



Pölyn ja ammoniakin poistoon lintujen kasva- tushalleissa kehitetyn il- mapesurin testaus

TUTKIMUSRAPORTTI 28.11.2008

Lisätty 8.1.2009 kohta 5.6.Energiankulutus

diaarinro 306/31/08

Lehtinen, J., Palva, R., TTS tutkimus
Heimonen, I., Kovanen, K., Laamanen, J., VTT
Louhelainen, K., Työterveyslaitos, Kuopio
Kivinen, T., MTT
Tiusanen, A., Leancom Oy

Sisältö

1	TAUSTA:	3
2	HANKKEEN TAVOITE	3
3	TUTKIMUSOSAPUOLET	3
4	KOEJÄRJESTELY JA MITTAUKSET	4
4.1	Tutkittu kohde	4
4.2	Tutkittava laite.....	5
4.3	Mittausmenetelmät:	6
4.3.1	Jatkuvan mittauksen mittausmenetelmät:	7
4.3.2	Kertaluonteisten mittausten mittausmenetelmät:	8
4.4	Eläinten kasvatustulokset	9
5	TULOKSET JA TULOSTEN TARKASTELU	10
5.1	Ilmanvaihto	10
5.2	Ilman lämpötila- ja suhteellinen kosteus.....	11
5.3	Hiilidioksidipitoisuus.....	12
5.4	Ammoniakkipitoisuus.....	13
5.5	Pöly ja mikrobit.....	16
5.5.1	Hengittyvä pöly	16
5.5.2	Pölyn hiukkaskokojakaumat.....	17
5.5.3	Endotoksiinit.....	17
5.5.4	Mikrobit	18
5.5.5	Otsoni	18
5.6	Energiankulutus	19
5.7	Eläinten kasvutulokset.....	22
6	YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET	23

I Tausta:

Maassamme on n. 200 broilerkasvattamo, joissa kussakin kasvatetaan vuosittain noin 40 000 kpl broilereita. Sisäilman korkeat ammoniakki- ja pölypitoisuudet ovat yleinen ongelma erityisesti broilerkasvattamoissa. Euroopan unionin neuvosto antoi vuonna 2007 lihantuotantoa varten pidettävien kanojen suojelua koskevista vähimmäisvaatimuksista ns. broileridirektiivin (2007/43/EC), joka määrittelee mm. rakennuksessa pidettävien eläinten kokonaiseläinmäärän. Eläintiheys ei saa ylittää 33 kg/m², elleivät tuotanto-olosuhteet täytä tiettyjä erikseen määriteltyjä kriteereitä. Näitä ovat mm. ammoniakkipitoisuus (NH₃) on enintään 20 ppm ja hiilidioksidipitoisuus (CO₂) enintään 3 000 ppm mitattuna kanojen pään tasolla.

Maksimissaan eläintiheys voi olla 42 kg/m², jolloin edellisten lisäksi lintujen kuolleisuuden on täytettävä tietyt kriteerit (kumulatiivinen päiväkohtainen kuolleisuusaste vähintään seitsemässä toisinaan seuraavassa peräkkäin tarkastetussa saman rakennuksen parvessa on alle 1 prosenttia + 0,06 prosenttia kerrottuna parven teurastusiällä päivinä).

Ammoniakkipitoisuuksia pystytään alentamaan suurilla ilmanvaihtomäärillä, mutta silloin energiakustannukset nousevat taloudellisesti kestäättömiksi, ja toisaalta päästöt ulkoilmaan kasvavat.

Leancom Oy on kehittänyt ammoniakin ja hengittyvän pölyn poistoon tarkoitettua laitteen ennen kaikkea lintuhalleihin. Laite soveltuu myös munituskanaloihin. Lisäksi laitteelle voi olla käyttöä myös muissa karjasuojissa.

Alustavasti suoritettujen teknisten tarkastelujen ja prototyypistä saatujen havaintojen perusteella laitteella voidaan vähentää kasvatushallien orgaanisten pölyjen määrää sekä ammoniakin pitoisuuksia. Lisäksi laitteella vaikutetaan jonkin verran ilman hiilidioksidipitoisuutta vähentävästi. Jos laitteen toiminta ja vaikutukset on ennakoitua luokkaa, niin sille muodostuu nopeasti kysyntää niin koti- kuin vientimarkkinoilla, koska vastaavia laitteita ei ole markkinoilla.

2 Hankkeen tavoite

Hankkeen tavoitteena oli testata ammoniakin ja pölyn poistoon kehitettyä laitetta ja arvioida laitteen toimivuutta ja vaikutusta ilman laatuun, työntekijöiden viihtyvyyteen ja eläinten kasvatuloksiin broilerhalleissa.

3 Tutkimusosapuolet

Mittaukset tehtiin TTS tutkimuksen, VTT:n, Kuopion työterveyslaitoksen (TTL) ja MTT:n ilmanvaihdon asiantuntijoiden yhteistyönä.

Ilmanvaihdon, hiilidioksidin, lämpötilan ja suhteellisen kosteuden mittaukset suoritettiin VTT. Hengittyvän pölyn, endotoksiini-, mikrobi- ja otsonipitoisuuksien mittauksista vastasi Kuopion työterveyslaitos. TTS tutkimus mittasi sisäilman ammoniakkipitoisuuksia sekä lämmitysenergian kulutusta.

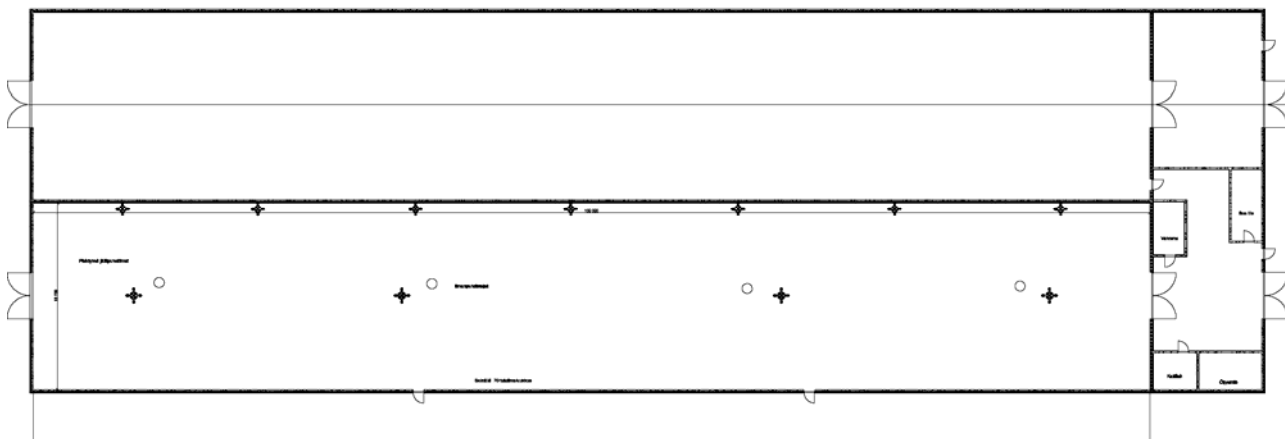
4 Koejärjestely ja mittaukset

4.1 Tutkittu kohde

Testausympäristöksi valittiin maatila, jossa oli mahdollisuus samanaikaisesti tutkia ja vertailla kahta identtistä broilerin kasvatushallia (kuvat 1 ja 2). Hallit sijaitsevat vierekkäin samassa rakennuksessa, ja ne on erotettu toisistaan väliseinällä. Yhden hallin koko on noin 17 x 96 m (1630 m²), jossa kasvatetaan kerralla 35 000 broileria. Hallit on rakennettu vuonna 1999.

