alenee ja lämpötila alenee. Kuvassa 101 on esitetty automaattisäädön ohjaamat kennolevyn avaukset laskentajakson aikana.

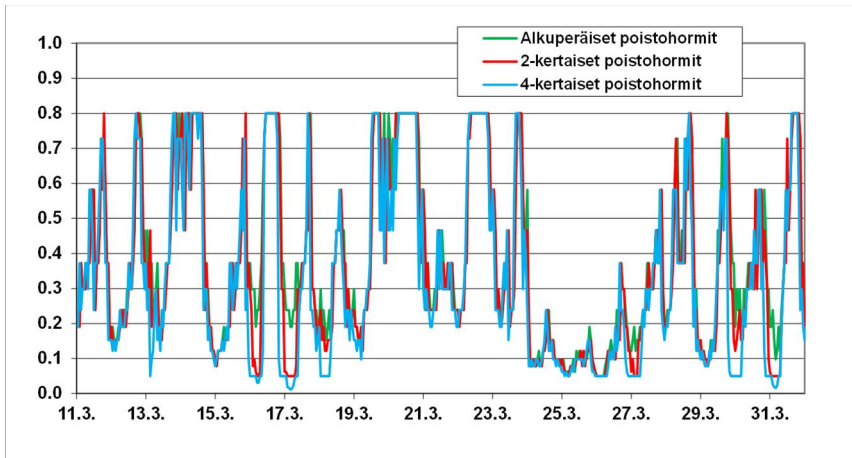


Kuva 99. Hormien lisäyksen vaikutus sisälämpötilaan, kun kennolevyjä säädetään automaattisäädöllä (tavoite 4–6 °C).



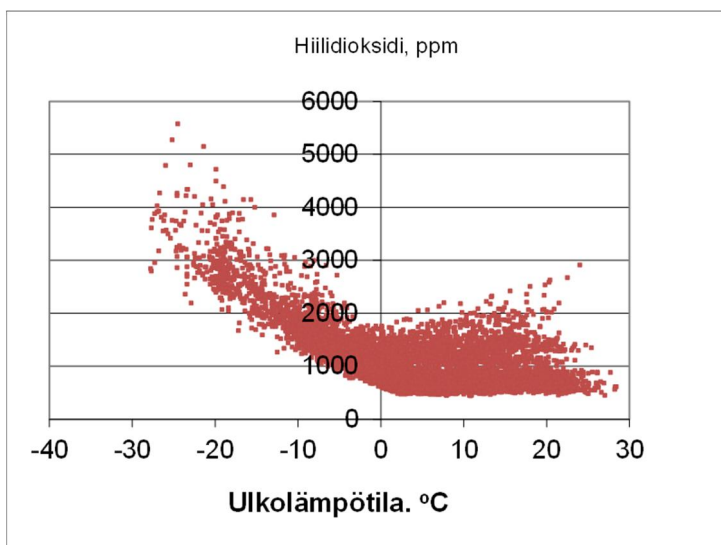
Kuva 100. Hormien lisäyksen vaikutus CO₂-pitoisuuteen, kun kennolevyjä säädetään automaattisäädöllä (tavoite 4–6 °C).

4. Kohdemittaukset ja ilmanvaihdon parantamisen keinot

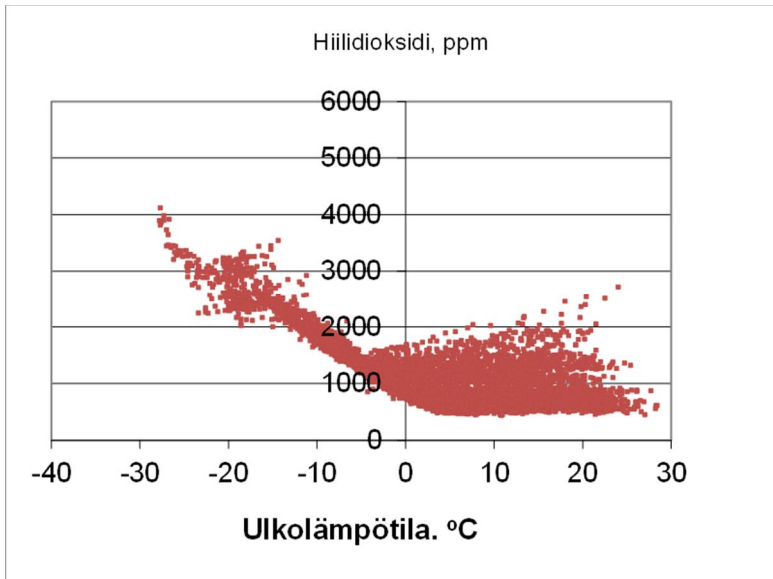


Kuva 101. Hormien lisäyksen vaikutus kennolevyjen säätöasentoon, kun kennolevyjä säädetään automaattisäädöllä (tavoite 4–6 °C).

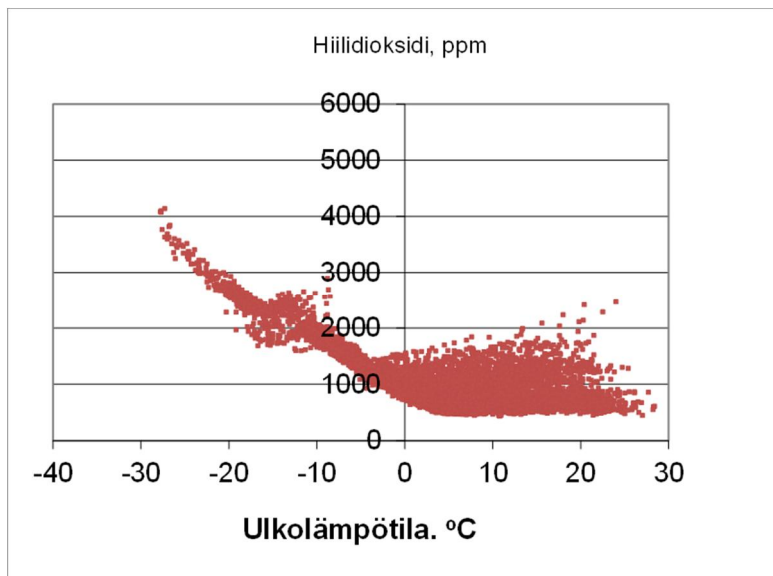
Edellä esitettyjen lyhyen jakson laskentatarkastelujen lisäksi tarkasteltiin järjestelmän toimivuutta koko vuoden sääoloissa. Kuvissa 102–108 on esitetty poistohormien lisäyksen vaikutus CO₂-pitoisuuteen ja sisälämpötilaan. Yhdessä laskentatapauksista on kasvatettu tuloaukkojen leveyttä kaksinkertaiseksi alkuperäiseen verrattuna. Kuvista nähdään, että lisättäessä hormien määrää tai tuloaukkojen maksimikokoa säädölle on paremmat edellytykset toimia.



Kuva 102. CO₂-pitoisuus vuoden jokaisena tuntina, kun hormien lukumäärä on alkuperäinen (2 kpl) ja kennolevyjä säädetään automaattisäädöllä (tavoite 4–6 °C).

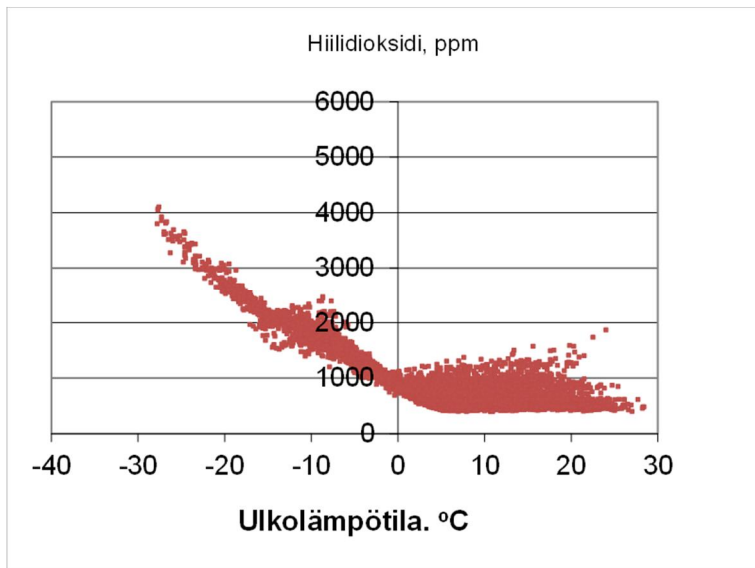


Kuva 103. CO₂-pitoisuus vuoden jokaisena tuntina, kun hormien lukumäärä on 2-kertainen alkuperäiseen verrattuna ja kennolevyjä säädetään automaattisäädöllä (tavoite 4–6 °C).

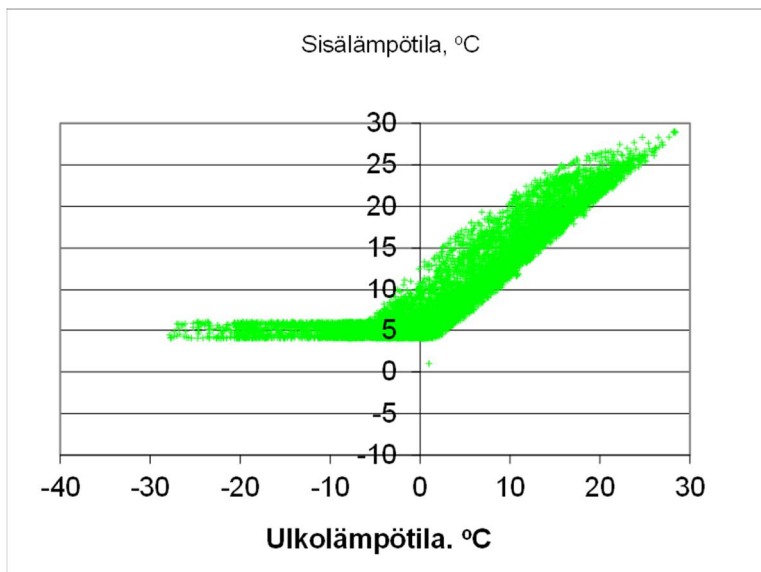


Kuva 104. CO₂-pitoisuus vuoden jokaisena tuntina, kun hormien lukumäärä on 4-kertainen alkuperäiseen verrattuna ja kennolevyjä säädetään automaattisäädöllä (tavoite 4–6 °C).

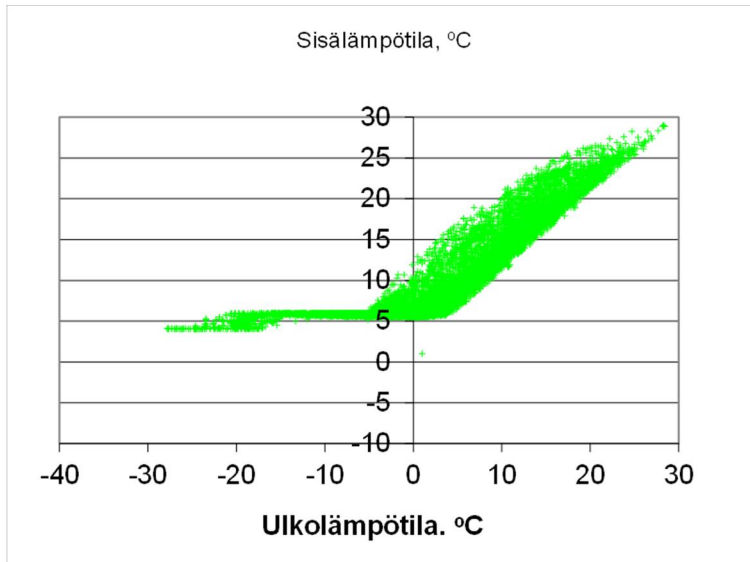
4. Kohdemittaukset ja ilmanvaihdon parantamisen keinot



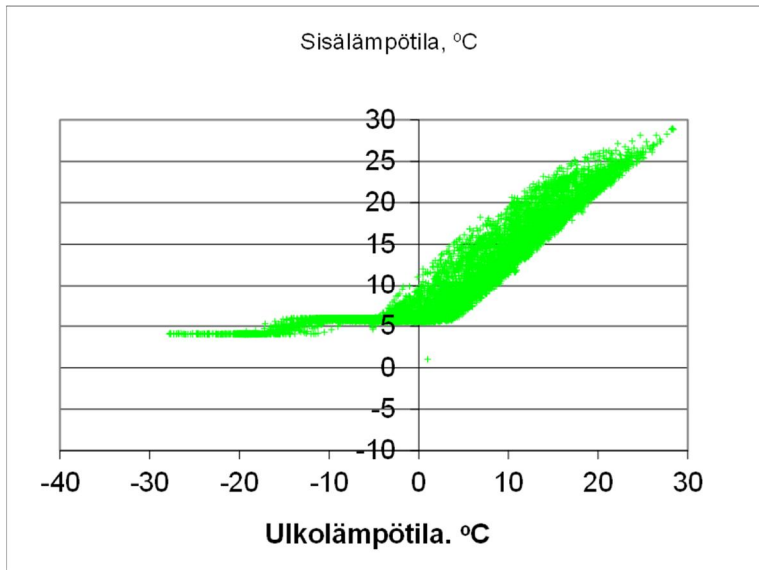
Kuva 105. CO₂-pitoisuus vuoden jokaisena tuntina, kun hormien lukumäärä on 4-kertainen alkuperäiseen verrattuna, tuloaukkojen leveys on 2-kertainen alkuperäiseen verrattuna ja kennolevyjä säädetään automaattisäädöllä (tavoite 4–6 °C).



Kuva 106. Sisälämpötila vuoden jokaisena tuntina, kun hormien lukumäärä on alkuperäinen (2 kpl) ja kennolevyjä säädetään automaattisäädöllä (tavoite 4–6 °C).



Kuva 107. Sisälämpötila vuoden jokaisena tuntina, kun hormien lukumäärä on 2-kertainen alkuperäiseen verrattuna ja kennolevyjä säädetään automaattisäädöllä (tavoite 4–6 °C).



Kuva 108. Sisälämpötila vuoden jokaisena tuntina, kun hormien lukumäärä on 4-kertainen alkuperäiseen verrattuna ja kennolevyjä säädetään automaattisäädöllä (tavoite 4–6 °C).

4.4 Olosuhdemittaukset – peruskorjattu lypsy- ja nuorkarjarakennus verho- ja kennolevyseinillä ja poistohormeilla varustettuna

Juvalla sijaitseva pihattonavetta (kuvat 109 ja 110) on rakennettu vuonna 1999. Eläinmäärä on yhteensä noin 120–150 kpl. Vasikat ovat imettäjälehmien kanssa omassa osastossaan täyskuivikepohjaisissa ryhmäkarsinoissa navetan toisessa päädyssä ja lypsykarjapuoli navetan vastakkaisella puolella. Nuorkarja on eri rakennuksessa. Lypsyosastoilla lannanpoisto toimii avoraappamenetelmällä. Lantaa käsitellään lietteenä ja kuivalantana.

Isännän mukaan sekä vasikoiden että työntekijöiden terveys on ollut parempi pihatossa verrattuna normaaliin navettaan, lisäksi navetan ilma on ollut selkeästi kuivempi.



Kuva 109. Rakennus ulkoa katsoen.



Kuva 110. Lypsykarjaosasto.

Ilmanvaihtojärjestelmänä on painovoimainen verhoseinä- tai kennolevyilmanvaihto. Järjestelmä rakennettiin vuonna 2010 vanhan tilalle (entinen järjestelmä koneellinen tulo/poisto). Tuloilma johdetaan pihattoon sivuseinillä olevien verhoseinien (avautuvat ylhäältä alaspäin, kuva 111) ja kennolevyjen (kuva 112) tuloilma-aukkoa säätämällä. Verhoseinät ovat lypsykarjapuolella ja kennolevyt vasikkaosastolla. Kennolevyissä on talvisin ollut jäätymisongelmia, joten niitä ei ole pystytty täysin hyödyntämään. Katossa on 8 kpl poistoilmahormeja, joissa kolmessa on puhallin (puhaltimet eivät ole käytössä). Kovilla pakkasilla $t = < -20\text{ °C}$ verhoja pidetään lähes kiinni ja ilmanvaihdon määrää säädetään poistohormien (kuva 113) avauksilla. Kesällä voidaan pitää verhoja yläosastaan jonkin verran kiinni estämään suoran auringonsäteilyn pääsyä pihattoon. Ilmanvaihdon säätö tapahtuu manuaalisesti.