Poikaserät saadaan samoista emokannoista halleihin samanaikaisesti ja hoitokäytännöt olivat täysin samanlaiset. Molemmissa halleissa ilmanvaihtojärjestelmänä on eläinsuojissa tavanomainen koneellinen alipainejärjestelmä. Kasvatuserän alkuvaiheessa käytetään myös koneellista tuloilman sisäänpuhallutusta, jota täydennetään ilmanvaihtotarpeen lisääntyessä automaattisesti avautuvilla seinään sijoitetuilla tuloilmaluukuilla.

Lanta ja virtsa imeytetään lattialle levitettävään kuivikkeeseen (turve), jota yleensä on noin 4-5 cm kerros.



Kuva 1. Pohjapiirros testausympäristöksi valituista broilereiden kasvatushalleista. Ilmanpuhdistinlaitteiden (neljä kpl) sijainti on merkitty vasemmanpuoleiseen osastoon (halli 1+) ympyröin keskelle osastoa.



Kuva 2. Sisäkuva broilerkasvatushallista. Ruokintalaitteet on nostettu katon rajaan pesun yhteydessä. Kuvan osastossa poistoilmanvaihtopuhaltimet (7 kpl) sijaitsevat katossa oikealla reunalla (rakennuksen keskiosassa), ja ulkoilmaventtiilit ulkoseinällä vasemmalla (70 kpl). Katossa ilmankierrätyspuhaltimet 4 kpl, ja takaseinällä kesäajan ilmanvaihdon tehospuhaltimet 4 kpl. Toinen osasto on peilikuva kuvan osastosta.

Hallien lämmitys hoidetaan hakelämmityskattilalla vesikiertojärjestelmällä. Hallien lämmityspotket kiertävät hallien sivuseinillä, kuva 7. Lämpötila on kasvatuksen alussa noin 33 °C ja kasvatuksen lopussa 23 °C, eli joka päivä lämpötilaa pudotetaan noin 0,3 °C. Vastaavasti ilmanvaihto on kasvatuksen alussa minimissä ja kasvaa koko kasvatuksen ajan.

4.2 Tutkittava laite

Toinen halleista (halli 1) varustettiin tutkittavilla neljällä laitteella. Laitteet asennettiin kasvatuserien välissä hallien pesun jälkeen.

Ilmanpuhdistimien (suom. pat 20070149, PCT-hakemus PCT/FI2008/000052) toiminta perustuu läpivirtaavan kaasun pesemiseen nesteillä ja samanaikaiseen kaasun käsittelemiseen desinfioivilla kaasuilla ja säteillä. Pesunesteenä käytössä oli tutkittavassa kohteessa vesi, ja desinfiointiaineina otsoni ja UV-säteily.

Vesipesu toteutettiin imemällä keskipakoispuhaltimella sisäilmaa pesuriin ja pesemällä sisään virtaava kaasu (ilma) paineistetulla vedellä joka ohjattiin useassa kohdassa pesurin läpivirtauskanavaan suihkusuuttimilla. Pesujen aikana ja niiden jälkeen kaasuvirtaan ohjattiin otsonia ja UV-säteilyä, jotka kehitettiin tarkoitukseen sopivilla radiaattoreilla. Kaasuvirrasta eroteltiin lopulta vapaat nestepisarot pisaranerotajalla.

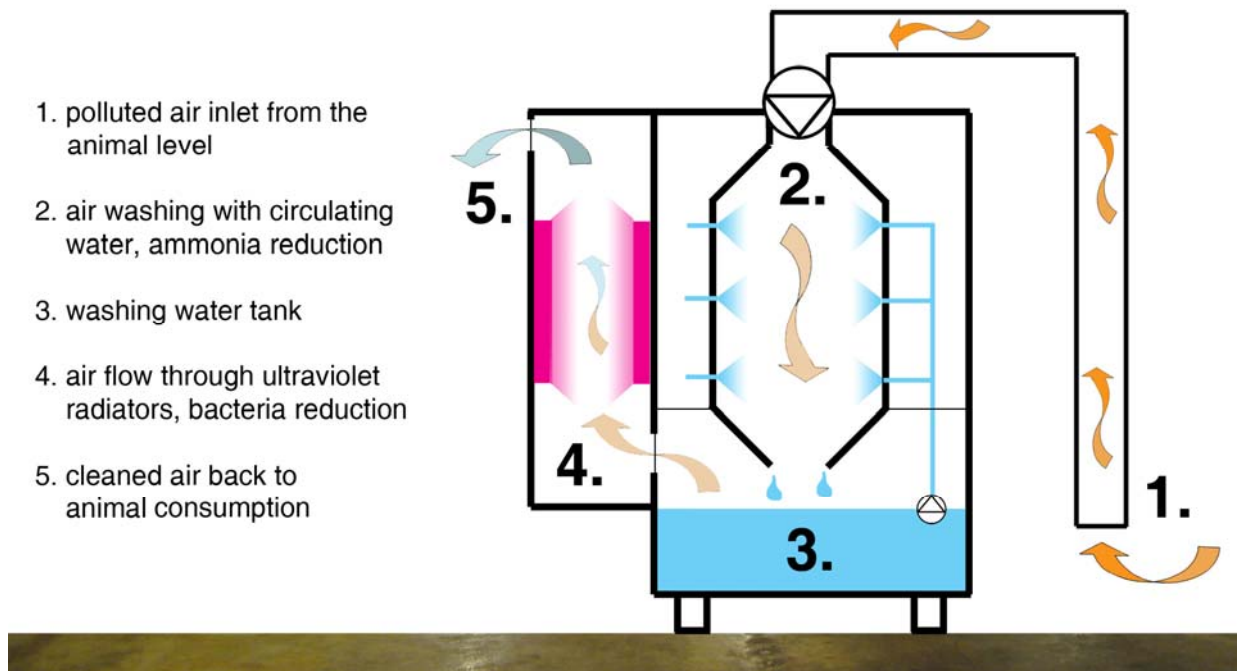
Yhden puhdistimen läpivirtaama kaasumäärä oli 2 000 m³/h. Sitä pestiin kierrätettävällä vedellä (n. 250 l), joka vaihdettiin kerran vuorokaudessa automaattisesti puhtaan veteen. Otsoni- ja UV-kehittimet olivat tarkoitukseen suunniteltuja lamppeja, joita oli yhteensä 20 kpl. Veden kierto toteutettiin paineenkorotuspumpulla. Laitteen kokonaisotto-voima oli n 3,5 kW.

Laitetoimittajan mukaan vesipesu poistaa laitteen läpivirtaavasta kaasusta kiinteät partikkelit 1 -2 mikrometriin saakka. Samalla laitteella muunlaisessa ympäristössä tehdyt kokeet osoittavat erotusasteen olevan tyypillisesti n 85 %, mutta keskimääräinen partikkelikoko vaikuttaa tähän.

Laite poistaa myös veteen liukenevia kaasuja. Testiympäristössä tunnettuja veteen liukenevia kaasuja olivat ammoniakki, tietyt rikkiyhdisteet (hajukaasuja) sekä hiilidioksidi. Näiden kaasujen erotusaste riippuu kemiallisesta vaikutusajasta (=aika jolloin kaasu kulkee pesurin läpivirtauskanavassa), lämpötilasta ja kierrätettävän pesunesteen konsentroitusasteesta.

Laitetoimittajan mukaan testiympäristöä vastaavissa lämpötiloissa ja vaikutusajoissa ammoniakin erotusaste on n 99 % ennen pesunesteen konsentroitumista. Useimpien rikkiyhdisteiden erotusaste on n 95, ja hiilidioksidin 10–15%.

Otsonin ja UV-säteilyn yhdistelmää käytetään bakteerien, virusten, sienten ja homeiden desinfiointiin. Näiden mikrobien jokainen alalaji omaa erilaisen vastustuskyvyn kyseiselle desinfiointimenetelmälle, joten eri mikrobit tarvitsevat erilaisen vaikutusajan säteilylle tai erilaisen annoksen otsonia.



Kuva 3. Tutkittavan ilmanpuhdistimen toimintaperiaate. Puhdistettava ilma ohjataan laitteeseen eläinten tasolta (1). Läpivirtauskanavassa (2) puhdistettavaan ilmaan ohjataan painevesisuihkut. Kaasut ja pölyt sitoutuvat veteen, joka kertyy säiliön pohjalle (3). Takaisin halliin puhallettava ilma kulkee otsoni- ja UV-kehittimen (4) läpi, jossa ilma desinfioidaan. Puhdistettu ilma palaa takaisin halliin.

4.3 Mittausmenetelmät:

Molempiin halleihin asennettiin mittausanturit lämpötilan, suhteellisen kosteuden, hiilidioksidin ja ammoniakin koko kasvatuskauden aikaista jatkuvaa mitaamista varten. Jatkuvat mittaukset aloitettiin heti poikasten sisäntulosta (28.2.).

Hallien ilmanvaihtolaitteiden toiminta-alue mitattiin ilmanpuhdistuslaitteiden asennuksen yhteydessä ennen poikasten sisäänottoa.

Hengittyvää pölyä ja mikrobipitoisuuksia hallien sisäilmassa mitattiin keräämällä pölynäytteet neljä kertaa kasvatuskauden aikana. Sisäilman otsonipitoisuuksia mitattiin kerran seurantajaksolla. Orgaanisen pölyn kahdeksan tunnin haitalliseksi tunnettu pitoisuus (HTP_{8h}) on 5 mg/m³.

Mittaustuloksia verrataan Maa- ja metsätalousministeriön eläinsuojelusäädöksiin (MMM-RMO C2.2) sekä sosiaali- ja terveysministeriön työsuojelusäädöksiä 4 "HTP-arvot 2007" annettuihin haitallisiksi tunnettuihin pitoisuuksiin (HTP). Altistumista verrataan kahdeksan tunnin raja-arvoon (HTP_{8h}), kun altistuminen kestää työvuoron ajan. Mikäli altistuminen on lyhytaikaista, verrataan mittaustuloksia viidentoista minuutin raja-arvoon ($HTP_{15\ min}$).

Endotoksiineille tai mikrobeille ei ole määritetty HTP-arvoa. Hollannissa endotoksiinien ohjearvoksi on ehdotettu $200\ EU/m^3$. Maa- ja metsätalousministeriön eläinsuojelusäädöksiin (MMM-RMO C2.2) pohjautuva pölyn ohjearvo on $10\ mg/m^3$.

Taulukko 1. Maa- ja metsätalousministeriön ohjearvot sekä Sosiaali- ja terveysministeriön antamat haitalliseksi tunnetut pitoisuudet eli HTP-arvot ammoniakille, hiilidioksidille ja pölylle.

	MMM ohjearvot kotieläinrakennuksiin	HTP_{8h}	$HTP_{15\ min}$
ammoniakki	$10\ ppm/25\ ppm^{(1)}$	20	50
hiilidioksidi	$3000\ ppm$	5000	⁽²⁾
orgaaninen pöly	$10\ mg/m^3$	5	10

1) kanalat, jos pitopaikassa käytetään pehkua

2) Suomessa ei ole annettu hiilidioksidille lyhytaikaisen altistumisen raja-arvoa

4.3.1 Jatkuvan mittauksen mittausmenetelmät:

Lämpötila, suhteellinen kosteus, hiilidioksidi.

Ilman lämpötilan ja suhteellisen kosteuden sekä CO_2 -pitoisuuden mittaukset tehtiin jatkuvatoimisilla seurantamittareilla yli kuukauden mittausseurantana ajalla 22.2. -

4.4.2008. Mittarit sijaitsivat kummassakin hallissa keskellä hallia noin 60 – 70 cm korkeudella lattiasta ja roikkuivat katosta. Broilerit saapuivat halleihin 28.2 ja poistuivat 1.4.

Ammoniakkipitoisuus.

Ammoniakkipitoisuutta mitattiin Dräger Pac 7000 NH_3 mittareilla samoin koko seurantajakson ajan. Molempiin halleihin sijoitettiin kaksi mittaria, yksi kumpaankin päähän, noin 60–70 cm korkeudelle lattiasta. Yksi mittareista vioittui seurannan aikana (hallin 2), ja siltä osin tuloksia ei saatu. Tallennusväli mittareissa oli 30 minuuttia.

Lämmitysenergia.

Hallien lisälämmityksen määrä seurantajaksolla laskettiin putkipattereiden pinta-lämpötilamittausten perusteella. Mittaukset tehtiin jatkuvana tallentavilla A-nap -lämpötila-antureilla 30 minuutin välein. Tulosten laskennassa on käytetty aina laskentahetken arvoja. Laskenta-ajankohdaksi valittiin klo 12. Seurantajakson ulkoilman lämpö-

tilat ja suhteellinen kosteus tilattiin myös Ilmatieteen laitokselta. Saadut arvot tukevat mittaustuloksia.

4.3.2 Kertaluonteisten mittausten mittausmenetelmät:

Ilmanvaihto

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

Koska mittaushetkillä halli oli tyhjä ja ilmanvaihto ei siten ollut normaalisäättötilanteessa, jouduttiin poistoilmavirta mittaamaan yhdestä poistoilmakanavan puhaltimesta ja mittaustulos muunnettiin laskennallisesti vastaamaan joko 3, 5 tai 7 kanavan poistoilmavirtaa tehosta riippuen. Tämä korjaus voi aiheuttaa mittaustuloksiin mittausrvirhetä.

Otsoni

Hallien ilman otsonipitoisuuksia mitattiin suoraanosoittavalla kaasuanalysaattorilla (GreyWolf yhdellä mittauskerralla (20.3.2008). Määritysraja otsonille oli 0,02 ppm.

Hengittävä pöly, pölyn hiukkaskokojakauma, endotoksiinit, mikrobit

Hengittävä pöly kerättiin kalvosuodattimille IOM-keräimillä ja analysoitiin punnitsemalla työohjeen TY04-TY-074 mukaan. Tulokset ilmoitetaan mg/m^3 .

Pölyn hiukkaskokojakaumia mitattiin suoraanosoittavalla optisella hiukkasmittarilla Grimm 1.105. Tilan isäntä siirsi mittarin mittausten puolivälissä ilmansuodatuslaitteilla varustetusta kasvattamosta vertailukasvattamon puolelle.

Endotoksiinipitoisuudet määritettiin LAL (Limulus amebocyte lysate) -entsyymiin perustuvalla kineettisellä kromogeenisellä menetelmällä (työohje TY04-TY-070), joka perustuu standardiin SFS-EN 14031:2003. Tulokset ilmoitetaan yksikössä EU/m^3 (Endotoxin Unit/ m^3 , endotoksiiniyksikkö/ m^3).

Mikrobien kasvatus on kuvattu taulukossa 2. Mikrobit kerättiin suodattimelle ohjeen (TY04-TY-034) mukaan, viljeltiin ja analysoitiin mikroskooppisesti. Tulokset ilmoitetaan elinkykyisten mikrobien määränä yksikössä cfu/m^3 (cfu = colony forming unit = pesäkkeen muodostava yksikkö). Mesofiiliset sienet ovat huoneen lämpötilassa viihtyviä, termotolerantit lämpösietoisia sieni-itiöitä. Termofiiliset aktinobakteerit ovat puolestaan lämpöhakuisia, lämpimässä viihtyviä, mikrobeja. Mesofiilisiä sienia kasvatettiin kahdella alustalla, normaalissa kosteudessa viihtyviä sienia varten käytettiin Hagem-alustaa ja kuivassa viihtyviä seiniä varten DG-18-alustaa. Geometrisen keskiarvon laskennassa alle määritysrajan olleiden mikrobimäärien arvona käytettiin yleisen käytännön mukaisesti puolta määritysrajasta.