Varsinaisissa eläintiloissa ei ole lämmitystä. Lypsyasemalla on yhteensä 8 kW säteilylämmittimet. Lypsyasema voidaan tarvittaessa eristää muusta tilasta verhoseinällä. Juoma-altaissa on lämmitysvastukset.

4. Kohdemittaukset ja ilmanvaihdon parantamisen keinot



Kuva 111. Verhoseinä auki yläreunastaan noin 40 cm.



Kuva 112. Kennolevyseinä.



Kuva 113. Poistoilmahormi katossa.

4.4.1 Mittaukset

Sisäilmastomittaukset

Sisäilmastomittaukset käsittivät lämpötilojen, ilman suhteellisen kosteuden, CO₂-pitoisuuden ja pölypitoisuuden mittauksen. Mittaukset tehtiin jatkuvatoimisilla seurantamittareilla noin kolmen viikon ajan 11.3.2011–1.4.2011. Pölypitoisuus mitattiin lyhyenä kertamittauksena lähinnä taustapitoisuuksien selvittämiseksi.

Lämpötila-, kosteus- ja CO₂-pitoisuus mitattiin pihaton keskiosasta noin 2,5 m:n korkeudelta lattiasta ja hiukkaspitoisuus mitattiin pihaton käytävältä noin 0,5 m:n korkeudelta (kuva 114).

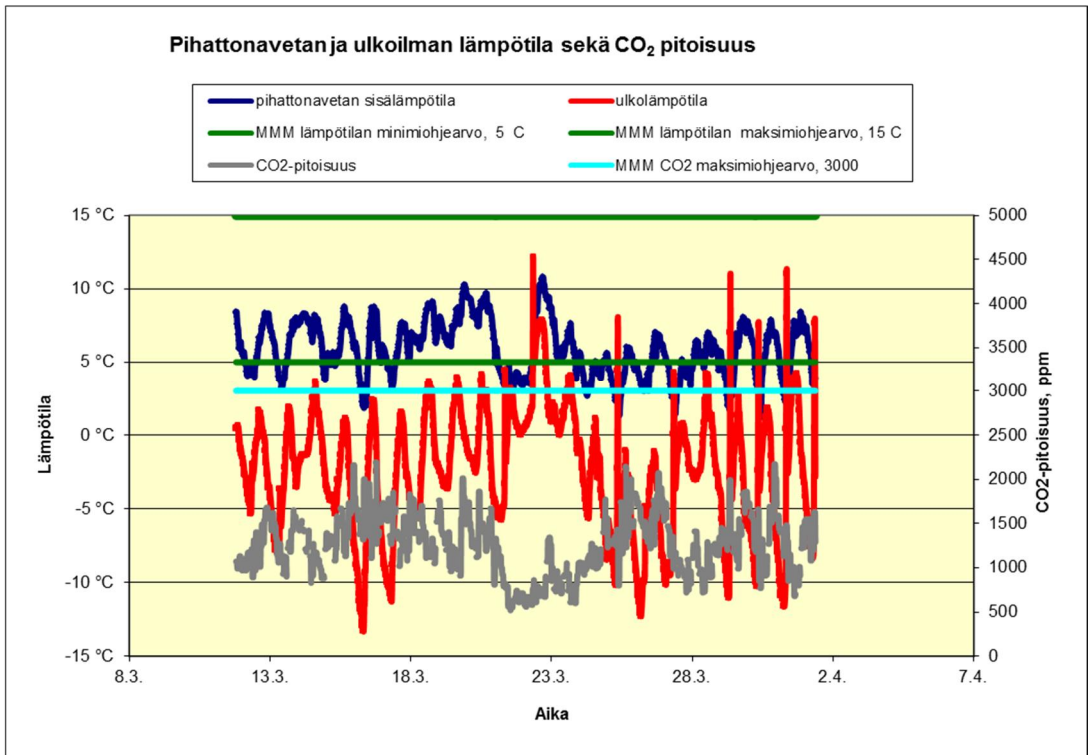


Kuva 114. Mittausanturit (lämpötila, kosteus ja CO₂).

4.4.2 Mittaustulokset

Lämpötila ja CO₂-pitoisuus

Kuvassa 115 on mitatut sisä- ja ulkoilman lämpötilat sekä CO₂-pitoisuus. Kuvaan on myös merkitty MMM-RMO C2.2:n CO₂-pitoisuuden maksimiohjearvo sekä lämpötilan minimi- ja maksimiohjearvot (lehmä).



Kuva 115. Ilman lämpötilät ja CO₂-pitoisuus seurantajakson ajalta.

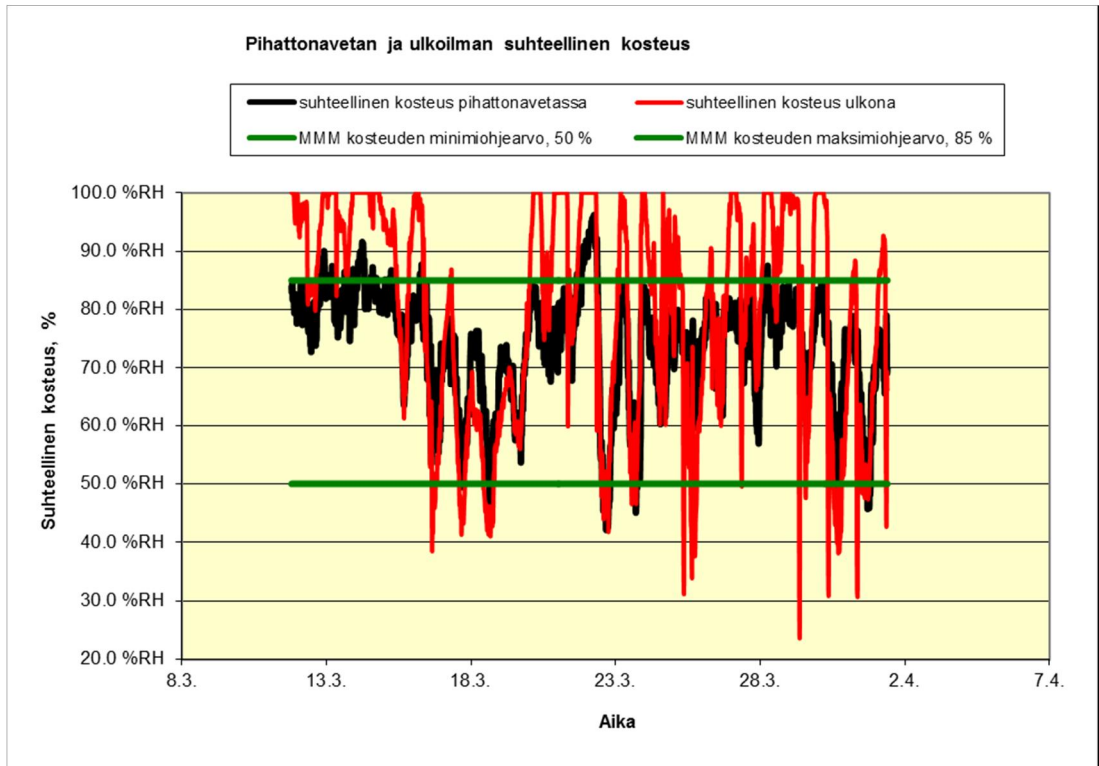
Kuvan mukaan pihatton sisäilman lämpötilä oli mittausjaksolla optimialueen sisällä yli puolet mittausajasta. Sisälämpötilä ei mennyt pakkasen puolelle.

CO₂-pitoisuuden nousut (mm. 15.–16.3. ja 25.–26.3.) kovimpien pakkasten aikana johtuvat siitä, että verhoseinät ovat säädetty lähes minimiasentoon, jolloin ilmanvaihto on pienentynyt ja CO₂-pitoisuus on noussut hetkellisesti. CO₂-pitoisuus jäi silloinkin selvästi ohjearvon 3000 ppm alapuolelle.

Ilman suhteellinen kosteus

Kuvaan 116 on merkitty mitatun sisä- ja ulkoilman suhteelliset kosteudet. Kuvaan on myös merkitty MMM-RMO C2.2:n suhteellisen kosteuden ohjearvot.

4. Kohdemittaukset ja ilmanvaihdon parantamisen keinot

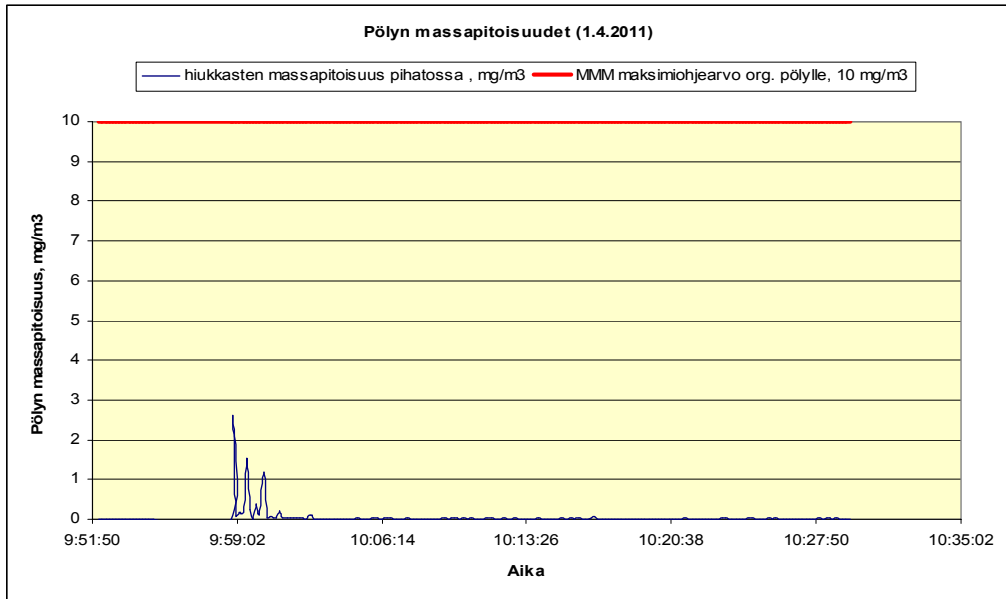


Kuva 116. Ilman suhteellinen kosteus seurantajakson ajalta.

Kuvan mukaan sisäilman suhteellinen kosteus oli ohjearvon rajoissa lähes koko mittausseurannan ja ylitti seurantajakson aikana maksimiohjearvon 85 % vain hetkellisesti. Talvella absoluuttinen kosteus on niin pieni, ettei siitä ole haittaa toiminnoille.

Hiukkas- ja pölypitoisuus

Kuvassa 117 on esitetty pölypitoisuuden mittaustulokset. Mittauksessa ovat mukana kaikki ilmassa leijuvat hiukkaset (orgaaninen ja epäorgaaninen pöly).



Kuva 117. Pölypitoisuus.

Mittausaika oli lyhyt, mutta kuvasta havaitaan hiukkaspitoisuuden olevan pieni (< 3 mg/m³) verrattuna maksimiohjearvoon. Mittauspaikka oli käytävällä, koska sähköä ei saatu pihaton puolelta mittauksen aikana.

4.4.3 Tulosten tarkastelu

Pihaton sisäilman lämpötila oli mittausjaksolla optimialueen sisällä yli puolet mittausajasta. Sisälämpötila ei mennyt pakkasen puolelle. CO₂-pitoisuuden nousut kovimpien pakkasten aikana johtuivat siitä, että verhoseinät ovat säädetty minimiasentoon, jolloin ilmanvaihto on pienentynyt ja CO₂-pitoisuus on noussut hetkellisesti. CO₂-pitoisuus jäi silloinkin selvästi ohjearvon 3000 ppm alapuolelle. Sisäilman suhteellinen kosteus oli ohjearvon rajoissa lähes koko mittausseurannan ja ylitti seurantajakson aikana maksimiohjearvon 85 % vain hetkellisesti. Talvella absoluuttinen kosteus on niin pieni, ettei siitä ole haittaa toiminnoille.

Hiukkaspitoisuus pihatonssa oli erittäin pieni verrattuna maksimiohjearvoon. Mittausaika oli lyhyt. Mittauspaikka oli käytävällä, koska sähköä ei saatu pihaton puolelta mittauksen aikana. Mitattu pitoisuus ei kerro luotettavasti koko pihaton puolen pitoisuutta.

5. Painovoimaisen ilmanvaihdon mitoitussuositus

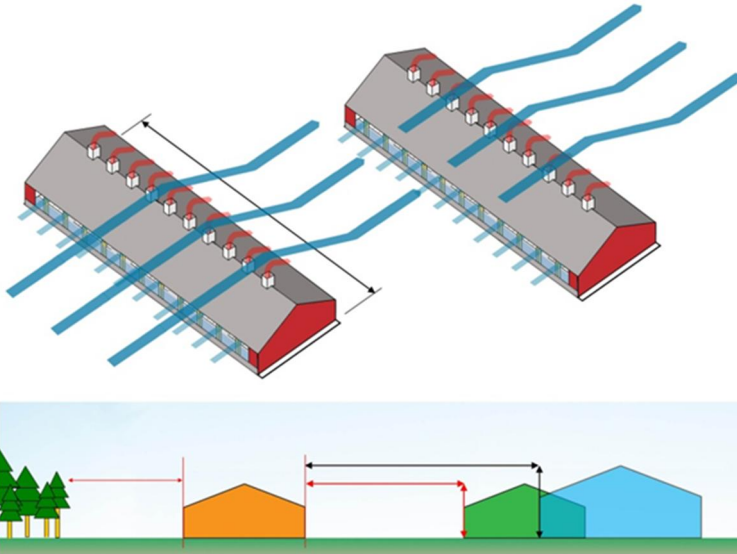
5.1 Rakennuksen sijoittelu

Painovoimaisen ilmanvaihdon suunnittelu alkaa rakennuksen oikean paikan valinnalla. Suunnittelutilanteet, maaston muodot, peitteisyys ja tuulisuus vaihtelevat maamme eri osissa. Silti muutamia nyrkkisääntöjä voidaan antaa.

Pihatton sisäilmaolosuhteet muodostuvat tuulisuuden ja auringonpaisteen yhteisvaikutuksesta. Rakennus kannattaisi ilmanvaihdon näkökulmasta suunnata sivuseinä kohti vallitsevia tuulia eli harjalinja luode-kaakkosuuntaisesti. Auringonpaiste ja päivän kuumin hetki sijoittuvat yleensä iltapäivään, jolloin rakennus kannattaisi suunnata niin, että varjostava ominaisuus on tehokkaimmillaan iltapäivällä eli harjalinja lounas-koillisuuntaiseksi. Näiden kompromissina harjalinja kannattaa suunnata pohjois-eteläsuuntaiseksi, jolloin varjostus on keskipäivällä hyvä, sivuseinät saavat osakseen vallitsevia tuulia ja pääty suojaa kylmiltä pohjoistuulilta.

Laajenevien maitotilojen tuotantoyksikkö koostuu useista rakennuksista. Tällöin ilmanvaihdon näkökulmasta rakennusten keskinäisellä sijoittelulla vaikutetaan tuulten käyttäytymiseen ja ilman vaihtuvuuden tehokkuuteen. Rakennusten sijoittelusta on amerikkalainen ohje kuvassa 118. Esimerkki ohjeen käytöstä: Jos laajennuseläinhalli tehdään nykyisen 7,5 m korkean ja 75 m pitkän hallin viereen, niiden väliin olisi jätettävä 24 m vapaata tilaa ilmanvaihdon toimivuuden näkökulmasta. Paloteknisessä mielessä 15 m on minimiraja.

naapurirakennuksen pituus, metriä	naapurirakennuksen korkeus, metriä			
	6	7,5	9	10,5
30	22	22	22	22
60	22	22	24	25
75	22	24	25	29
100	24	25	29	33
120	27	30	33	36
150	30	33	38	41
300	42	48	53	58



Kuva 118. Rakennusten väliset etäisyydet tulee valita olemassa olevien rakennusten pituuden ja korkeuden perusteella. Näin rakennusten väliin jätetään alue, jossa tuulet huuhtelevat tasaisesti eri rakennuksia. Myös uudisrakennusta lähellä oleva metsä ja sen korkeus on syytä ottaa huomioon sijoittelua ratkaistaessa.

5.2 Uudisrakennukset

Luonnollisen ilmanvaihdon mitoitukseen ja aukkojen suunnitteluun on saatavissa useita ulkomaisia lähteitä. Yhteistä niille on sijoittuminen pohjoiseen tai lauhkeaan ilmastovyöhykkeeseen, mutta lähestymistavat ja mitoitushjeet poikkeavat toisistaan. Seuraavassa tarkastellaan Ruotsin, Tanskan, Kanadan ja USA:n mitoitussuosituksia.

Ruotsi

Sveriges lantbruksuniversitet (SLU) on 1995 julkaissut suunnitteluohjeen Dimensionering av naturligt ventilation (Anders Ehrlmark). Ohje perustuu huolelliseen

5. Painovoimaisen ilmanvaihdon mitoitussuositus

aerodynamiikan ja ilmafysiikan soveltamiseen ja mitoitus perustuu tarkkoihin ma-temaattisiin kaavoihin. Ohje soveltuu asiantuntijalle, mutta maallikolle lukuisat kaavat saattavat tuottaa vaikeuksia.

Tanska

Tanskalainen mitoitus (kuva 119) perustuu eri-ikäisten eläinten lämpötuoton aiheuttamaan ilmanvaihutarpeeseen. Mitoituksessa tarvitaan eläinten lukumäärä, lämpötuotto ja rakennuksen harjakorkeus, jonka tuloksena saadaan poistoaukko-pinta-ala. Tuloaukkoja on joko yhtä paljon kuin poistoaukkoja, yleensä kuitenkin paljon enemmän. Taulukot on laadittu sekä lypsylehmille että hiehoille. Taulukkojen avulla maallikko pystyy suhteellisen helposti päättämään ilmanvaihtoaukkojen pinta-alatarpeen.

Tanskalainen mitoitustapa				lypsykarjapihatto 140 lehmää			
Lämmöntuottokerroin (hpu) 1 hpu = 1000 Wattia +20 °C asteessa							
Eläinryhmä	paino, kg	hpu / eläin	wattia	harjakorkeus, m	lämpöeristetty rakennus tulo- ja poistoaukkojen pinta-ala, m ² /hpu	lämpöeristämätön raken- nus tulo- ja poistoaukkojen pinta-ala, m ² /hpu	lämpöeristämätön raken- nus täytepohjaratkaisu aukkojen pinta-ala, m ² /hpu
vasikka, 0 - 6 kk	50	0,12	120	3	0,16	0,22	0,27
	75	0,18	180	4	0,13	0,19	0,23
	100	0,23	230	5	0,12	0,17	0,21
nuori sonni, 6 - 15 kk	200	0,42	420	6	0,11	0,15	0,19
	300	0,58	580	7	0,1	0,14	0,17
	400	0,72	720	8	0,1	0,13	0,16
	500	0,86	860				
hieho, 6 - 15 kk	200	0,37	370				
	300	0,52	520				
	400	0,65	650				
hiehot ja umpilehmät	400	0,72	720				
	500	0,8	800				
	600	0,88	880				
lypsylehmä 20 kg tuotos	400	1,08	1080				
	500	1,16	1160				
	600	1,24	1240				
	700	1,32	1320				
lypsylehmä 30 kg tuotos	400	1,38	1380				
	500	1,46	1460				
	600	1,54	1540				
	700	1,62	1620				
Laskentaesimerkki: 120 lypsylehmää ja 20 umpilehmää							
eläinryhmä	lukumäärä	lämpöeristetty rakennus	lämpöeristämätön rakennus				
		harjakorkeus 7 m	harjakorkeus 7 m				
lehmät 20 kg	90	11,88	16,632				
lehmät 30 KG	30	4,86	6,804				
umpilehmät	20	1,76	2,464				
		aukkopinta-ala, m²	18,5	25,9			

Kuva 119. Tanskalainen esimerkkimitoitus 140 lypsylehmän hallille. Aukkopinta-ala harjalla on viileäpihatossa 18,5 m² ja kylmäpihatossa 25,9 m². Pinta-alat tarkoittavat erikseen tuloaukkoja ja poistoaukkoja. Tuloaukot tanskalaisessa pihatossa ovat tunnetusti verhoseiniä, joiden pinta-ala on moninkertainen poistoaukkoihin nähden. Jos pihatton kokonaisalaksi oletetaan 15 m²/lehmä, saadaan alaksi 2100 m². Viileäpihaton poistoaukkoja on siten 18,5 / 2100 = 0,88 % ja kylmäpihatossa 25,9 / 2100 = 1,23 % lattiapinta-alasta laskettuna.

Kanada

Kanadalaisia mitoituksia on annettu Canada Plan Servicen ohjeissa M-9760 ja M-9765 (Canada Plan Service 2010a, 2010b). Ohjeet on jaoteltu eri eläinlajeille ja maantieteellisesti Kanadan eri provinssien alueille, mistä syystä mitoitukset vaihtelevat jossain määrin. Lypsylehmille luvut ovat seuraavat:

- Aukkopinta-alaa sivuseinillä tulee olla $0,6 \text{ m}^2/\text{lehmä}$.
- Poistoaukkoa harjalla $0,03 \text{ m}^2/\text{lehmä}$.
- Hormeja suositellaan 1/10 lehmää, hormin pinta-ala saadaan edellisistä luvuista.
- Hormien etäisyys toisistaan enintään 7 m, mutta sopivasti sovitettuna rakennuksen kehäjakoon.

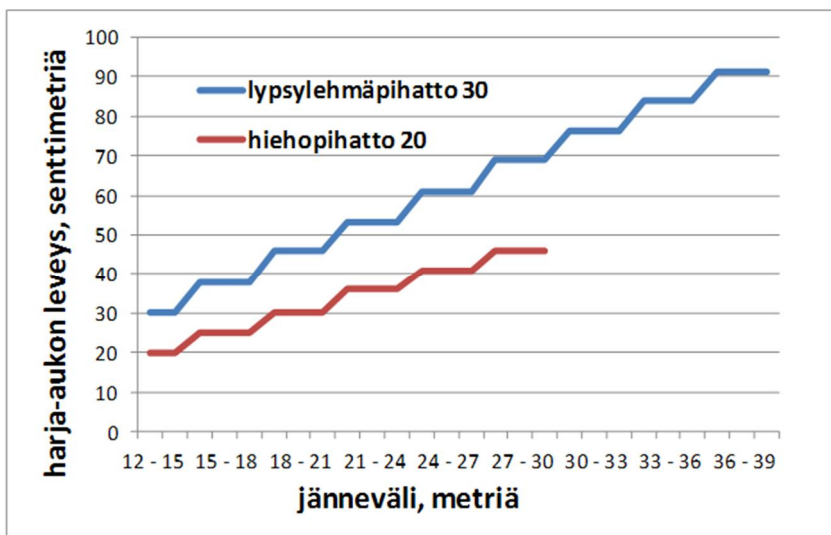
Lisäksi Ontarion maatalousministeriö on antanut erillisen mitoitussuosituksen lypsykarjarakennuksille. Se vastaa suurelta osin Suomen talviolosuhteita. Ontarion mitoitussuositus antaa poistoaukkoalan lattiapinta-alaa kohden. Poistoaukoiksi suositellaan ensisijaisesti hormeja, mutta avoharjakin on hyväksyttävissä.

- Poistoaukkoa harjalla 0,5 % lattiapinta-alasta, kun sisäkatto on ulkokaton suuntainen.
- Poistoaukkoa harjalla 1 % lattiapinta-alasta, jos katto on ristikkorakenteinen ja hormi menee ullakko-ontelon läpi vesikatolle.
- Hormeja suositellaan 1 kpl jokaista alkavaa 1356 m^2 :ä kohden.
- Hormien etäisyys toisistaan enintään 7 m, mutta sopivasti sovitettuna rakennuksen kehäjakoon.

Otetaan esimerkkilaskelmaan 140 lehmää. Sivuseinillä tarvitaan tuloaukkoa $140 \times 0,6 \text{ m}^2 = 84 \text{ m}^2$ eli $44 \text{ m}^2/\text{puolisko}$. Jos rakennuksen pituus on 72 m ja verhoalueen pituus 60 m, saadaan verhon korkeudeksi $44 \text{ m}^2/60 \text{ m} = 73 \text{ cm}$. Poistoaukkoja tarvitaan $0,03 \text{ m}^2 \times 140 = 4,2 \text{ m}^2$. Hormeja tarvitaan 14 kpl, jolloin hormikooksi tulee $0,3 \text{ m}^2$, joka vastaa $60 \times 60 \text{ cm}$ hormia. Rakennuksen harjalla hormit sijoittuvat noin 5 metrin välein. Ontarion mitoitussuosituksen mukaan päädytään käytännössä samoihin lukuihin.

USA

USA:ssa luonnollisen ilmanvaihdon mitoitussuhteita ovat julkaisseet useat maatalousalan yliopistot, ja ne jakautuvat USA:n eri ilmastovyöhykkeille. Pohjoisamerikkalainen MWPS (Mid-West Planning System = Wisconsin, Illinois, Michigan ja Pennsylvania) -mitoitussuhteita osoittaa poistoaukon leveyden rakennuksen jännevälin suhteen sekä lypsykarkalle että hiehoille (kuva 120). Poistoaukko tarkoittaa tässä tapauksessa jatkuvaa avoharjaa. Poistoaukon prosenttiosuus lattia-alasta pysyy vakiona, mutta aukon leveys kasvaa suhteessa jännevälin kasvuun.



Kuva 120. Harjapoistoaukon leveys pohjoisamerikkalaisen MWPS:n ohjeen mukaan. Hiehopihattojen ei oleteta olevan yhtä leveitä kuin lypsylehmähallit.

Verhoseinien mitoituksessa on pari nyrkkisääntöä:

- Verhoalueen tulisi olla mahdollisimman laaja kesäilmanvaihdon riittävyyden takaamiseksi.
- Verhon korkeuden tulee olla vähintään 3 metriä.
- Leveissä 3 + 3 -rivisissä ja läpiajettavilla ruokintapöydillä varustetuissa pi-hatoissa verhoalueen korkeus 3,6–4,2 metriä.
- Räystäään pituuden tulee 1,0–1,2 metriä lumen, jään, sateen ja auringon varjostuksen vuoksi.

Suomalainen suositus

Edellä kuvatuista ulkomaisista mitoitussuosituksista havaitaan maantieteen ja ilmaston vaikutus annettuihin lukuihin. Laskentatavat perustuvat joko eläinhallissa olevaan eläinlämpöön (Tanska) tai rakennuksen jänneväliin ja korkeuteen (Kanada, USA). Ruotsissa aukkopinta-ala voidaan johtaa matemaattisen tarkasti.

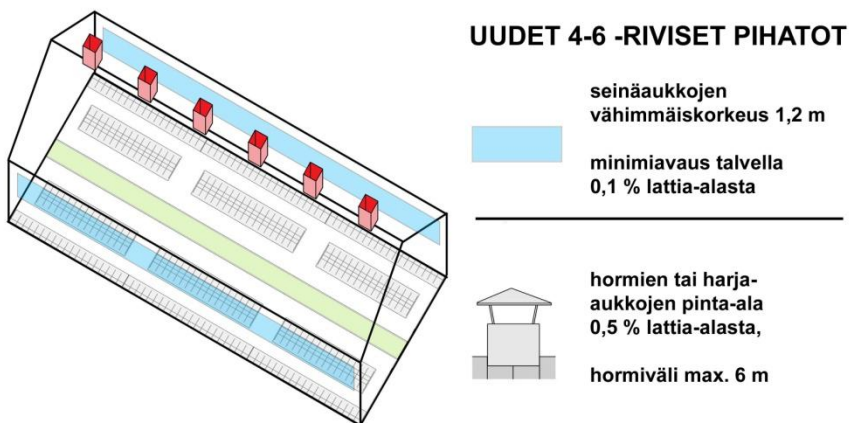
Tuloaukkoja ei kannata mitoittaa minimiin, koska sivuseinien verhoalueet ovat kuitenkin laajempia kuin minimin edellyttämä pinta-ala. Riittää, että verhoalue on mahdollisimman laaja kesäilmanvaihdon näkökulmasta. Niinpä eri maiden mitoitussuosituksia kannattaa vertailla yhtenäistämällä poistoaukkopinta-alarive prosenttiluvuksi lattiapinta-alasta. Havaitaan, että lauhkeammilla vyöhykkeillä aukkoa on enemmän ja pohjoisemmilla alueilla vähemmän:

- Tanskassa 0,88 % lämpöeristetyin pihatton lattiatilasta ja 1,23 % kylmäpihatton lattiatilasta.
- Kanadassa (Ontario) vähintään 0,5 % lattiatilasta
- USA:ssa 2,46 % lypsylehmillä ja 1,64 % hiehoilla lattiatilasta

Kanadalaisen mitoitussuosituksen yleisohje kuuluu: ”Make it simple.” Toisin sanoen mitoituksen tulee perustua yksinkertaiseen nyrkkisääntöön, joka ei edellytä laskentamallia tai tietokoneohjelmaa. Suomalaisen nyrkkisääntöön määrittelyn pohjaksi voidaan ottaa ilmasto-olosuhteiltaan kanadalaista mallia vastaava tilanne sovellettuna muiden esimerkkimaiden malleista ja yhdistettynä MMM:n asetuksen 163/2012 savunpoistolle annettuun vaatimukseen. Savunpoistoa käsitellään tarkemmin seuraavassa luvussa (6. Lypsykarjarakennusten savunpoisto).

Suositus uudisrakennuksiin

- Sivuseinien verhot toteutetaan mahdollisimman laajoina, minimikorkeus 1,2 m.
- Poistoaukkojen pinta-ala 0,5 % lattiatilasta lypsylehmäpihattoissa (kuva 121).
- Seinä-aukkojen avaus talvella 0,1 % lattiatilasta. Tämä vastaa tavallisesti noin 2 cm rakoa koko sivuseinien pituudella, sisältäen vuotoilmaroot seinärakenteissa sekä verhon ja seinän saumakohdissa.
- Avoharjan ja kasvihuoneharjan sijaan suositellaan hormien käyttöä.
- Valonsaantia varten kattoon voidaan asentaa kiinteitä ikkunoita.
- Poistoaukkojen pinta-ala 0,25 % lattiatilasta vasikka- ja hiehoasvattamoissa.



Kuva 121. Uusien pihattonavetoiden ilmanvaihdon mitoituksen periaate.

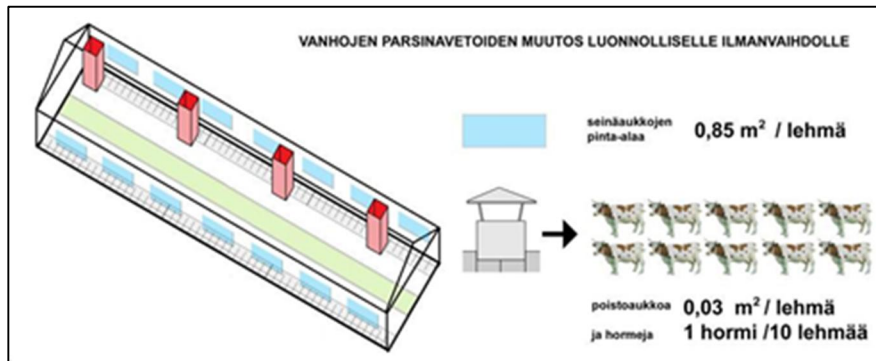
5.3 Korjauskohteet

Korjauskohteilla ymmärretään vanhempia parsinavettoja, joiden ilmanvaihto on perinteisesti ollut koneellinen ja joita muutetaan luonnolliselle ilmanvaihdolle. Vanhojen parsinavettojen lehmäkohtaiset neliömetrit ovat pienemmät kuin nykyaikaisissa pihatoissa. Samalla huonekorkeus on paljon matalampi ja ilmatilavuus eläintä kohden on pienempi.

Suositus korjauskohteisiin (vanhat alipaineilmastoidut navetat)

Vanhojen parsinavetoiden muutoksille on olemassa kanadalainen mitoitushoje, jota voidaan soveltaa Suomen sääoloihin. Aukkopinta-alavaatimus on suurempi kuin pihatoissa, koska pinta-ala-tilavuussuhde lehmää kohden on niukempi. Ontarion mitoitushoje:

- Aukkopinta-alaa sivuseinillä tulee olla $0,85 \text{ m}^2/\text{lehmä}$ (kuva 122).
- Poistoaukkoa harjalla $0,03 \text{ m}^2/\text{lehmä}$.
- Hormeja suositellaan 1/10 lehmää, hormin pinta-ala saadaan edellisistä luvuista, kun ensin lasketaan korjauskohteessa oleva lattiapinta-ala lehmää kohden.
- Hormien etäisyys toisistaan enintään 7 m ja sopivasti sovitettuna rakennuksen kehäjäkoon.