Taulukko 2. Mikrobien kasvatust

Mikrobiryhmät	Kasvatusalustat	Kasvatus- lämpötila	Kasvatus- aika
Mesofiiliset sienet	Rose Bengal mallasuute -agar (Hagem-agar)	+ 25°C	7 vrk
Mesofiiliset sienet	Dikloran-glyseroli-agar (DGI8-agar)	+ 25°C	7 vrk
Termotolerantit sienet	Rose Bengal mallasuute -agar (Hagem-agar)	+ 40°C	5 vrk
Mesofiiliset bakteerit	Tryptoni-hiivauute-glukoosi -agar (THG-agar)	+ 25°C	7-14 vrk
Termofiiliset aktinobakteerit	½ vahva Nutrient-agar	+ 55°C	3 vrk

4.4 Eläinten kasvatustulokset

Broilereiden kasvutuloksia arvioitiin teurastamon raportin mukaan.

5 Tulokset ja tulosten tarkastelu

Tuloksissa hallit on merkitty siten, että H1 + tarkoittaa hallia, jossa oli ilmanpuhdistuslaitteistot, ja H2 - on puolestaan vertailuhalli.

5.1 Ilmanvaihto

Mitatut ilmavirrat on esitetty taulukossa 3. Säättöteholla 58 %, jolloin hallien lämpötila oli 23 °C (vastaten kasvatusajan loppua), poistoilmavirrat olivat MMM:n ohjearvojen sisällä, joskin alarajan lähellä. Molempien hallien keskinäiset ilmavirrat olivat mittauksen perusteella ja epävarmuudet huomioiden lähellä toisiaan lukuun ottamatta säättötehoa 10 %.

Taulukko 3. Ilmanvaihdon mittaustulokset. Ohjearvon minimi- ja maksimiarvot on laskettu 35 000 broilerin mukaan. Puhdistimet olivat hallissa I.

Ilmanvaihdon säättöteho (%)	Poistoilmavirta (m ³ /h) halli I+ / halli 2–	MMM-RMO C2.2:n ilmanvaihdon ohjearvo minimi / maksimi (m ³ /h)
10 ^{x)}	3 600 / 2 500	3500 / 17 500
58 ^{y)}	34 200 / 36 000	28 000 / 175 000
100 ^{z)}	88 200 / 93 200	28 000 / 175 000

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

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

^{z)} mitattu yhdestä puhaltimesta, mutta tulos on muunnettu vastaamaan kaikkia seitsemää puhallinta. Ohjearvot ovat 35 vrk ikäisille broilereille. Lisäksi kohteessa on neljä lisäpuhallinta, joilla puhallusta tehostetaan kesähelteillä.

Tutkittavien laitteiden puhdistuskapasiteettia voidaan arvioida hallien ilmanvaihtomäärien sekä laitteiden läpi kulkevan ilmamäärän perusteella. Tuotantokauden lopulla suositeltu minimi-ilmanvaihtomäärä tutkittavassa hallissa on 28 000 m³/h. Halliin asennettujen neljän puhdistuslaitteen ilmapuhaltuskapasiteetti oli yhteensä 8000 m³/h. Jos ilmanpuhdistuslaitteiden puhdistuskapasiteetti on 100 %:inen, laitteiden käyttö vastaa ilmanvaihdon lisäämistä vastaavalla ilmamäärällä, eli nostaa tehollisen ilmanvaihtomäärän 36 000 m³:iin.

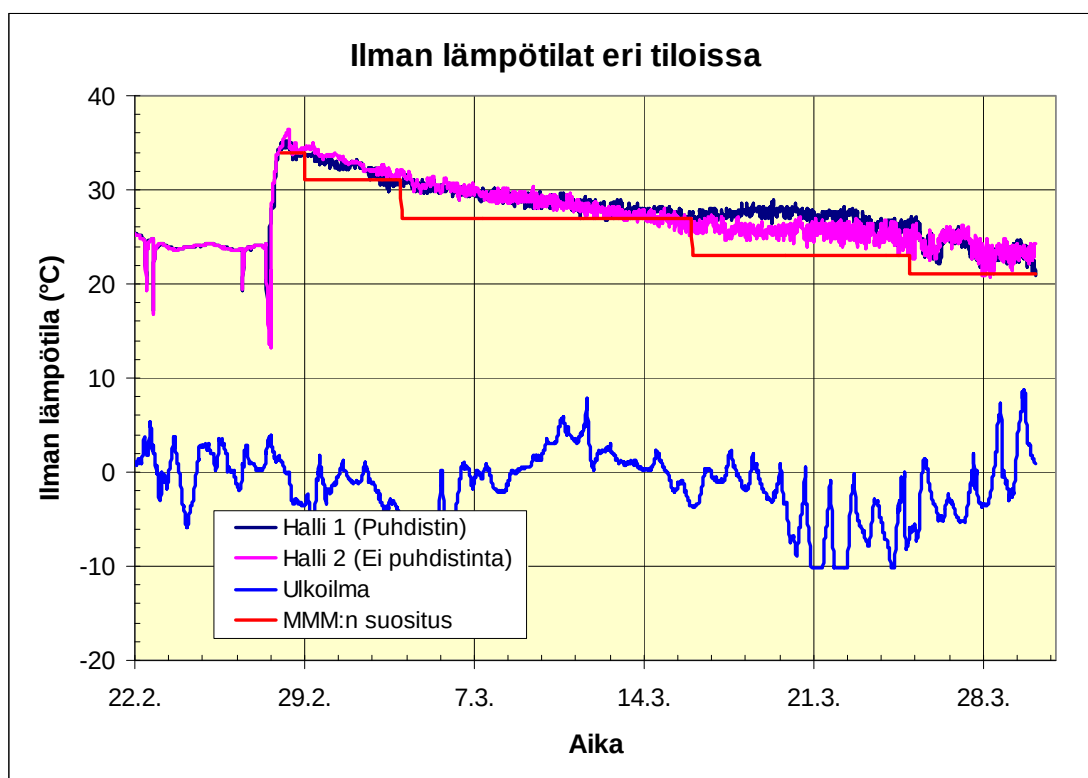
Teoreettisesti tarkastellen ilman epäpuhtauksien pitoisuudet alenevat lisääntyneen ilmanvaihdon suhteessa, eli tässä tapauksessa tutkittavassa hallissa pitoisuudet alenisivat 22 %. Käytännössä voidaan havaita suurempia alenemia, jos ilman pitoisuudet eivät ole jakautuneet eläintilaan tasaisesti. Puhdistuslaitteeseen eläinten tasolta otetun ilman pitoisuudet voivat olla korkeammat kuin poistoilman.

5.2 Ilman lämpötila- ja suhteellinen kosteus

Kuvan 4 mukaan hallien sisäilman lämpötila pysyi hyvin MMM:n suosituslämpötilan puitteissa koko kasvatuksen ajan ollen noin 23 - 35 °C välillä. Tavoiteltu lämpötila kasvatuksen aikana alussa on 33 °C ja lopussa 23 °C. Molempien hallien lämpötila pysyi lähes samanlaisena. Poikkeuksena oli ajanjakso 16. – 24.3., jolloin hallissa 1 lämpötila oli keskimäärin 1,6 °C korkeampi kuin hallissa 2. Syytä tähän ei tiedetä.

Ulkolämpötila oli 20. - 22.3. selvästi alle -10 °C, mutta mittari ei mitannut sitä alempia lämpötilalukemia. Myös mittausjakson kylmimmällä ajanjaksolla (20. - 22.3) sisälämpötilat ovat pysyneet tasaisina.