Kuva 122. Peruskorjattujen pihattonavetoiden ilmanvaihdon mitoituksen periaate.

Otetaan esimerkiksi aikaisemmin luvussa 4.3 mittauskohteena oleva suomalainen 40 lehmän pihatto. Sivuseinillä tulisi olla aukkopinta-alaa $0,85 \text{ m}^2 \times 40 = 34 \text{ m}^2$. Navetassa on 26 ikkunaa, joiden kunkin pinta-ala on $1,2 \text{ m}^2$. Ikkunoita on 34 m^2 , joten nykyiset ikkuna-aukot riittävät ilman tuloaukoiksi. Poistohormialaa tarvitaan $0,03 \text{ m}^2 \times 40 = 1,2 \text{ m}^2$. Navetassa on kaksi 60 cm läpimittaista poistohormia, joiden yhteenlaskettu pinta-ala on $0,56 \text{ m}^2$. Uusia hormoneja tarvitaan 2–3 kpl eli vahoja ja uusia yhteensä 4–5 hormia. Kanadalaisen mitoitussuosituksen mukaan desi-

maalit pyöristetään aina ylöspäin eli suurempaan lukuun. Tässä tapauksessa viisi hormia täyttäisi riittävän poistokapasiteetin, ja samalla täyttää ehdon yksi hormi per kymmenen lehmää. Luvussa 4.2 tehty simulaatiolaskenta osoitti samansuuntaisen lopputuloksen

6. Lypsykarjarakennusten savunpoisto

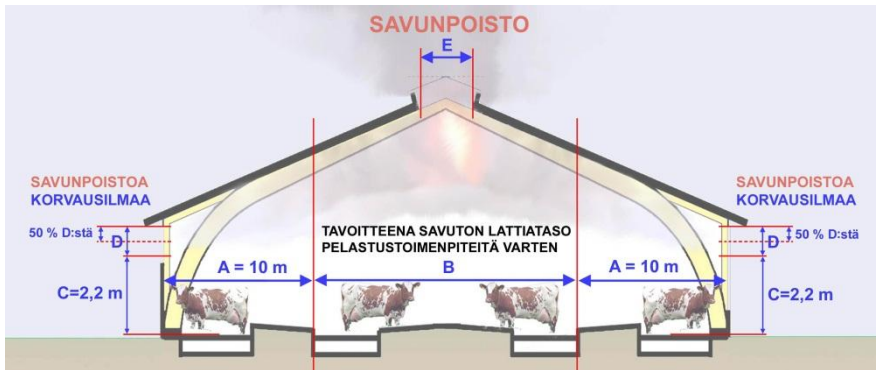
6.1 Savunpoisto uusissa pihatoissa

Savunpoistoon on uusissa isoissa eläinhalleissa kiinnitettävä aikaisempaa enemmän huomiota. Tulipalotutkimuksissa on todettu, että nautojen pelastaminen olisi useissa paloissa ollut mahdollista, elleivät naudat olisi taintuneet savuun ja menettäneet toiminta- ja liikkumiskykyään. Palon sattuessa savunpoisto vaikuttaa siten ratkaisevasti siihen, että eläinhallin alaosa säilyy mahdollisimman pitkään savuttomana ja pelastushenkilökunta kykenee toimimaan ja siirtämään eläimiä rakennuksen ulkopuolelle.

Tuotantorakennusten palomääräykset on annettu Suomen Rakentamismääräyskokoelman osassa E2 (Tuotanto- ja varastorakennusten paloturvallisuus). Määräysten mukaan savunpoisto voidaan toteuttaa koneellisesti tai painovoimaisesti. Verhoseinäratkaisu suunnitellaan normaalissa käyttötilanteessa toteuttamaan ilmanvaihdon tehtävää. Palotilanteessa samoja ilman tulo- ja poistoaukkoja voidaan käyttää savunpoistoon, mutta suunnitteluvaiheessa poistoaukkopinta-alasta on tehtävä tarkistava mitoituskalkelma.

Savunpoiston mitoituksessa on käytettävä sekä Rakentamismääräyskokoelman E2:n ohjeita että MMM:n asetusta 163/2012. Asetuksen mukaan tuetussa rakentamisessa poistoaukkojen pinta-alan on oltava vähintään 1 % lattia-alasta. Savunpoistoaukoiksi voidaan katossa olevien hormien tai aukkojen lisäksi hyväksyä vain yli 2,2 m korkeudella lattiatasosta olevat ulkoseinän aukot. Seinäaukkojen laskeaan poistavan savunmuodostusta rakennuksen poikkisuunnassa enintään 10 m etäisyyteen asti. Lisäksi seinäaukkojen korkeudesta vain puolet hyväksytään poistoalaksi, koska toisesta puolikkaasta tulee korvausilmaa tilalle. Tuulitilanteiden vaihdeltaessa rakennuksen toinen sivu saattaa käytännössä kokonaan muodostua tuloaukoksi ja toinen puoli poistoaukoksi. Jos rakennus on yli 20 m leveä, rakennuksen keskivyöhykkeen savunpoiston täytyy perustua yksinomaan katossa oleviin poistoaukkoihin. Savun poistumisen kannalta harjapisteessä olevat poistoaukot toimivat tehokkaimmin.

Ilmanvaihdon näkökulmasta uusissa vinolaipioisissa pihatoissa harja-aukkojen pinta-alaksi riittää 0,5 % lattia-alasta, ja savunpoiston kannalta aukkopinta-alavaatimus on 1 % lattia-alasta. Jos harja-aukoiksi valitaan vain ilmanvaihdon määrittelemä määrä hormoneja, kannattaa puuttuva savunpoistoaukkopinta-ala järjestää esimerkiksi avattavan ison päätyikkunan avulla.



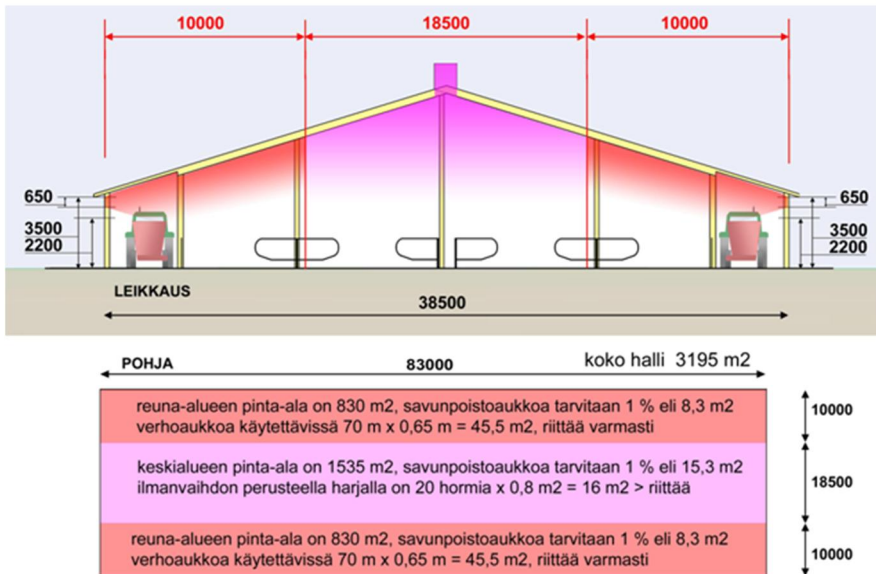
Kuva 123. Savunpoiston tehtävänä on pelastustilanteessa taata savuton ilmatilavuus, jossa eläinten pelastaminen on mahdollista. Seinillä olevista aukoista savunpoistoon hyväksytään vain luvun C (2,2 m) ylittävä osa D, josta vain 50 % lasketaan poistoaukoksi. Seinäaukkojen kautta lasketaan poistuvaksi vain 10 m etäisyyteen ulottuvan alueen savunmuodostus. Harjalla olevat aukot hoitavat B-alueen savunmuodostuksen ja käytännössä enemmänkin, koska savu luontaisesti nousee ylöspäin. Savunpoistoaukkojen pinta-alavaatimus on vähintään $1 \% \text{ lattia-alasta eli } E + 2xD/2$.

6.2 Savunpoiston mitoitusesimerkki

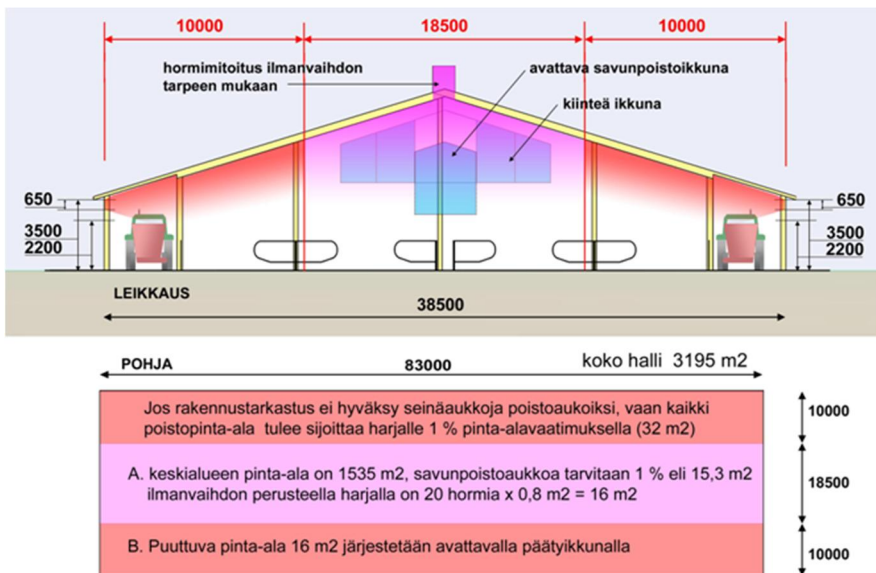
Mitotusesimerkissä on 2-robottinen pihatto, jonka pituus on 83 metriä ja runkoleveys 38,5 metriä eli yhteensä 3195 m^2 . Pihatto on 3 + 3 -rivinen ja ruokintapöydät ovat läpiajettavaa sisätilaa rakennuksen ulkolaidoilla. Pitkien sivuseinien korkeus on 3,5 metriä, joka on samalla verhon maksimikorkeus lattiatasosta laskettuna.

Ilmanvaihdon perustella määrittyvä poistoaukkotarve on $0,5 \% 3195 \text{ m}^2$:stä eli 16 m^2 . Tämä voidaan toteuttaa erilaisilla aukkoratkaisuilla. Jos valitaan yhtenäinen jatkuva avoharja ja oletetaan sen pituudeksi 70 m, tulee avoharjan leveydeksi 22 cm. Jos valitaan $90 \text{ cm} \times 90 \text{ cm} = 0,81 \text{ m}^2$ hormeja, niitä tarvitaan 20 kpl.

6. Lypsykarjarakennusten savunpoisto



HARJA-AUKKOJEN MITOITUS ILMANVAIHDON JA SAVUNPOISTON PERUSTEELLA



HARJA-AUKKOJEN MITOITUS SAVUNPOISTON PERUSTEELLA

Kuva 124. Savunpoiston aukkomitoitus kannattaa yhdistää ilmanvaihdon mukaan laskettuihin aukkomääriin. Rakennuksessa on savunpoistomitoituksen näkökulmasta kolme vyöhykettä, kaksi yhtä suurta reunavyöhykettä ja keskivyöhyke. Molemmat reuna-alueet ovat $83 \times 10 \text{ m} = 830 \text{ m}^2$. Siitä savunpoiston osuus on 1 % eli $8,3 \text{ m}^2$. Oletetaan, että verhoalue ei ulotu aivan päädyistä päätyyn eli tehollista verhoaluetta on 70 m pituus, ja siitä savunpoistoon voidaan käyttää $0,65 \text{ m}$ korkeinen alue. Savunpoistoaukkoa on tällöin $70 \text{ m} \times 0,65 \text{ m} = 45,5 \text{ m}^2$. Huomataan, että sivuseinien aukkopinta-ala ylittää aukkotarpeen yli viisinkertaisesti. Keskivyöhykkeen pinta-ala on $83 \times 18,5 \text{ m} = 1535 \text{ m}^2$. Siitä savunpoistopinta-ala on 1 % eli $15,35 \text{ m}^2$. Ilmanvaihdon perustella laskettu aukkotarve on 16 m^2 , jolloin aiemmin lasketut 20 hormia riittävät savunpoistoa varten.

Tulipalotilannetta ei voi ennustaa. Se voi tapahtua kesällä, jolloin verhot ovat auki ja korvausilmaa virtaa vapaasti rakennukseen. Talvella verhot ovat lähes suljettuja, mutta palotilanteessa ne on hyvä saada ulkopuolelta avattua. Teoriassa seinäaukko toimii sekä korvausilman tulo- että savun poistoreittinä. Tositilanteessa ja etenkin tuulisuudesta riippuen osat voivat vaihtua siten, että vain toinen seinä toimii savun poistoreittinä ja toinen korvausilmareittinä. Tällöin olisi perusteltua vaatia, että kaikki savunpoistoaukot sijaitsevat harjalla tai ainakin rakennuksen yläosassa.

Pihattojen rakennustarkastuskäytännöissä voi esiintyä kunta- ja viranomaiskohtaisia tulkintaeroja. Mikäli rakennustarkastus edellyttää kaiken savunpoistopinta-alan järjestämistä vinolaiptoisen hallin yläosaan, ilmanvaihtoaukkojen pinta-alaa ei kannata ylimitoittaa. Tällöin savunpoistoa varten tarvittava lisäaukkopinta-ala on järkevää toteuttaa esimerkiksi rakennuksen päätyjen suuriin ikkunapintoihin rakennettavilla avattavilla ikkunoilla.

Seuraavassa kuvassa on esimerkki savunpoistoa varten rakennetusta avattavasta päätyikkunasta. Tosiasiallisesti savunpoistoikkunaa voidaan kesäolosuhteissa käyttää myös normaalina ilmanvaihtoreittinä.

6. Lypsykarjarakennusten savunpoisto

rakennuksen ulkopuolelta maantasosta
auki laukaistava savunpoistoikkuna



7. Näkökulmia ilmanvaihdon detaljisuunnitteluun ja käyttöön

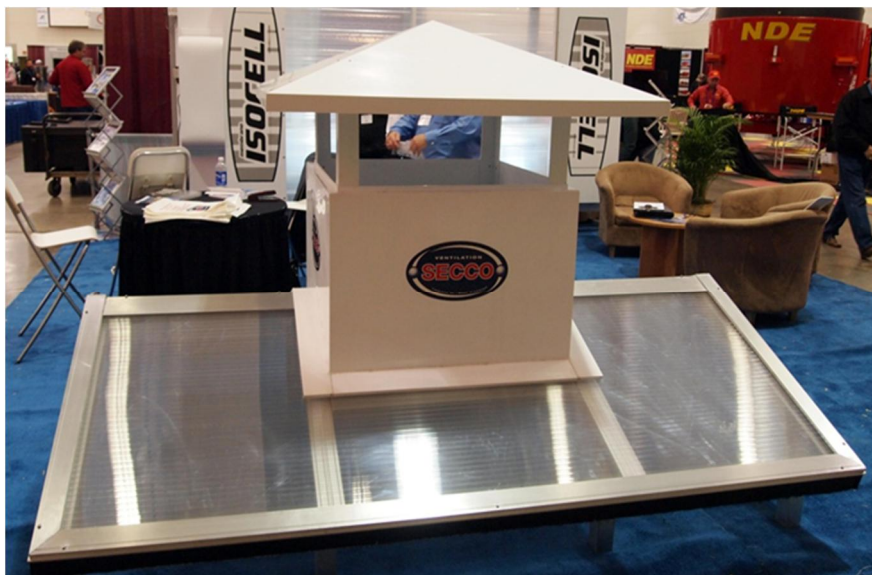
7.1 Painovoimaisen ilmanvaihdon kehitystrendit nautarakennuksissa

Pitkässä historiallisessa tarkastelussa kotieläinrakennuksissa on perinteisesti ollut painovoimainen ilmanvaihto. Koneellinen ilmanvaihto tuli navetoihin 1960-luvulla, kun rakennustekniset järjestelmät kehittyivät nopeasti. Painovoimaisuus palasi kylmäpihattojen myötä 1990-luvulla, mutta jäi marginaaliseksi ilmiöksi. Uusi tuleminen alkoi lämminpihatoista, joihin asennettiin säädettävä kasvihuonevaloharja ja tuloaukot seinien yläosiin liimapuupalkkien väleihin. Ensimmäinen verhoseinä asennettiin suomalaiseen lypsykarjarakennukseen vuonna 2004, ja nyt lukumääräksi arvioidaan yli 200. Verhon korkeus on kasvanut, ja nyt useat kohteet toteutetaan koko seinän korkuisina. Uusin trendi liittyy vanhoihin koneellisen ilmanvaihdon lämminpihatoihin, joita on alettu muuttaa painovoimaisiksi ratkaisuisi. Ikkunat on poistettu ja tilalle asennettu säädettävä verho. Tällöin poistohormien lukumäärää on samalla lisättävä. Painovoimainen verhoseinäilmanvaihto soveltuu lypsykarjarakennusten lisäksi nuorkarjarakennuksiin, vasikkataloihin ja lihakarjarakennuksiin.