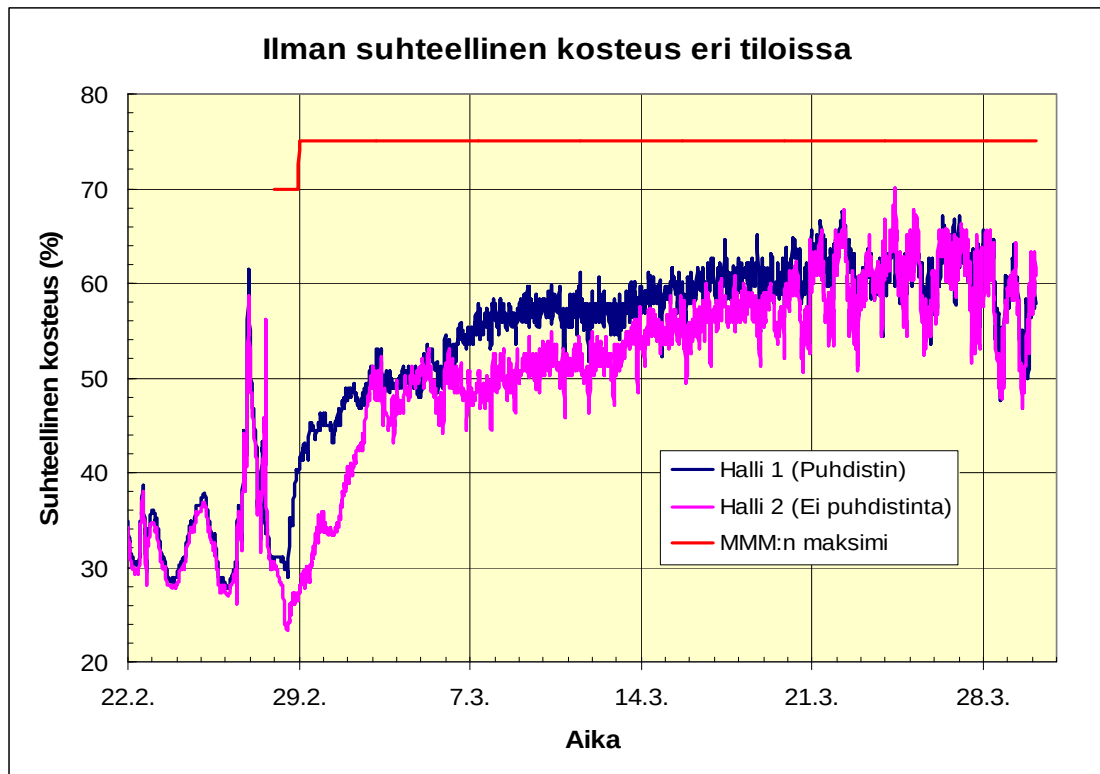
Mittaustulokset ennen broilerien saapumista osoittavat, että lämpömittarit eri hallissa mittasivat hyvin tarkasti samoja arvoja.



Kuva 4. Ilman lämpötila eri halleissa ja ulkoilmassa. Broilerit saapuivat halleihin 28.2 ja poistuivat 1.4.

Kuvaan 5 on merkitty ilman suhteellinen kosteus eri pisteissä mittausseurannan ajalta. Kuvaan on myös merkitty MMM RMO C2.2:n maksimikosteusarvo. Kummankin hallin sisäilman suhteellinen kosteus oli kasvatusaikana noin 30 - 65 % ja jäi selvästi maksimiohjeearvon 75 % alapuolelle koko kasvatusjakson aikana. Hallissa 1 kosteus oli jonkin verran suurempi 22.2. asti, jonka jälkeen kosteudet olivat halleissa samaa luokkaa. Tämä selittyy puhdistuksessa käytetystä vesimäärästä.

Mittaustulokset ennen broilerien saapumista osoittavat, että kosteusmittarit eri hallissa mittasivat hyvin tarkasti samoja arvoja.



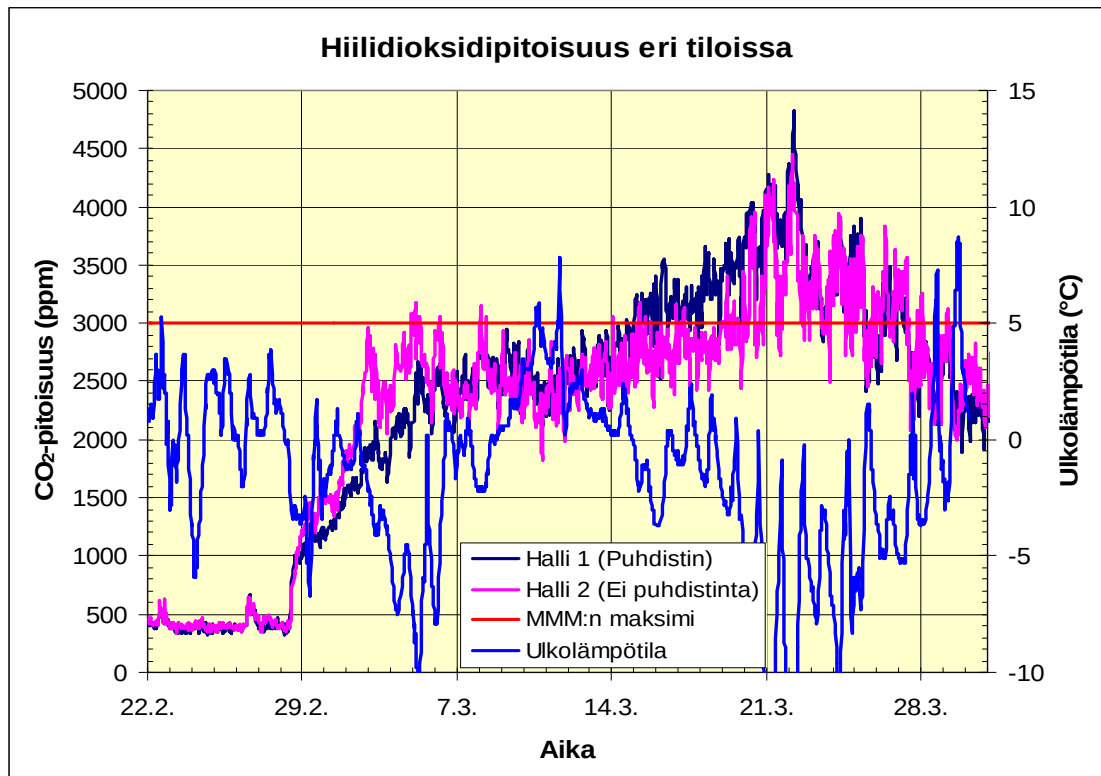
Kuva 5. Ilman suhteellinen kosteus eri halleissa. Broilerit saapuivat halleihin 28.2 ja poistuivat 1.4.

5.3 Hiilidioksidipitoisuus

Kuvaan 6 on merkitty ilman CO₂-pitoisuus mittausseurannan ajalta. Kuvaan on myös merkitty MMM RMO C2.2:n maksimiohjeearvo. Mittausten mukaan CO₂-pitoisuus ylitti ohjeearvon 3000 ppm kummassakin hallissa. Syynä tähän ilmeisesti on ollut se, että koska ulkolämpötila oli 20. - 22.3 selvästi alle -10 °C, ovat ilmanvaihtotehot halleissa laskeneet sisälämpötilojen pitämiseksi suositusten mukaisina.

Ensimmäisellä mittausviikolla hallin 1 CO₂-pitoisuus oli keskimäärin 360 ppm matalampi kuin hallissa 2. Tämän jälkeen lukemat tasoittuivat ollen loppukasvatusajan liki samoja. Tämä selittyy sillä, että kasvatuksen alkuvaiheessa ilmanvaihdon teho oli pienimmillään, jolloin puhdistimen vaikutus tuli näkyviin. Sen jälkeen puhdistimen vaikutus peittyi ilmanvaihdon aiheuttamaan pitoisuuden laimenemiseen. Poikkeuksena oli ajanjakso 16. - 24.3, jolloin hallissa 1 CO₂-pitoisuus oli keskimäärin 440 ppm korkeampi kuin hallissa 2. Syytä tähän ei tiedetä.