Keskustelun keskiöön ovat nousseet myös ilman kulkua säätelevän rakenteen materiaaliset ominaisuudet, kuten U-arvo ja palokäyttäytyminen sekä vuodenaikojen vaihteluun ja käyttömukavuuteen liittyvät asennusdetaljit. Esimerkkirakennuksessa verhorakenteen osuus koko rakennuksen vaipasta (pois lukien lattia) on alle 10 %. Tällöin verhon osuus johtumislämpöhäviöistä on 40 %. Johtumislämpöhäviöt ovat alle puolet ilmanvaihdon lämpöhäviöistä. U-arvon kasvattamisella ei saavuteta oleellista parannusta sisäilmaolosuhteisiin, vaan ainoastaan aiheutetaan lisäinvestointi, jonka takaisinmaksu kestää pidempään. U-arvoltaan verhoa paremman kennolevyn tai paljeseinän käyttö voi olla perusteltua niissä pihaton osissa, joissa eläinkuorma ei ole tasaista tai vaihtelee suuresti, esimerkiksi sairasa- ja poikimaosasto, kokoomatila ja lypsyasema.

Avattavista valoharjoista on paikoin negatiivisia kokemuksia, mistä syystä muutamissa kohteissa niitä on muutettu hormiratkaisuiksi ja valoharja ruuvattu kiinteäksi. Jos pihaton keskialueelle halutaan luonnonvaloa, harjalle tai lappeelle voi-

daan toteuttaa kiinteä ikkuna ja ilmanvaihtoa varten asentaa hormit. Hormiratkaisu on tuulen vaikutukselle neutraalimpi ja tuottaa tasaisemman vaihtuvuuden eikä ns. takaisinvirtausta esiinny. Poikkileikkaukseltaan pyöreä hormi on virtausteknisesti parempi kuin kulmikas. Neliö tai suorakaide on helpompi asentaa vesikattorakenteeseen ja liitoksista saadaan tiiviimmät. Hormin alareunan tulee sijaita lämpöeristetyin katon alapinnassa, ei alempana navettatilassa, koska silloin katonrajaan jää tuulettumattomia osia, ks. kuva 123.



Kuva 123. Markkinoilla on kiinteitä valokateratkaisuja, joissa on integroitu hormi.

Verhoseinäisen painovoimaisen ilmanvaihdon heikkona lenkinä ovat koettu olevan talviolosuhteet ja niiden hallinta. Kyselytutkimuksen perusteella talvi ei ole hankalin aika, jos vesikupit on varustettu lämmityksellä ja lannanpoisto saadaan hoidetuksi myös kireimmillä pakkasilla. Tulevaisuuden haasteena ovatkin kesähelteet ja niiden hallinta. Pihatoissa tulee lisääntymään ilman kierrätys vaakapuhaltimilla (kuvat 124 ja 126) tai helikopteriroottoreilla (kuva 125), mahdollisesti myös viilentävät karjasuihkut.



Kuva 124. Vaakapuhaltimet sijoitetaan ruokintapöydän suuntaisesti ja käännetään puhaltamaan alaviistoon. Puhaltimien välinen etäisyys on kymmenen kertaa puhaltimen halkaisija.



Kuva 125. Kesäaikaiseen viilennykseen on valittavissa myös kattoon sijoitettava helikopterisekoitin. Jos kantavat rakenteet estävät helikopterin, kattoon on saatavissa sivuille heittävä tehopuhallin, johon voidaan tarvittaessa yhdistää kostutus-suuttimet.



Kuva 126. Kesäaikaista viilennystä saadaan myös siirrettävillä puhaltimilla.

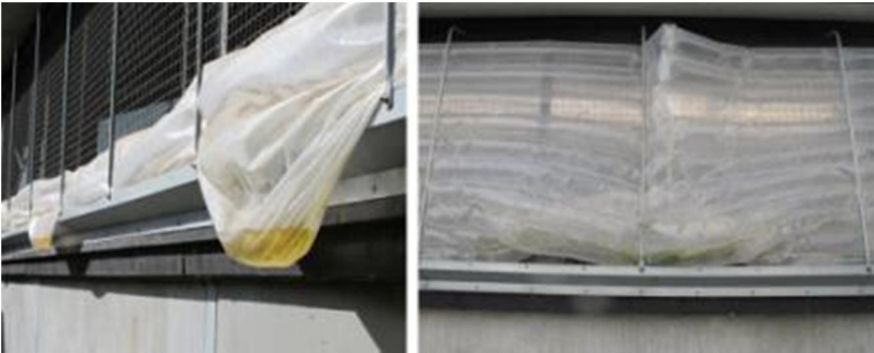
7.2 Huolto

Verhojen ja hormien toiminta perustuu varsin yksinkertaiseen tekniikkaan. Niiden käyttö on helppoa ja aika huoltovapaata. Verho itsessään on ohutta materiaalia ja voi kuitenkin vaurioitua mekaanisesti tai hapertua uv-säteilyn vaikutuksesta (ks. kuvat 127 ja 128). Vaurioitumiseen vaikuttavat verhon toimintatapa, rullautuminen (ks. kuva 129) tai laskostuminen, likaantuminen, verhoon kondensoituva ja jäätyvä vesi (kuva 130), tuulen painevaihtelut ja jopa linnut. Räystäät kannattaa ulottaa vähintään metri seinälinjasta ulospäin (kuva 131), jotta katolta putoava lumi ei pakkaudu verhoalueen juureen, mistä voi aiheutua verhon repeilyä. Pitkät räystäät estävät myös putoilevia jääpuikkoja vahingoittamasta verhomateriaalia. Jos pihaton vieressä on jaloittelualue, se täytyy aidata ja erottaa verhoseinästä, jotta lehmät eivät vahingoita verhoa.

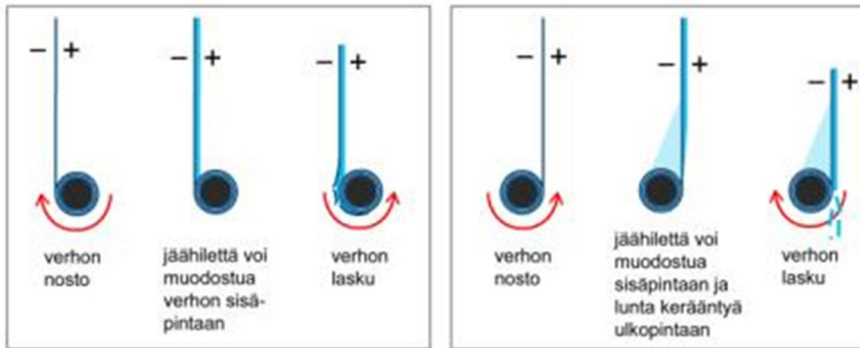
Verhomateriaalin vaihtoväli voi olla arviolta kymmenen vuotta, mutta nostomekanismien tulee kestää pidempään. Joissakin kohteissa on havaittu, että nostomekanismit on mitoitettu liian heikoiksi suhteessa verhon korkeuteen ja pituuteen.



Kuva 127. Kahdeksan vuotta vanha pohjoisamerikkalainen pihatto, jossa nosto-
mekanismi on vaurioitunut ja verhomateriaali osin repeillyt.



Kuva 128. Tanskalaisella tilalla oleva paljeseinä on kokenut kovia tuulen ja sateen
vaikutuksesta.



Kuva 129. Jos verhon korkeudensäätö perustuu rullautuvaan mekanismiin laskostuvan sijasta, voi Suomen sääolosuhteissa tapahtua talvella seuraavaa: Jos rulla on verhopinnan "sisäpuolella" (vasen kuva), verhoon härmistyvä kondenssivesi jäätyy levyksi, joka voi rullausvaiheessa rikkoa verhomateriaalin. Jos rulla on verhopinnan "ulkopuolella" (oikea kuva), verhoon syntyvän jäälevyn lisäksi rullan päälle voi pakkautua lunta, joka rikko verhoa. Rullautuvien mekanismien moottorit voidaan talven ajaksi kytkeä pois toiminnasta, jolloin verho laskostuu. Laskostuminen ei murra verhoa, koska talvisäätö tarkoittaa korkeussuunnassa 20–30 cm säätöä, jolloin verho ei mene vielä liikaa taitoksille tai joudu murtumatilaan.



Kuva 130. Esimerkki kondenssiveden muodostamasta jäälevystä verhon sisäpinnalla.



Kuva 131. Pitkät räystäät suojaavat lumen ja jääpuikkojen aiheuttamilta vahingoilta.

Kennolevy on suosittua pihaton niissä osissa, joissa halutaan korkeampaa sisälämpötilaa esimerkiksi lypsyasemissa tai vasikkatiloissa. Kuvan 132 esimerkissä kennolevyalueen alapuolisen seinän materiaaliksi on valittu uretaanieristeinen peltikasetti. Kesällä kennolevyt ovat olleet pääsääntöisesti avattuina eli peltikasetin edessä. Pellin ja kennolevyn välissä lämpötila on noussut huomattavan korkeaksi ja aiheuttanut pintapellin vääntyilemisen ja kasetti on osittain irronnut alustastaan. Kennolevyjä käytettäessä seinän materiaalivalintaan kannattaa kiinnittää huomiota esimerkiksi valitsemalla hyvin lämpöolojen muutoksia kestävää puuta (kuva 133). Kuvassa 134 on esimerkki kennolevyn tiivistyksestä ja avautumismekanismista.



Kuva 132. Kennolevyalueen alapuolisen seinän lämpötila on noussut kesällä korkeaksi ja aiheuttanut pintapellin vääntyilemisen ja kasetin kiinnitysruuvien kirkauksen.



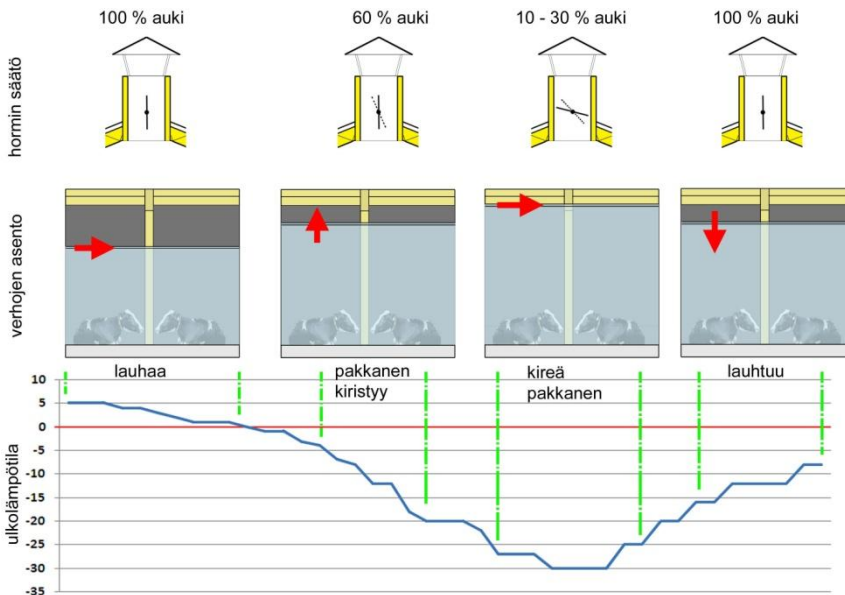
Kuva 133. Kennolevyalueen kiinteä alaosa on verhottu vaakasuuntaisella puulla.



Kuva 134. Kennolevyjen liitos ulkoseinään on toteutettu kumitiivisteillä. Metalliset avautumishjurit ulkonevat alaspäin, jolloin avautuva kennolevyalue irtoaa alareunastaan helpommin, jos siihen kertynyt kondenssivesi on talviolosuhteissa jäänyt kiinni.

7.3 Sääoloihin varautuminen, hormien ja verhojen käyttö

Verhot ovat täysin aukiasennossa toukokuusta syyskuun loppupuolelle. Käsisäädöllä toimittaessa verhojen asentoa muutellaan sääolojen mukaan pääosin vain syksy-talvi-kevätolosuhteissa. Säädot ajoittuvat aamu- ja iltalypsyjen aikaan. Ilta-toimien yhteydessä voidaan varautua esimerkiksi erityisen tuuliseen yöhön tai kiristyvään pakkaseen. Peruseriaatteena on se, että hormit pidetään täysin auki niin pitkään kuin mahdollista ja perussäätö tehdään verhoja sulkemalla tai avaamalla. Verhot saavat olla reilusti auki, kun ulkolämpötila on nollan yläpuolella. Kun pakkanen kiristyy, verhoja suljetaan tarpeen mukaan jättäen jäljelle kuitenkin muutamain sentin virtausaukko. Kireän pakkasjakson aikana verho suljetaan lähes kokonaan ja säätö tapahtuu sen jälkeen hormiläppää kuristamalla sopivassa määrin kuitenkin jättäen hieman virtausaukkoa jäljelle. Kun pakkanen lauhtuu, hormi avataan täysin auki ja perussäätö tapahtuu normaalisti verhojen korkeuden hallinnalla (kuva 135). Automaattiohjauksessa verhojen säätö tapahtuu reaaliajassa, mutta hormien säätö tehdään manuaalisesti vain kireimmillä pakkasilla.



Kuva 135. Esimerkkikaavio verhojen ja hormien säädöstä ulkolämpötilan muuttuessa.

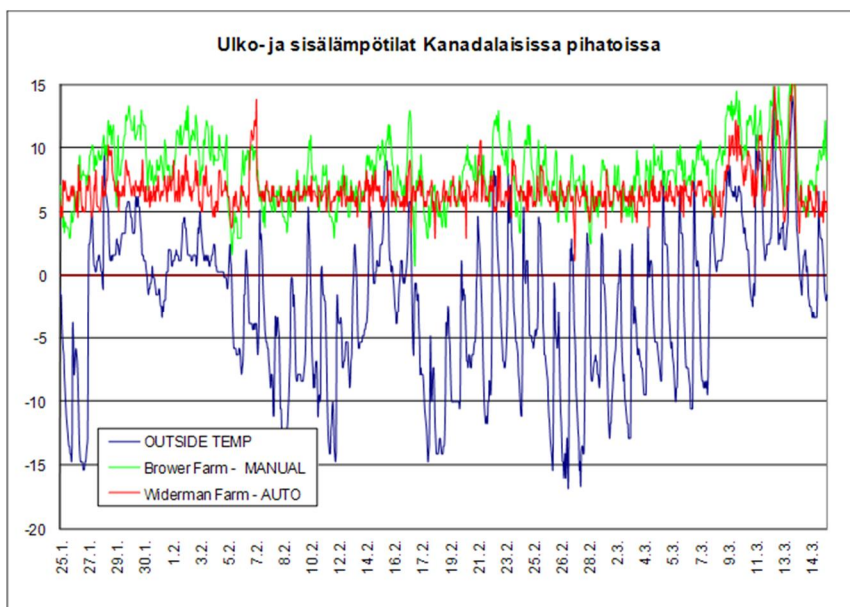
7.4 Automaatiikan vaikutus

Illanvaihdon säätö perustuu sisäilman lämpötila-anturiin ja valinnaisesti myös sääasemaan, joka antaa tuulen suunnan ja nopeuden sekä sadetunnistuksen.

Mikroprosessori säätää pihaton molempien puolten verhojen avautuvuutta. Kasvi-huoneharjaratkaisuissa ohjataan myös läppien avautuvuutta tuulen alapuolella.