Mittaustulokset ennen broilerin saapumista osoittavat, että CO₂-mittarit eri halleissa mittasivat hyvin tarkasti samoja arvoja.



Kuva 6. Sisäilman CO₂-pitoisuus tutkituissa broilerhalleissa. Broilerit saapuivat halleihin 28.2 ja poistuivat 1.4. Kuvaan on myös merkitty ulkoilman lämpötila.

5.4 Ammoniakkipitoisuus

Ammoniakkipitoisuuden mittaamiseen käytetyissä Dräger Pac 7000 –mittareissa on ominaisuutena ns. nollapisteen vaimennus, minkä vuoksi mittarit eivät rekisteröi alle 5 ppm:n pitoisuuksia. Mittareita käytetään ensisijaisesti pitoisuusilmaisimina, ja nollapisteen vaimennuksella vältetään laitteiden mahdollisten tarkkuusvirheiden vuoksi antamia virheilmoituksia.

Tutkituissa broilerkasvatushalleissa ammoniakkipitoisuudet olivat kaiken kaikkiaan odotettua pienemmät, jolloin nollapisteen vaimennusominaisuuden merkitys pitoisuuksien rekisteröinnissä olikin yllättävän suuri.

Mittarit rekisteröivät pitkään nollapitoisuutta kasvatuskauden alkupuolella molemmissa halleissa. Alhaiset pitoisuudet ovat odotettavat, koska poikaset ovat pieniä ja lannantuotto vielä vähäistä. Pitoisuudet alkoivat nousta vähitellen 17.3. jälkeen molemmissa halleissa muutamia yksittäisiä sitä ennen rekisteröityjä pitoisuuksia lukuunottamatta. Selkein pitoisuuksien nousu tapahtui 20.3. jälkeen, ja pääasiassa hallissa, jossa ilmanpuhdistajia ei ollut.

Kuvassa 7 on esitetty ammoniakkipitoisuuksien päivittäiset keskiarvot ajalta 21.–30.3. kummassakin kasvatushallissa. Hallissa 1+, jossa ilmanpuhdistajat sijaitsivat, ammoniakkipitoisuus oli mainitulla ajalla keskimäärin 1,42 ppm, ja hallissa 2– (ei ilmanpuhdistajaa) 4,97 ppm.

Suhteellinen alenema on suuri ilmanpuhdistuslaitteiden kapasiteettia ajatellen. Tutkittavien laitteiden ilmanpuhdistuskapasiteettia arvioitiin luvussa 5.1 hallien ilmanvaihdomäärien perusteella, ja teoreettinen pitoisuuksien alenema olisi esitetyillä edellytyksillä 22 %. Ammoniakkipitoisuus on kuitenkin alentunut mittausten perusteella 71 %. Yksi selitys teoreettista suuremmalle pitoisuuden alentumiselle voi olla, että puhdistimien

ottaman ilman pitoisuudet olivat korkeammat kuin poistoilman pitoisuudet, kuten edellä todettiin.

On myös mahdollista, että pitoisuuksien alhaisuuden ja mittausteknisen virhemahdollisuuden vuoksi pitoisuuksien ero halleissa on todellisuudessa ollut jonkin verran esitettyä pienempi. Nollapisteen vaimennusominaisuuden vuoksi mitatut nollapitoisuudet ovat voineet olla pieniä alle 5 ppm:n pitoisuuksia.

Hallissa 1+, jossa ilmanpuhdistimet olivat, ammoniakkipitoisuus vaihteli tuotantokauden lopulla tyypillisesti nollasta seitsemään ppm:ään muutamia korkeampia arvoja lukuun ottamatta. Myös hallissa 2– mittarit rekisteröivät tuotantokauden lopulla päivittäin 0 ppm pitoisuuksia, mutta huomattavasti harvemmin kuin hallissa 1+. Hallissa 2– pitoisuudet vaihtelivat silloin suurimmaksi osaksi 5–10 ppm. Kuvassa 8 on esitetty esimerkkinä ammoniakkipitoisuuden vuorokautinen vaihtelu 22.3.

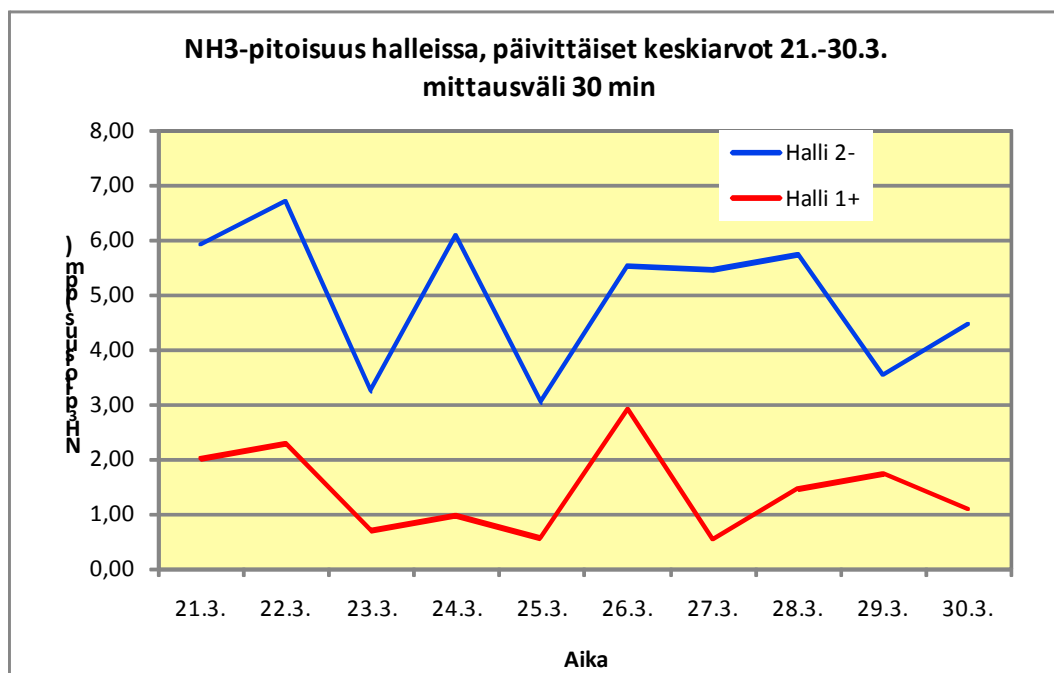
Ajanjaksolla 21.–30.3. hallissa 1+ nollapitoisuuksia oli 76 % ja hallissa 2– nolla-arvoja oli 27 % rekisteröityneistä arvoista. On todennäköistä, että ammoniakkipitoisuus hallissa 1+ on ollut keskimäärin hieman korkeampi kuin mitattu 1,42 ppm.

Hallissa 2– oli havaittavissa vuorokautinen trendi ammoniakkipitoisuudessa: pitoisuudet olivat usein alimmillaan iltapäivällä ja korkeimmillaan aamun ja yön tunteina. Täysin säännönmukainen trendi ei ollut, mutta näkyy selvästi jakson 21.–30.3. keskiarvoja tarkasteltaessa (kuva 9). Selitys vaihtelulle on todennäköisesti pienempi ilmanvaihdon määrä yöaikaan, jolloin ulkolämpötila laskee. Hallissa 1+ vuorokautista trendiä ei ole yhtä selkeästi, mutta päiväsaikaan pitoisuudet ovat sielläkin matalimmillaan. Pitoisuuspiikit ajoittuvat molemmissa halleissa samoihin kellonaikoihin.

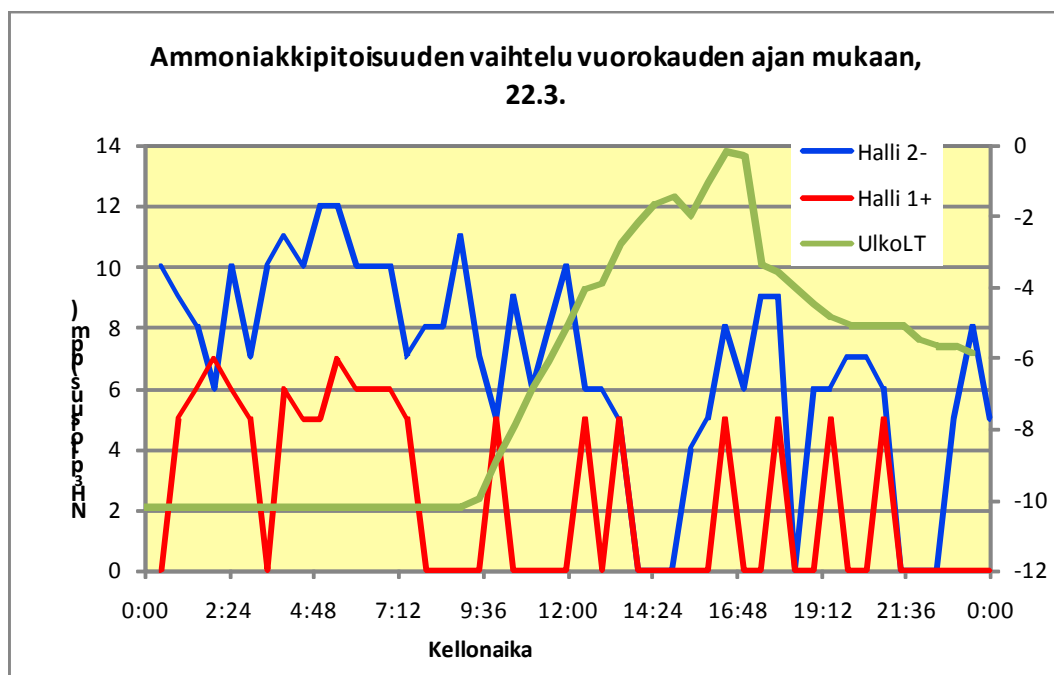
Kyseiseltä ajanjaksolta on tässä tarkastelussa jätetty pois keskiarvoista 26.3., jolloin hallissa on käyty noutamassa mittarit välitarkastusta varten. Pitoisuudet nousivat toimenpiteiden aikana molemmissa halleissa. Hallissa 2– ammoniakkipitoisuus nousi 42 ppm:ään ja hallissa 1+ 24 ppm:n. Hallissa 1+ pitoisuus on käynyt lisäksi hetkellisesti samana päivänä myös aamutarkastuksen aikaan 34 ppm:ssä.

Pitoisuus oli säännönmukaisesti alempi hallissa, jossa ilmaa puhdistettiin tutkituilla laitteilla. Ilman laatua ja ammoniakin haittavaikutuksia ajatellen pitoisuudet olivat varsin alhaiset myös hallissa, jossa ilmanpuhdistimia ei ollut.

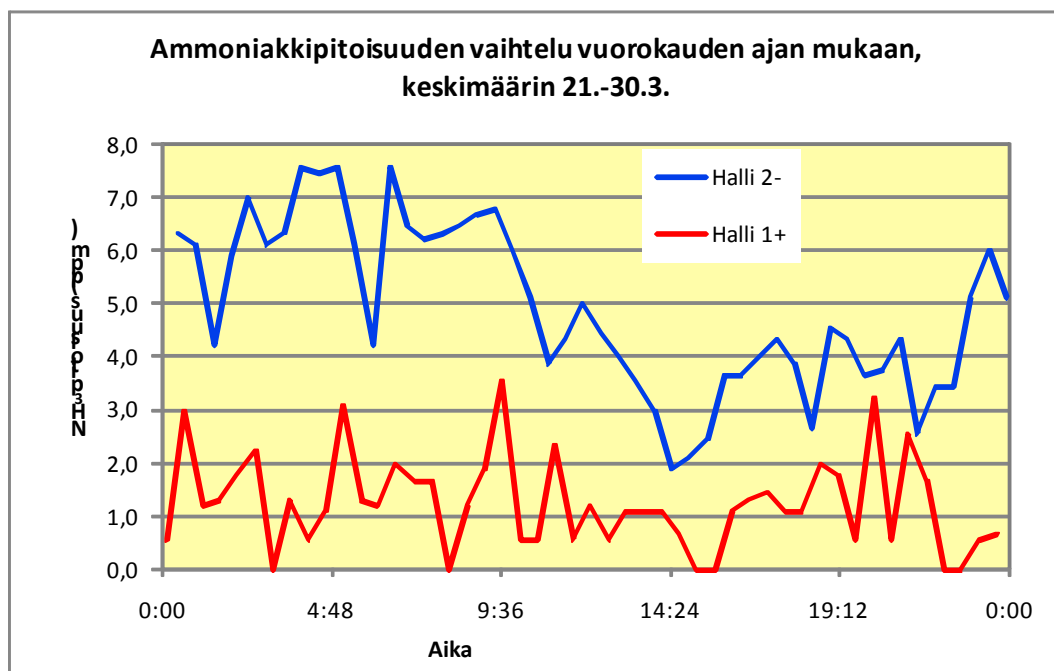
Eläinsuojeluväitösten mukaiset suositusarvot kanalailman ammoniakkipitoisuudelle, joita ei tulisi ylittää kuin tilapäisesti, ovat 10 ppm ja 25 ppm, kun kanalassa käytetään pehkuu, kuten broilerkasvattamoissa. EU:n uuden ns. broileridirektiivin (Komission direktiivi 2007/43/EC, voimaan kesäkuussa 2010), mukaan korkein sallittu pitoisuus broilerkasvattamoissa on 20 ppm.



Kuva 7. Ammoniakkipitoisuuksien päivittäiset keskiarvot tutkituissa broilerhalleissa ajalla 21.- 30.3.



Kuva 8. Ammoniakkipitoisuuden vaihtelu tutkituissa broilerhalleissa 22.3.



Kuva 9. Vuorokauden aikainen ammoniakkipitoisuuden vaihtelu tutkituissa broilerhalleissa keskimäärin ajalla 21-31.3. lukuun ottamatta 26.3., jolloin esiintyi poikkeavia pitoisuuksia.

5.5 Pöly ja mikrobit

Mittau tulokset on ilmoitettu aritmeettisina (AM) ja geometrisina keskiarvoina (GM), koska pölynäytteiden tulokset eivät yleensä ole normaalisti jakautuneet. Tällöin yksi suuri arvo voi vaikuttaa liikaa aritmeettiseen keskiarvoon. Geometrinen keskiarvo ottaa paremmin huomioon yksittäiset "poikkeavat" arvot.

Tuloksia on tarkasteltu tilastollisin menetelmin (Wilcoxon signed rank sum test). Tilastollisesti merkitseviä eroja hallien välillä ei todettu.

Tulokset ovat suuntaa-antavia, koska näytteitä kerättiin kullakin mittauksella vain yksi. Useammasta näytteestä laskettu keskiarvo kullakin mittauksella kuvaisi hallien erilaisten pölyjen määrää luotettavammin. Tässä hankkeessa näytteiden määrä haluttiin pitää kohtuullisena, koska tutkijat eivät itse päässeet broilerihalleihin sisälle, vaan tilan isäntä toimi näytteiden kerääjänä. Toisaalta useampi halleista kerätty näyte olisi tarkoittanut myös useampaa käyntiä kasvatushallien puolella, mikä osaltaan olisi lisännyt lintujen aktiviteettiä ja siten todennäköisesti myös pölyn määrää halleissa.