Hormien säätöläpissä ei automatiikka juuri käytetä, koska läppien asentoa säädetään vain kylmimpinä pakkaskausina. Hormien automaattinen ohjaus ulkolämpötilan perusteella voisi kuitenkin helpottaa sisälämpötilan hallintaa kovilla pakkasilla, jos ulkolämpötila vaihtelee nopeasti. Tämä nähdään kuvasta 42 sivulla 51, jossa esimerkiksi verhojen pienintä virtausaukkoa 0,05 m vastaavat poistohormin avaukset 100 %...30 %, kun ulkolämpötila vaihtelee välillä $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$... $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Automatiikalla saavutetaan tarkempi sisälämpötilan pysyvyys. Asiaa tutkittiin 2006 verhoseinähankeessa (Kivinen et al. 2006), jolloin vertailtiin kahta kanadalaisista pihattoa, joissa toisessa oli automaattiohjaus ja toisessa ei (kuva 136).



Kuva 136. Vuoden 2006 alkutalvesta tehty kuuden viikon mittainen lämpötilaseuranta kahdella kanadalaisella maitotilalla. Punainen käyrä osoittaa automatiikan aikaansaaman tasaisemman sisälämpötilan verrattuna vihreään manuaalisäädön lämpötilaan.

8. Johtopäätökset ja suositukset

Kyselyiden ja haastattelujen perusteella kokemukset luonnollisella ilmanvaihdolla toimivien verhoseinä- ja kennolevyseinäisten pihatoiden olosuhteista sekä ilmanvaihdon toimivuudesta ovat hyviä tai erinomaisia.

Keskustelut karjankasvattajien kanssa sekä neljällä tilalla tehdyt mittaukset osoittivat, että olosuhteet ovat suhteellisen hyvin hallittavissa säätämällä ilman tulo- ja poistoaukkoja. Sääto tapahtuu sisälämpötilan perusteella joko käsin tai automaattisesti. Lämpötila pysyi nollan yläpuolella lyhytaikaisia poikkeuksia lukuun ottamatta eläinten tuottamalla lämmöllä ilman varsinaista lämmitystä. Kesällä lämpötilat pysyivät pääosin lehmille määritellyn kriittisen maksimilämpötilan alapuolella. Pihatön lämpötilavaihtelut olivat hitaampia kuin ulkoilman lämpötilavaihtelut osittain ilmanvaihdon säädön ansiosta mutta myös siksi, että massiivinen lattia tasasi lämpötilavaihteluja. Mitatut ilman kosteudet ylittivät talven seurantajaksoilla maksimiohjearvon 85 %. Näiden ylitysten aikana lämpötila oli matala ja siten ilman absoluuttinen kosteussisältö niin pieni, ettei lyhytaikainen kosteus yleensä aiheuta haittaa rakenteille. Kohteissa, joissa lämpötilan tavoitearvona pidettiin noin 5 °C ja lämpötilan noustessa kasvatettiin ilmapirtaa, hiilidioksidipitoisuudet pysyivät maksimiohjearvon 3000 ppm alapuolella. Korjauskohteessa, jossa lämpötilaa pidettiin korkeampana ja kennolevyjen avaus pidettiin suhteellisen pienenä, esiintyi kevättalvella hetkellisiä hiilidioksidipitoisuuden ohjearvon ylityksiä. Nämä olisivat estetävissä lisäämällä kennolevyjen avausta, jolloin myös sisälämpötila laskee. Tässä korjauskohteessa olisi syytä ottaa käyttöön vanha käytöstä poistettu tuloilmahormi lisäpoistohormiksi, jolloin olosuhteiden hallinta myös kesäkaudella paranisi.

Ilmanvaihdon toimintaa kaikkina vuoden tunteina laskettiin malleilla, jotka perustuvat rakennuksen lämpö-, kosteus ja hiilidioksiditaseisiin. Laskentamalleja on hienosäädetty vastaamaan mahdollisimman hyvin mitattuja todellisia tilanteita. Malleilla on selvitetty, kuinka ilmanvaihdon toimivuutta voidaan kohteissa edelleen parantaa. Tarkasteluissa havaittiin, että sisälämpötilan automaattisäätö pitää olosuhteet hyvin tavoitearvoissaan. Esimerkiksi 200 lypsylehmän verhoseinäpihatossa lämpötila 0 °C alittui ainoastaan muutamina tunteina vuodessa, kun lisälämpöä ei käytetä. Korjauskohteelle, jossa kennolevyjä säädetään käsin, laskettiin automaattisäädön vaikutus olosuhteisiin. Lämpötila pysyi automaattisäädöllä hyvin tavoitearvoissa, mutta hiilidioksidipitoisuuden raja-arvo 3000 ppm ylittyi muutamina satoina tunteina vuoden aikana. Tämä on korjattavissa ilmanvaihtoa tehosta-

malla suurentamalla kennolevyjen avausta tai suurentamalla poistohormien pinta-alaa eli lisäämällä hormien lukumäärää.

Lypsykarjanavetan lämpötaseen tarkastelu osoittaa, että eläinten tuottama lämpö poistuu pääasiassa ilmanvaihdon avulla. Eläinten lämpö kattaa ilmanvaihdon lämmitystarpeen aina -30 asteen ulkolämpötilaan saakka, jos sisälämpötila halutaan pitää nollan yläpuolella ja hiilidioksidipitoisuus 3000 ppm alapuolella. Siten 30 asteen pakkasella eläinlämpöä ei riitä enää korvaamaan rakenteiden kautta ulos johtuvaa lämpövirtaa. Ainakin osittain johtumislämpöhäviö kompensoituu eristämättömästä betonilattiasta tulevalla lämpövirralla, kun pakkasjakso on lyhyt. Muuten tarvitaan lisälämmitystä tai on annettava sisälämpötilan laskea tai on annettava hiilidioksidipitoisuuden nousta hetkellisesti ohjearvoa korkeammaksi ilmanvaihtoa vähentämällä. Lämmön johtuminen rakenteiden läpi on eristetyissä navetoissa tyypillisesti 30 % kokonaislämpöhäviöstä. Eniten lämpöä johtuu ulos katon ja verhoseinän kautta. Vaikka johtumislämpöhäviö on pienehkö ilmanvaihdon lämpöhäviöön verrattuna, antaa hyvä lämpöeristys väljyyttä lämpötilan hallintaan kovilla pakkasilla.

Sisäolosuhteiden hallinta edellyttää, että ilmanvaihtomäärä voidaan pitää sopivana kovalla pakkasella ja se saadaan tarpeeksi suureksi hellekaudella. Ilmanvaihdon mitoittamiseen on työssä esitetty yksinkertainen menettelytapa ja nyrkki-sääntöjä. Uudiskohteissa poistoaukkojen määrä mitoitetaan suhteessa lattian pinta-alaan siten, että poistoaukkojen määrä on 0,5 % lattia-alasta. Tuloilma-aukkojen korkeuden tulee olla vähintään 1,2 m, jos verhoseinä on koko sivuseinän mittainen. Kesän lämpöolojen hallinnan kannalta suositellaan mahdollisimman laajoja verhopinta-aloja ja lisäksi sekoituspuhaltimia. Pakkasjakson lämpötilojen hallintaa varten tuloilma-aukkojen minimialan tulee olla 0,1 % lattiapinta-alasta. Tämä vastaa tavallisesti noin 2 cm rakoa koko sivuseinien pituudella, sisältäen vuotoilmarat seinärakenteissa sekä verhon ja seinän saumakohtissa. Vasikka- ja hiekokasvattamoissa poistoaukkojen alaksi riittää 0,25 % lattian pinta-alasta. Nämä mitoittussuositukset koskevat navettaa, jossa poistohormin pään ja tuloaukon välinen korkeusero on noin seitsemän metriä. Jos korkeusero on selvästi tätä pienempi, on aukkojen oltava suurempia. Poistoilma-aukoiksi suositellaan hormeja kasvihuoneharjan sijaan.

Kun vanha lämmin navetta muutetaan verhoseinä- tai kennolevyseinäratkaisuksi, mitoitetaan tuloilma-aukko lehmien lukumäärän perusteella käyttäen verhoseinän pinta-alalle suunnitteluarvoa $0,85 \text{ m}^2/\text{lehmä}$. Poistoaukkojen mitoittamiseen voidaan käyttää suunnitteluarvoa $0,03 \text{ m}^2/\text{lehmä}$.

Ilmanvaihtoa säädetään muuttamalla poistohormin avausta tai verhoseinien avausta käsin tai automaattisesti lämpötilan perusteella. Pääasiassa säätö tapahtuu verhoilla. Kovilla pakkasilla ($10-20$ pakkasasteen alapuolella) on syytä pienentää myös poistoilma-aukkoja. Tuulisissa oloissa ilmanvaihtoa on helpompia hallita, kun säätö tapahtuu pääasiassa tuloilma-aukkoja eikä poistoilma-aukkoja pienentämällä. Kun ilman sisääntuloaukot ovat pieniä, ovat aukkojen painehäviöt suuria ja siksi läpituuleminen rakennuksen läpi on vähäisempää kuin jos säätö tapahtuisi poistoaukkoja pienentämällä.

Edellä esitetyt suunnittelu- ja säätöperiaatteet on esitetty pihattojen normaaleille täyttöasteille. Mikäli pihattoja pidetään vajaatäytöllä, minimi-ilmanvaihdon säädön on pystyttävä kompensoimaan vajaatäytön pienempi ilmanvaihdon tarve tai rakennukseen on eläinlämmön puuttumisen vuoksi lisättävä lämmitystä. Tämä seikka on huomioitava erityisesti, kun rakennus otetaan käyttöön talvella eikä eläinmäärä toteudu ensimmäisenä talvena suunnitellulla tavalla.

Kirjallisuus

- Canada Plan Service. 2010a. Natural ventilation for warm housing, Complete instructions M-9760. Saatavilla [www-muodossa](http://www.muodossa):
<http://www.cps.gov.on.ca/english/frameindex.htm>.
- Canada Plan Service. 2010b. Sizing Openings for Naturally Ventilated Barns, Complete instructions M-9765. Saatavilla [www-muodossa](http://www.muodossa):
<http://www.cps.gov.on.ca/english/frameindex.htm>.
- CIGR. 1984. Report of Working group on climatization of animal houses. Hokkaido: Commission Internationale du Genie Rural. 72 s.
- Ehrlemark, A. 1995. Dimensionering av naturlig ventilation. Rapport 197. Uppsala: Sveriges Lantbruksuniversitet, Institutionen för lantbruksteknik. 58 s.
- Kivinen, T., Mattila, K., Teye, F., Heikkinen, J. & Heimonen, I. 2006. Lämpöeristetyin verhoseinäisen lypsykarjapihatton ilmanvaihdon toimivuus. MTT:n selvityksiä 119. Helsinki: Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskus. 63 s.
- 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. 23–25 June 2008, Hersonissos, Greece. Bedford: The European Society of Agricultural Engineers (EurAgEng).
- Heimonen, I., Heikkinen, J., Kovanen, K., Laamanen, J., Ojanen, T., Piippo, J., Kivinen, T., Jauhiainen, P., Lehtinen, J., Alasuutari, S., Louhelainen, K. & Mäittälä, J. 2009. Maatalouden kotieläinrakennusten toimiva ilmanvaihto. VTT Tiedotteita – Research Notes 2521. Espoo: VTT. 133 s. + liitt. 7 s. ISBN 978-951-38-7555-8.
<http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2009/T2521.pdf>.
- House, H. K. & Rodenburg, J. 2003. Natural ventilation for freestall dairy housing in Freestall housing manual. Ontario: Ontario ministry of Agriculture and food. 10 s.
- Hukka, A. & Viitanen, H. 1999. A mathematical model of mould growth on wooden material. Wood Science and Technology, 33 (6): 475–485.

- 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. 17–21 June 2007, Tartu, Estonia. S. 947–951.
- MidWest Plan Service. 2000. Dairy Freestall, Housing and Equipment. Seventh Edition. Iowa, USA: Iowa State University.
- MMM. 2009. Maa- ja metsätalousministeriön rakentamismääräykset ja ohjeet. Maatalouden tuotantorakennusten lämpöhuolto ja huoneilmasto C2.2. [Viitattu 24.1.2013.] Saatavilla [www-muodossa: URL:http://www.mmm.fi/attachments/maaseutujarakentaminen/5iiBVUyGW/L10-rmoC22-01.pdf](http://www.mmm.fi/attachments/maaseutujarakentaminen/5iiBVUyGW/L10-rmoC22-01.pdf).
- MMM. 2012. Maa- ja metsätalousministeriön asetus tuettavaa rakentamista koskevista lypsykarjarakennusten rakennusteknisistä ja toiminnallisista vaatimuksista. [Viitattu 24.1.2013.] Saatavilla [www-muodossa: URL:http://www.finlex.fi/fi/laki/kokoelma/2012/20120008.pdf](http://www.finlex.fi/fi/laki/kokoelma/2012/20120008.pdf).
- 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. 45 s.
- Penn State, Housing Plans for Calves and Heifers. NRAES (Natural Resource, Agriculture and Engineering Service), New York, USA.

Liite A: Verhoseinäkyselyn 1. vaiheen kysymykset

Verhoseinä tutkimus

Tämän kyselyn tarkoituksena on selvittää verhoseinäpihattojen ilmanvaihdon toimivuudesta saatuja käyttökokemuksia ja tiedon tarpeita.

Tulokset julkaistaan osana VTT:n ja MTT:n toteuttamaa tutkimusta "Lypsykarjarakennusten kevennetyt ilmanvaihtojärjestelmät"

Tervetuloa vastaamaan kyselyyn!

Kokemusta nykyisen ilmanvaihdon toimivuudesta on saatu ajallisesti seuraavasti:

	1	2	3	4	5	>5	>10
Kuinka monta kesää käytetty?	()	()	()	()	()	()	()
Kuinka monta talveä käytetty?	()	()	()	()	()	()	()

Onko pihatossanne ilmanvaihtoa varten

- verhoseinät
- alas liukuvat kennolevyseinät
- molemmat edelliset
- harjapoistoon nk. kasvihuoneharja (esim. molempiin suuntiin avautuva läppä)
- harjapoistoon valokate, jonka pystysivut avoimna (tai ohjattavissa auki)
- hormit ilman poistoon
- Jokin muu, mikä _____

Perustuuko ilmanvaihdon säätö (hormin pellin, verhoseinän aukon, harjajoiston luukun tms)

- käsisäätöön (manuaalisäätöön)
- automaatiikkaohjaukseen

kuka suositteli verhoseinäratkaisua

- suunnittelija
- neuvonnan edustaja
- laitetoimittaja
- myyjä
- toinen karjankasvattaja
- lehtiartikkeli
- tutkimusjulkaisu
- Jokin muu, mikä _____

Kuka suunnitteli/mitoitti ilmanvaihtoratkaisun?

- Neuvontaorganisaatio
- Pääsuunnittelija
- LVI-suunnittelija
- Arkkitehti
- Laitetoimittaja
- Laitemyyjä
- Itse
- Jokin muu, kuka? _____

Miksi päädyitte painovoimaiseen verhoseinäilmanvaihtoon?

Verhoseinän / kennolevyseinän aukon maksimikorkeus = aukon korkeus, kun verho on täysin auki (cm) _____

Verhoseinän / kennolevyseinän aukon alareunan korkeus lattiasta (cm)

Verhoseinän / kennolevyseinän pituus ulkoseinällä (m)

Verhoseinän / kennolevyseinän tuloilmarakoa säädetään

- Manuaalisesti
- Automaattisäädöllä
- Jotenkin muuten, miten? _____

Arvioi tuloilma-aukon säädettyä korkeutta (prosenttia % maksimiarvosta) eri ulkolämpötiloilla

- Ulkolämpötilassa -20 astetta C aukon korkeus on (% maksimista) _____
- Ulkolämpötilassa 0 astetta C aukon korkeus on (% maksimista) _____
- Ulkolämpötilassa +20 astetta C aukon korkeus on (% maksimista) _____

Kuinka säädätte verhoseinän tai kennolevyseinän tuloilmarakoa?

- ei säädetä, pidetään aukko aina samana
- vinssi tai vastaava
- moottori
- Jokin muu, mikä _____

Minkä tekijöiden perusteella/kuinka säädätte verhoseinän tai kennolevyseinän tuloilmarakoa?

Tuloilman säätö hyödyntää sääasemaa

- Ei
- Kyllä

Sääasemasta saadaan

- lämpötila
- tuulen nopeus
- tuulen suunta
- sateen tunnistus
- Jokin muu, mikä? _____

Poistoaukko sijaitsee

- Harjalla hallin keskilinjalla tai lähellä sitä
- Päätyseinillä harjalla
- Jossain muualla. Missä? _____

Poistoaukko on

- Pyöreä hormi
- Neliskanttinen hormi
- Rakomainen kasvihuoneharja

Pyöreän poistohormin mitat ovat

sisähalkaisija d (cm) _____

hormin pituus korkeussuunnassa (m) _____

hormin yläpään sijainnin korkeus
lattiasta (m) _____

poistohormien lukumäärä (kpl) _____

monessako poistohormissa on säätö
tai sulkuläppä (kpl) _____

Neliskanttisen (a x b) poistohormin mitat ovat

mitta a (cm) _____

mitta b (cm) _____

hormin korkeus (m) _____

hormin yläpään sijainnin korkeus
lattiasta (m) _____

poistohormien lukumäärä (kpl) _____

monessako poistohormissa on säätö
tai sulkuläppä (kpl) _____

Ilmanpoistoon käytettävän rakomaisen kasvihuoneharjan (tai vastaa- van) mitat ovat

pituus (m) _____

ilmanpoistoaukon raon leveys (cm) _____

poistoaukkojen sijaintikorkeus latti-
asta (m) _____

poistoaukkojen lukumäärä (kpl) _____

monessako poistoaukossa on säätö
tai sulkuläppä (kpl) _____

Poistoilmareitin rakoa / aukkoa säädetään

- ei ollenkaan (aina sama aukko)
- manuaalisesti
- automaattisesti
- Jotenkin muuten. Miten? _____

Arvioi poistoilmareitin (kanava tai rakomainen aukko)avausta eri ulkolämpötiloissa

Ulkolämpötilassa -20 astetta C
poistoreitin avaus suhteessa maksimiin on (%) _____

Ulkolämpötilassa 0 astetta C poistoreitin avaus suhteessa maksimiin on (%) _____

Ulkolämpötilassa +20 astetta C
poistoreitin avaus suhteessa maksimiin on (%) _____

Minkä tekijän perusteella/kuinka ja kuinka usein säädätte poistoilmalukkuja, poistohormin peltejä tai muita poistoilma-aukkoja?

Poistoilma-aukkojen tai poistoilmahormin säätö hyödyntää sääasemaa

- ei
- kyllä

Sääasemasta saadaan

- ulkolämpötila
- tuulen nopeus
- tuulen suunta
- sateen tunnistus
- Jokin muu, mikä? _____

Mitä ilmanvaihdon ja lämmityksen lisälaitteita käytetään

	Kyllä	Ei	Kuvaa ratkaisua (millainen, millä lämpö tuotetaan, missä sijaitsee, milloin käytetään yms)
Lisälämmitys	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	

kiinteänä asennuksena		
Lisälämmitys siirrettävillä väliaikaisilla laitteilla	() ()	_____
Lattialämmitys	() ()	_____
Viilentämiseen kesällä puhaltimet	() ()	_____
Ilman sekoittamiseen helikopterituuletin	() ()	_____
Sääasema	() ()	_____

Automaatiikka säätää

- () Tuloilmapuolen aukon kokoa
- () Poistoilmapuolen hormin peltiä/läppää
- () Poistoilmaraoissa olevaa luukkuja/läppää
- () Jotain muuta, mitä? _____

Automaatiikka saa tiedon

- () Ulkolämpötilasta
- () Ulkokosteudesta
- () Sisälämpötilasta
- () Sisäkosteudesta
- () Hiilidioksidipitoisuudesta (CO₂)
- () Tuulen nopeudesta
- () Tuulen suunnasta
- () Eläinmäärästä
- () Jostakin muusta, mistä? _____

Pihaton täyttöaste talvikaudella 2009-2010 oli (%)

Arvioi eri ulkolämpötilaa vastaava saavutettava sisälämpötila talvikaudella 2009-2010

- Ulkolämpötila 0 astetta C, sisälämpötila on tällöin arviolta _____
- Ulkolämpötila -10 astetta C, sisälämpötila on tällöin arviolta _____
- Ulkolämpötila -20 astetta C, sisälämpötila on tällöin arviolta _____
- Ulkolämpötila -30 astetta C, sisälämpötila on tällöin arviolta _____

lämpötila on tällöin arviolta

Matalin lämpötila talvikaudella 2009-2010

Ulkolämpötila oli arviolta (astetta C) _____

Sisälämpötila oli arviolta (astetta C) _____

Kuinka monena päivänä lämpötila sisällä oli pakkasen puolella pakkas- kauden aikana talvella 2009-2010?

ei kertaa- kaan	1-2 päivänä	2-10	10-30	yli 30 päivänä
()	()	()	()	()

Mitä seuraavista ilmiöistä esiintyi TALVIKAUDELLE 2009-2010?

	Kyllä	Ei	En osaa sanoa	Voit kommentoida ja kuva- ta ilmiötä sanallisesti
Nousiko kosteus sisällä tuntuvasti?	()	()	()	_____
Esiintyikö sumua sisällä?	()	()	()	_____
Tiivistyikö/kondensoiko rakenteiden pinnoille vettä?	()	()	()	_____
Tuntuiko sisäilma huono- laatuiselta?	()	()	()	_____
Jäätyikö vesikuppeja tai altaita?	()	()	()	_____
Jäätyikö lantakäytäviä?	()	()	()	_____
Jäätyikö verhosei- nä/kennolevy tai sen oheislaitteet?	()	()	()	_____
Vaikeutuiko lannanpoisto?	()	()	()	_____
Ilmenikö jäätymistä lyp- syasemalla?	()	()	()	_____
Ilmenikö jäätymistä va- sikkatiloissa?	()	()	()	_____
Ilmenikö jäätymistä rehu- pöydällä?	()	()	()	_____

Ilmenikö jäätymistä rehunjakelujärjestelmissä?	() () ()	_____
Vaikuttko tuulisuus mielestäsi olosuhteisiin sisällä?	() () ()	_____
Ilmenikö maitotuotoksen pienenemistä?	() () ()	_____
Käytettiin lisälämmitystä?	() () ()	_____

Miten lehmät reagoivat kylmyyteen (käytös tms ilmentymä)?

Pihaton täyttöaste kesäkaudella 2010 oli (%)

Arvioi pihaton ilmanvaihtoa kesällä 2010 ihmisen kannalta

Ilma vaihtui aivan liian huonosti	Ilma vaihtui jonkin verran	Ilma vaihtui sopivasti	Ilma vaihtui erittäin hyvin	Ilma vaihtui liian hyvin
()	()	()	()	()

Arvioi pihaton ilmanvaihtoa kesällä 2010 eläinten kannalta

Ilma vaihtui aivan liian huonosti	Ilma vaihtui jonkin verran	Ilma vaihtui sopivasti	Ilma vaihtui erittäin hyvin	Ilma vaihtui liian hyvin
()	()	()	()	()

Arvioi saavutettavaa päivän aikaista sisälämpötilaa eri ulkolämpötiloissa kesäkaudella 2010

Ulkolämpötilalla +10 astetta C sisälämpötila oli arviolta _____

Ulkolämpötilalla +20 astetta C sisälämpötila oli arviolta _____
 Ulkolämpötilalla +30 astetta C sisälämpötila oli arviolta _____

Arvioi suurinta esiintynyttä lämpötilaa kesäkaudella 2010

sisälämpötila oli (astetta C) _____
 jolloin ulkolämpötila oli _____

Kuinka usein lämpötila pihatossa ylitti 35 astetta kesällä 2010?

ei kertaakaan	1-2 päivänä	2-10 päivänä	10-30 päivänä	yli 30 päivänä
()	()	()	()	()

Mitä seuraavista ilmiöistä esiintyi kuumalla KESÄKAUDELLA 2010?

	Kyllä	Ei	En osaa sanoa	Voit kommentoida ja kuvailla ilmiötä sanallisesti
Nousiko lämpötila sisällä haitallisen korkeaksi?	()	()	()	_____
Ilmenikö maitotuotoksen piene- nemistä?	()	()	()	_____
Tuntuiko sisäilma huonolaatuiselta?	()	()	()	_____
Tehostettiinko tuuletusta avaamalla ikkunoita ja/tai ovia?	()	()	()	_____
Oliko pihaton sisätila päivällä viileämpi kuin ulkoilma?	()	()	()	_____
Vaikuttiko tuulisuus mielestäsi olosuhteisiin sisällä?	()	()	()	_____
Aiheuttiko kuu-	()	()	()	_____

muus lantakäytävien kuivumista?			
Laidunnettiinko lehmiä?	()	()	() _____
Hakeutuivatko lehmät laitumelta pihattoon suojaan päivällä?	()	()	() _____
Jokin muu havainto olosuhteista (kuvaile)	()	()	() _____

Miten lehmät reagoivat kuumuuteen (käytös tms ilmentymä)?

Miten seuraavat asiat ovat yleisesti ajatellen kehittyneet verhoseinäpihatossa verrattuna aikaisemmin käytössä olleeseen lypsykarjarakennustyyppiin

	lisään- tynyt selvästi	lisään- tynyt hieman	ennal- laan	vähentynyt hieman	vähentynyt selvästi	Vapaa kommenttikenttä
eläinterveys	()	()	()	()	()	_____
sorkkaterveys	()	()	()	()	()	_____
hengitystiesairauksien tilanne	()	()	()	()	()	_____
lehmien maitotuotos	()	()	()	()	()	_____
lehmien rehunkulutus	()	()	()	()	()	_____
työntekijän työkuorma	()	()	()	()	()	_____
työntekijän työviihtyvyys	()	()	()	()	()	_____
työntekijän työolosuhteiden viihtyisyys (läm-	()	()	()	()	()	_____

(lämpö&vedottomuus)

pihaton sisäme-
lu

() () () () ()

jokin muu omi-
naisuus (lisää
kommenttikent-
tään ja anna
arvioi)

() () () () ()

jokin muu omi-
naisuus (lisää
kommenttikent-
tään ja anna
arvioi)

() () () () ()

jokin muu omi-
naisuus (lisää
kommenttikent-
tään ja anna
arvioi)

() () () () ()

Oletteko tyytyväinen valitsemaanne verhoseinäiseen ilmanvaihtoratkaisuun?

kyllä	en	En osaa sanoa
()	()	()

Miksi?

Jos aloittaisitte pihaton suunnittelun alusta, minkä ilmanvaihtojärjestelmän valitsisitte?

Minkä ilmanvaihtoteknisen osatekijän tai toiminnon vaihtaisitte toisenlaiseksi tekniseksi ratkaisuksi ja miksi?

mitä teknisiä kehittämistarpeita katsotte verhoseinäilmanvaihtoon liittyvän (säätö, materiaalit, tekniset liitosdetaljit jne.)?

mitä teknistä tukea tai tietoa kaipaisitte enemmän suunnittelijoiden taholta?

mitä teknistä tukea tai tietoa kaipaisitte enemmän verhoseinien laite-toimittajilta taholta?

mitä teknistä tukea tai tietoa kaipaisitte enemmän tutkimuslaitoksilta?

mitä teknistä tukea tai tietoa kaipaisitte enemmän hallinnon, tukikäsitteijöiden ja viranomaisten taholta?

Verhoseinärakennus on

() kokonaan uusi rakennus

- laajennus vanhaan rakennukseen
- peruskorjattu vanha karjarakennus
- Jokin muu, mikä _____

Verhoseinäpihatorakennuksen sijaintipaikkakunta

Rakennuksen käyttöönottovuosi

Rakennuksen laajuus

kerrosala (m ²)	_____
pituus (m)	_____
leveys (m)	_____
sisäkorkeus ulkoseinän sisäpinnassa (räystäällä, sisällä) (m)	_____
sisäkorkeus harjalla (m)	_____
tilavuus (m ³)	_____

Pihaton suuntaus - harjalinjan suunta on

- pohjoinen - etelä
- itä - länsi
- koillinen - lounas
- kaakko - luode

Pihatorakennuksen ympäristön avoimuus tuulen vaikuttavuuden kannalta - rakennus sijaitsee

- avonaisella pellolla
- pellon ja metsän rajalla
- metsän keskellä
- muualla, missä? _____

Päätuotantosuunta

- Maito
- Liha
- Molemmat
- Jokin muu, mikä _____

Suunniteltu eläinmäärä (kpl)

Lypsylehmiä _____
Nuorkarjaa _____
Lihanautoja _____

Työntekijämäärä (kpl)

Tilan omaa henkilökuntaa _____
Tilan ulkopuolelta palkattuja _____

Rakenteet (arvio, jos ei tarkkaa tietoa ole)

Lämmöneristeen paksuus katossa _____
(cm)
Lämmöneristeen paksuus seinissä _____
(cm)
Lämmöneristeen paksuus alapohjassa _____
(cm)
Ikkunoiden pinta-ala ulkoseinillä _____
(m²)
Ikkunoiden pinta-ala katossa (m²) _____
Ovien pinta-ala (m²) _____

Ruokintapöydän sijainti

- keskellä
- epäkeskeisesti
- ulkoseinää vasten
- visiiri ulkoseinällä
- Jossain muualla, missä _____

Ruokintamenetelmä

- apevaunu
- kiskoruokkija
- mattoruokkija
- ketjupöytä
- kioskeja, karkearehu robotilla
- Jokin muu, mikä _____

Lypsyjärjestelmä

- kalanruoto
- swing over -asema
- tandem/autotandem,

- takalypsyasema
- takalypsyasema + fast exit
- karuselli
- robotti
- Jokin muu, mikä _____

Lannanpoisto

- kiinteät lantakäytävät + pintaraapat
- kiinteä lantakäytävät, lannanpoisto traktorilla/vastaavalla
- rakopalkkilattia
- rakopalkkilattia + pintaraappa
- rakopalkkilattia + ”puuhapete”
- Jokin muu, mikä _____

Eläinpaikat

Lehmäparsien rivisyys (kpl) _____
 Nuorkarjan rivisyys (kpl) _____

Tiedonvaihtomielessä

	Kyllä	Ei
Olen kiinnostunut saamaan lisätietoa hankkeen tuloksista	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Haluan tietoa sähköpostitse	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Haluan tietoa www-sivujen kautta	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Haluan tietoa alan lehtien kautta	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Minuun saa ottaa yhteyttä	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Voit jättää yhteystiedot, jos haluat tietoa hankkeen tuloksista. Yhteystiedot (nimi, sähköposti) ovat:

Liite B: Verhoseinäkyselyn 2. vaiheen (kustannuskysely) kysymykset

Verhoseinäilmanvaihdon kustannuskysely

Tämän kyselyn tarkoituksena on selvittää verhoseinäpihattojen ilmanvaihdon kustannustietoja

Kysely on jatkoa 2010-2011 toteutetulle kyselylle, missä selvitettiin verhoseinäpihattojen toimivuudesta saatuja käyttökokeuksia ja tiedon tarpeita.

Tulokset julkaistaan osana VTT:n ja MTT:n toteuttamaa tutkimusta "Lypsykarjarakennusten kevennetyt ilmanvaihtojärjestelmät"

Tervetuloa vastaamaan kyselyyn!

Onko pihatossanne ilmanvaihtoa varten

- verhoseinät
- alas liukuvat kennolevyseinät
- molemmat edelliset
- harjapoistoon nk. kasvihuoneharja (esim. molempiin suuntiin avautuva läppä)
- harjapoistoon valokate, jonka pystysivut avoinna (tai ohjattavissa auki)
- hormit ilman poistoon
- Jokin muu, mikä _____

Perustuuko ilmanvaihdon säätö (hormin pellin, verhoseinän aukon, harjapoiston luukun tms)

- käsisäätöön (manuaalisäätöön)

() automaatiikkaohjaukseen (esim. mittauksen tai sääsaman perusteella)

Verhoseinärakennus on

- () kokonaan uusi rakennus
- () laajennus vanhaan rakennukseen
- () peruskorjattu vanha karjarakennus
- () Jokin muu, mikä _____

Rakennuksen perustiedot

Pinta-ala (m²) _____

Käyttöönottovuosi _____
(1950...2012)

Navettarakennuksen kokonaiskustannukset (investointi) (€, suuruusluokka esim 1000 € tarkkuudella) _____

Arvio ilmanvaihdon osuudesta tästä investoinnista prosentteina (%) (noin arvio) TAI _____

Arvio ilmanvaihdon kokonaiskustannuksista euroina (€, esim. 1000 € tarkkuudella) _____

Verhoseinäpihatorakennuksen sijaintipaikkakunta

Suunniteltu eläinmäärä (kpl)

Lypsylehmiä _____

Nuorkarjaa _____

Lihanautoja _____

Tuotemerkki

Verhojen tuotemerkki / brändi _____

Kennolevyjen tuotemerkki _____
/ brändi _____

Verho/kennolevyseinän koko (jos eri korkuisia, arvioi keskimääräinen korkeus) *Huom käytä desimaalierottimena pilkkua*

Verhoseinän kokonaispituus
ulkoseinällä (m) _____

Verhoseinän maksimikorkeus (m) _____

Kennolevyjen kokonaispituus
ulkoseinällä (m) _____

Kennolevyjen korkeus (m) _____

Tuloilmaratkaisun hankintakustannukset (esim. 1000 € tarkkuudella, jos tarkkaa arvoa ei tiedossa)

	Laitteiden hinta (€, 0 % alv)	Asennuksen hinta (€, 0% alv)
Verhoseinä	_____	_____
Kennolevyseinä	_____	_____

Sisältykö em. tuloilmareitin hintaan

	kyllä	Ei	En osaa sanoa
automaatiikka / säätölaitteet	()	()	()
rahti	()	()	()
Jokin muu, mikä	()	()	()
Jokin muu, mikä	()	()	()
Jokin muu, mikä	()	()	()

Poistoaukko on

- Pyöreä hormi
- Neliskanttinen hormi
- Rakomainen kasvihuoneharja

Tuotemerkki

Hormien tuotemerkki / _____
brändi _____

harjapoiston tuotemerkki _____
/ brändi _____

Pyöreän poistohormin mitat ovat

sisähalkaisija d (cm) _____

hormin pituus korkeus-
suunnassa (m) _____

poistohormien lukumäärä _____
(kpl) _____

monessako poistohormissa
on säätö tai sulkuläppä _____
(kpl) _____

Neliskanttisen (a x b) poistohormin mitat ovat

mitta a (cm) _____

mitta b (cm) _____

hormin korkeus (m) _____

poistohormien lukumäärä _____
(kpl) _____

monessako poistohormissa
on säätö tai sulkuläppä _____
(kpl) _____

Ilmanpoistoon käytettävän rakomaisen kasvihuoneharjan (tai vastaavan) mitat ovat

Huom! käytä desimaalipilkkua erottimena

pituus (m)	_____
leveys kattolapteen suuntaisesti (m)	_____
ilmanpoistoaukon raon leveys (cm)	_____
poistoaukkojen lukumäärä (kpl)	_____
monessako poistoaukossa on säätö tai sulkuläppä (kpl)	_____

Ilmanpoistoratkaisun hankintakustannukset (esim. 1000 € tarkkuudella, jos tarkkaa arvoa ei tiedossa)

	Laitteiden hinta (€, 0 % alv)	Asennuksen hinta (€, 0 % alv)
Poistohormit/kanavistot	_____	_____
Kasvihuoneharja (tai vastaava)	_____	_____

Sisältyykö em. poistoilmareitin (poistohormit, kattoharja) hintaan

	kyllä	Ei	En osaa sanoa
automaatiikka / säätölaitteet	()	()	()
rahti	()	()	()
Jokin muu, mikä	()	()	()
Jokin muu, mikä	()	()	()
Jokin muu, mikä	()	()	()

Tuotemerkki

Ilmanvaihdon automatiikan tuotemerkki / brändi _____
Säaseman tuotemerkki / brändi _____

Ilmanvaihdon automatiikan/säädön hankintahinta (arvio, jos tarkkaa ei ole tiedossa)

	Laitteiden hinta (€, 0 % alv)	Asennuksen hinta (€, 0% alv)
Automatiikkalaitteet ja ohjelmistot	_____	_____
Mittausanturit (lämpötila, CO ₂ , kosteus yms), ellei sisälly edelliseen hintaan	_____	_____
Säasema (ellei sisälly em. hintoihin)	_____	_____

Ilmanvaihdon automatiikka säätää

- Tuloilmapuolen aukon kokoa
- Poistoilmapuolen hormin peltiä/läppää
- Poistoilmaraossa olevaa luukkuja/läppää
- Jotain muuta, mitä? _____
- Jokin muu, mikä _____
- Jokin muu, mikä _____

Automatiikka saa tiedon

- Ulkolämpötilasta
- Ulkokosteudesta
- Sisälämpötilasta
- Sisäkosteudesta
- Hiilidioksidipitoisuudesta (CO₂)
- Tuulen nopeudesta

- Tuulen suunnasta
 - Eläinmäärästä
 - Jostakin muusta, mistä?
-

Mitä ilmanvaihdon ja lämmityksen lisälaitteita käytetään & hinta (arvio, jos tarkkaa arvoa ei tiedossa)

	Kyl- lä	Ei	Laitteen hinta (€, 0 % alv)	Asennuksen hinta (€, 0% alv)
Lisälämmitys kiinteänä asennuksena	()	()	_____	_____
Lisälämmitys siirrettävillä väliaikaisilla laitteilla	()	()	_____	_____
Lattialämmitys	()	()	_____	_____
Viilentämi- seen kesällä puhaltimet	()	()	_____	_____
Ilman sekoit- tamiseen helikopteri- tuuletin	()	()	_____	_____
Jokin muu, mikä	()	()	_____	_____
Jokin muu, mikä	()	()	_____	_____
Jokin muu, mikä	()	()	_____	_____

Manuaalisäädön/ohjauksen vaatimien lisälaitteiden hinta

	Laitteiden hinta (€, 0 % alv)	Asennuksen hinta (€, 0% alv)
Sää- tönarut/kaapelit, veivit, moottorit yms	_____	_____

Manuaalisäädöllä ohjataan

- Tuloilmapuolen aukon kokoa
- Poistoilmapuolen hormin peltiä/läppää
- Poistoilmaraossa olevaa luukkua/läppää
- Jotain muuta, mitä? _____

Miksi on päädytty käsisäätöön?

- manuaalisäädön toimintavarmuus
- manuaalisäädön edullisuus
- automatiikan korkea hinta
- sääaseman korkea hinta
- automatiikan vähäiset hyödyt
- epävarmuus automatiikan hyödyistä
- automatiikan käyttöönoton hankaluus
- Jokin muu, mikä _____
- Jokin muu, mikä _____
- Jokin muu, mikä _____

Kuinka paljon käytetään päivittäistä työaikaa (arvioi keskimäärin aikaa minuutteina per työpäivä) verhojen, kennolevyjen tai hormin säätöpeltien/luukkujen asetteluun ja säätöön (minuuttia/pvä) _____

Kuinka paljon ilmanvaihdon säätöautomatiikan lisähinta (laitteiden hinta+asennustyö) saisi korkeintaan olla, jotta se hankitaisiin nykyiseen järjestelmään (€, 0 % alv)

Muut ilmanvaihdon toteutukseen ja ylläpitoon liittyvät kustannukset (elleivät ole sisällytettynä aikaisemmin kuvattuihin kustannuksiin)

Kustannukset (€, 0% alv)

Laitteiden rahti (ellei jo sisälly niiden hintaan)

Käyttökoulutus

Vastaanottotarkastus

Suunnittelu _____
Jokin muu, mikä _____
Jokin muu, mikä _____
Jokin muu, mikä _____

Ilmanvaihdon käyttöön ja ylläpitoon liittyvät vuosittaiset käyttökustannukset (arvioi, jos tarkkaa hintaa ei ole tiedossa)

Kustannukset (€/vuosi, 0% alv)

Eläintilojen puhaltimien sähkö _____
Eläintilojen lämmitys _____
Ilmanvaihdon laitteiden huollot ja korjaukset _____
Jokin muu, mikä _____
Jokin muu, mikä _____
Jokin muu, mikä _____

Puuttuiko kyselystä mielestäsi jokin tärkeä kustannuksia aiheuttava osatekijä? Jos puuttui, arvioi tätä kustannusta.

Tiedonvaihtomielessä

Kyllä Ei
Olen kiinnostunut sa- () ()

maan lisätieto-
toa hankkeen
tuloksista

Haluan tietoa
sähköpostitse () ()

Haluan tietoa
www-sivujen
kautta () ()

Haluan tietoa
alan lehtien
kautta () ()

Minuun saa
ottaa yhteyt-
tä () ()

**Voit jättää yhteystiedot, jos haluat tietoa hankkeen tuloksista.
Yhteystiedot (nimi, sähköposti) ovat:**

Vapaita kommentteja tutkimustahoille

Nimeke	Lypsykarjapihaton luonnollinen ilmanvaihto
Tekijä(t)	Ismo Heimonen, Jorma Heikkinen, Jarmo Laamanen & Tapani Kivinen
Tiivistelmä	<p>Luonnollisella ilmanvaihdolla toimivat verhoseinäpihatot ovat yleistyneet Suomessa sen jälkeen kun ensimmäiset rakennettiin 2000-luvun alussa. Kokemuksia verhoseinäpihatoista on saatu runsaasti viimeisen kymmenen vuoden ajalta ja näitä kokemuksia on hyödynnetty tässä tutkimusprojektin ”Lypsykarjarakennusten kevennetyt ilmanvaihtojärjestelmät” julkaisussa. Projektin päämääränä oli esittää ratkaisut ja perustelut kevennetyjen ilmanvaihtojärjestelmien toteutukseen lypsykarjarakennuksissa.</p> <p>Kyselyiden ja haastattelujen perusteella kokemukset verhoseinä- ja kennolevyseinäisten pihattorakennusten olosuhteista ja ilmanvaihdon toimivuudesta ovat hyviä tai erinomaisia. Keskustelut karjankasvattajien kanssa sekä neljällä tilalla tehdyt mittaukset osoittivat, että olosuhteet ovat suhteellisen hyvin hallittavissa säätämällä ilman tulo- ja poistoaukkoja. Säätö tapahtuu sisälämpötilan perusteella joko käsin tai automaattisesti. Lämpötila pysyi nollan yläpuolella lyhytaikaisia poikkeuksia lukuun ottamatta eläinten tuottamalla lämmöllä ilman varsinaista lämmitystä. Kesällä lämpötilat pysyivät pääosin lehmille määritellyn kriittisen maksimilämpötilan alapuolella. Mitatut ilmankosteudet ylittivät talven seurantajaksoilla maksimiohjearvon 85 %, mutta ilman kosteussisältö oli niin pieni, ettei lyhytaikainen kosteus yleensä aiheuta haittaa rakenteille. Hiilidioksidipitoisuudet pysyivät maksimiohjearvon 3000 ppm alapuolella.</p>
ISBN, ISSN	ISBN 978-951-38-7907-5 (URL: http://www.vtt.fi/publications/index.jsp) ISSN 2242-122X (URL: http://www.vtt.fi/publications/index.jsp)
Julkaisu-aika	Joulukuu 2012
Kieli	Suomi, englanninkielinen tiivistelmä
Sivumäärä	141 s. + liitt. 25 s.
Avainsanat	Curtain wall ventilation, natural ventilation, passive stack ventilation, cross ventilation, animal house, dairy barn ventilation, heifer barn ventilation
Julkaisija	VTT PL 1000, 02044 VTT, Puh. 020 722 111

Title	Lightweight ventilation in dairy houses
Author(s)	Ismo Heimonen, Jorma Heikkinen, Jarmo Laamanen & Tapani Kivinen
Abstract	<p>The amount of curtain-wall ventilated dairy houses has increased remarkably since the first implementations of this ventilation principle in Finland in the beginning of the 21th century. The experiences of users of these buildings during the last 10 years have been collected and utilised in this research "Lightweight ventilation in dairy houses". The objective of the project was to present solutions and the basis for implementing lightweight ventilation systems in dairy houses.</p> <p>The experiences of dairy house owners were gathered by web based questionnaires and interviews. The experiences on indoor environment and ventilation performance in dairy houses were mostly good or excellent. The measurements in four case study buildings and discussions with the owners indicated that the conditions are well managed by opening and closing of the wall curtains and by adjusting the exhaust vents. The curtains are controlled manually or automatically based on indoor temperature. The indoor air temperature was over zero degrees Celsius by only utilising the animal heat, without extra heating, except for short periods. During the summertime the temperatures were below the critical upper temperatures for dairy cows most of the time. The measured relative air humidity during the winter period exceeded the maximum Finnish guideline value of 85%, but the absolute moisture content of the air is very small during the winter, and typically short periods of high relative humidity does not cause any damage for the structures. The concentrations of CO₂ were below guideline value of 3000 ppm during the monitoring periods.</p>
ISBN, ISSN	ISBN 978-951-38-7907-5 (URL: http://www.vtt.fi/publications/index.jsp) ISSN 2242-122X (URL: http://www.vtt.fi/publications/index.jsp)
Date	December 2012
Language	Finnish, English abstract
Pages	141 p. + app. 25 p.
Keywords	Curtain wall ventilation, natural ventilation, passive stack ventilation, cross ventilation, animal house, dairy barn ventilation, heifer barn ventilation
Publisher	VTT Technical Research Centre of Finland P.O. Box 1000, FI-02044 VTT, Finland, Tel. 020 722 111

VTT on puolueeton, moniteknologinen tutkimusorganisaatio. VTT tuottaa yhdessä kotimaisten ja kansainvälisten asiakkaidensa ja yhteistyökumppaneidensa kanssa tieteelliseen tutkimukseen pohjautuvia innovaatioita ja luo näin edellytyksiä yhteiskunnan kestäväälle kehitykselle ja hyvinvoinnille.

Liikevaihto: 300 milj. euroa

Henkilöstö: 3 200

VTT:n julkaisut

VTT:läiset julkaisevat tutkimustuloksia ulkomaisissa ja kotimaisissa tieteellisissä lehdissä, ammattilehdissä ja julkaisusarjoissa, kirjoina, konferenssisitelmänä, patenteina sekä VTT:n omissa sarjoissa. VTT:n julkaisusarjat ovat VTT Visions, VTT Science, VTT Technology ja VTT Research Highlights. Sarjoissa ilmestyy vuosittain noin sata korkeatasoista tiede- ja ammattijulkaisua. Julkaisut ilmestyvät verkossa ja suurin osa myös painettuna.

VTT Visions

Sarja sisältää tulevaisuudennäkymiä ja ennakoiteja VTT:n näkemyksen mukaan merkittävistä teknologisista, yhteiskunnallisista ja liiketoiminnallisista teemoista. Sarja on suunnattu erityisesti yritysten ja julkishallinnon päättäjille ja asiantuntijoille.

VTT Science

Sarja tuo esille VTT:n tieteellistä osaamista. Siinä ilmestyy väitöskirjoja ja muita vertais-arvioituja julkaisuja. Sarja on suunnattu erityisesti tutkijoille ja tiedeyhteisölle.

VTT Technology

Sarja sisältää julkisten tutkimusprojektien tuloksia, teknologia- ja markkinakatsauksia, kirjallisuustutkimuksia, oppaita ja VTT:n järjestämien konferenssien esitelmää. Sarja on suunnattu ammattipiireille, kehittäjille ja soveltajille.

VTT Research Highlights

Sarjassa esitellään tiiviissä muodossa VTT:n valittujen tutkimusalueiden uusimpia tuloksia, ratkaisuja ja vaikuttavuutta. Kohderyhmänä ovat asiakkaat, päättäjät ja yhteistyökumppanit.

Lypsykarjapihatton luonnollinen ilmanvaihto

Tässä julkaisussa esitetään verhoseinä- ja kennolevyseinäisten lypsykarjarakennusten ilmanvaihdon suunnittelu- ja säätöperiaatteet sekä karjankasvattajien kokemuksia verhoseinäpihattojen toimivuudesta.

Ilmanvaihdon poistoaukkojen suunnittelussa voidaan käyttää lypsykarjapihatolle suositusarvoa 0,5 % lattian pinta-alasta. Tuloilma-aukkojen korkeudeksi suositellaan vähintään 1,2 m, jos verhoseinä on koko sivuseinän mittainen.

Kyselyiden ja haastattelujen perusteella kokemukset verhoseinä- ja kennolevyseinäisten pihattorakennusten olosuhteista ja ilmanvaihdon toimivuudesta ovat hyviä tai erinomaisia. Neljällä tilalla tehdyt mittaukset osoittivat, että olosuhteet ovat suhteellisen hyvin hallittavissa säätämällä ilman tulo- ja poistoaukkoja sisälämpötilan perusteella joko käsin tai automaattisesti.

ISBN 978-951-38-7907-5 (URL: <http://www.vtt.fi/publications/index.jsp>)

ISSN 2242-122X (URL: <http://www.vtt.fi/publications/index.jsp>)