5.5.1 Hengittyvä pöly

Ilmanpuhdistuslaitteistoilla varustetussa hallissa ilman hengittyvän pölyn pitoisuudet olivat jokaisella mittauksella hieman alhaisemmat kuin vertailuhallissa (taulukko 4). Ilmansuodatuslaitteilla varustetussa hallissa hengittyvän pölyn pitoisuus oli keräävällä näytteenottomenetelmällä analysoituna keskimäärin noin 15 % pienempi kuin ilman suodatinlaitteita olleessa hallissa.

Taulukko 4. Hengittyvän pölyn pitoisuudet (mg/m³)

mittauspäivä	hengittyvä pöly	
	H1 +	H2 -
3.3.	0,7	1
13.3.	4,6	6,5
20.3.	7,1	8,3
31.3.	10	10,6
KA	5,6	6,6
GM	4	5

KA = aritmeettinen keskiarvo

GM = geometrinen keskiarvo

5.5.2 Pölyn hiukkaskokojakaumat

Optisen hiukkasmittarin tulokset on esitetty liitteessä 1. Tuloksia ei ole korjattu todelliseen pölypitoisuuteen, joten kuvioiden pystyakselilla olevat lukemat eivät ole absoluuttisia eivätkä eri mittauskerroilla keskenään vertailukelpoisia. Sen sijaan hallien välisiä eroja voidaan arvioida tällä menetelmällä. Kuvioissa olevat kolme kuvaaja ovat ylhäältä lukien hengittyvä pölyjae, keuhkoputkiin sekä keuhkorakkulatasolle pääsevä pölyjae. Jakeilla pyritään mallintamaan sitä, miten pöly tunkeutuu ihmisen hengityselimistöön.

Eroa hallien hengittyvän pölyn pitoisuuksissa ei havaittu selvästi kuin ensimmäisellä mittauskerralla, jolloin pölyä oli hallien ilmassa vähiten. Työterveyslaitoksen tutkimuksessa perinteisissä sikaloissa pölypitoisuudet ovat olleet 0,2–26 mg/m³ (Louhelainen ym. 1998) ja turvepohjaisissa sikaloissa 3,5–41 mg/m³ kiinteissä mittauspisteissä (Mäittälä ym. 2001). Navetoista mitatut pitoisuudet (keskiarvo 1,8, vaihtelu 0,2–5,5 mg/m³ hengitysvyöhykkeellä) ovat olleet selvästi alhaisempia kuin sikalasta mitatut. Hengittyvän pölyn pitoisuus oli koehallissa (ilmansuodatuslaitteistot) hieman alle sosiaali- ja terveysministeriön ohjearvon (5 mg/m³), ja vertailuhallissa puolestaan hieman yli vastaavan arvon.

5.5.3 Endotoksiinit

Endotoksiinien pitoisuuksissa oli eroa hallien välillä. Ilmansuodatuslaitteilla varustetussa hallissa ilman endotoksiinipitoisuus oli noin 25 % pienempi kuin vertailuhallissa. Endotoksiinipitoisuudet olivat lähes kymmenkertaisia Hollannin terveysperusteiseen ohjearvoon verrattuna. Työterveyslaitoksessa tutkimuksessa pihattonavetoista mitatut pitoisuudet ovat olleet 200–900 EU/m³ kiinteissä mittauspisteissä (Rissanen ym. 2004), purupohjasikaloissa 3200–14000 EU/m³ purupohjan käynnön aikana kiinteissä mittauspisteissä ja turvepohjaisissa sikaloissa 3200–31000 EU/m³ (Mäittälä ym. 2001).

Taulukko 5. Endotoksiinien pitoisuus (EU/m³)

mittauspäivä	endotoksiinit	
	H1 +	H2-
3.3.	600	510
13.3.	2700	1600
20.3.	- *	- (16000)**
31.3.	2100	9400
KA	1800	3840
GM	1500	1970

* näyte rikkoontui tilalla

** 20.3 mittauskerran osalta vertailuhallin tuloksen mukaanottaminen keskiarvon laskentaan vinouttaisi tulosta, koska ilmansuodatuslaitteilla varustetun hallin endotoksiinipitoisuutta ei ole tiedossa. Siksi myös vertailuhallin tulos jätetään huomioimatta.

5.5.4 Mikrobit

Broilerihallien ilmasta mitatut mikrobien pitoisuudet on esitetty taulukossa 6. Mikro-beista eniten ilmassa esiintyi bakteeri-itiöitä, jopa kymmenkertainen määrä sieni-itiöihin verrattuna. Lämpimässä viihtyvien mikrobien pitoisuudet olivat selvästi pienempiä kuin muiden mikrobien.

Taulukko 6. Broilerihallien ilman mikrobipitoisuudet (cfu/m³)

Päivä	mesof - (hagem) H1 +	mesof- (hagem) H2-	mesof - (DG-I8) H1 +	mesof - (DG-I8) H2-	Termotol- (hagem) H1 +	Termotol- (hagem) H2-	Mesof-bakt (THG) H1 +	Mesof-bakt (THG) H2-	termotol akt (nutrient) H1 +	termotol akt (nutrient) H2-
3.3.	15500	27400	103000	17700	1000	490	383000	47700	20	30
13.3.	157000	168000	532000	266000	50	30	155000	1550000	20	30
20.3.	580000	1230000	449000	1350000	510	1340	10100000	14600000	20	30
31.3.	12900	16700	11700	47400	129	30	10300000	19900000	20	30
KA	191000	361000	273925	420000	420	490	5230000	9020000	20	30
GM	65300	98600	130000	132000	90	240	1576000	2150000	20	30

Kaikki termotoleranttien aktinobakteerien sekä osittain termotoleranttien sienten tulokset olivat alle menetelmän määrittäysrajan.

H1+ = ilmansuodatuslaitteet kasvattamossa, H2- = ei ilmansuodatuslaitteita

Mikrobi-itiöpitoisuuksien osalta halleilla ei ollut merkittävää eroa. Mikrobipitoisuudet olivat sikaloissa mesofiilisten sieni-itiöiden osalta hieman pienempiä, mutta termotoleranttien ja termofiilisten mikrobien osalta selvästi suurempia kuin nyt broilerihalleista mitatut pitoisuudet (Mänttälä ym. 2001). Lämpimässä viihtyviä mikrobeja pidetään terveydelle haitallisempina, joten broilerihallien osalta tilanne vaikuttaa paremmalta kuin turvepohjaisissa sikaloissa todettiin.

5.5.5 Otsoni

Broilerihallin ilmassa ei ollut mitattavia määriä otsonia mittauspäivänä.

5.6 Energiankulutus

Ilmanpuhdistajien potentiaalinen yhteenlaskettu ilmavirta on 8 000 m³/h. Suositeltava ilmanvaihto hallissa vaihtelee ulkoilman lämpötilan ja broilereitten painon mukaan, ol-
len tässä kasvatuserässä 2 500 – 50 000 m³/h. Kasvatuskauden alussa määräävinä tekijöinä ovat CO₂ -pitoisuus ja suhteellinen kosteus. Kasvatuskauden lopussa määrääväksi tekijäksi muodostuu hallin sisälämpötila.

Hallissa 1 CO₂- pitoisuus oli ensimmäisen viikon lopussa 2 530 ppm, jota vastaava laskennallinen ilmamäärä on 6 015 m³/h. Tällöin hallin lämmitystehoksi olisi tarvittu 81,6 kW. Laskennallinen lämmitysteho hallin putkipattereilla oli 80,8 kW. Kasvatuskauden aikana todellinen lämmöntarve laski tasaisesti eikä eroa laskennallisiin arvoihin juuri ollut. Laittevalmistajan mukaan hiilidioksiditasoa voidaan laitteella alentaa noin 10 % eli n. 300 ppm. Tätä vastaava lämmitystehon ja energian tarve riippuu oleellisesti sisä- ja ulkolämpötilasta, suhteellisesta kosteudesta ja lintujen koosta.

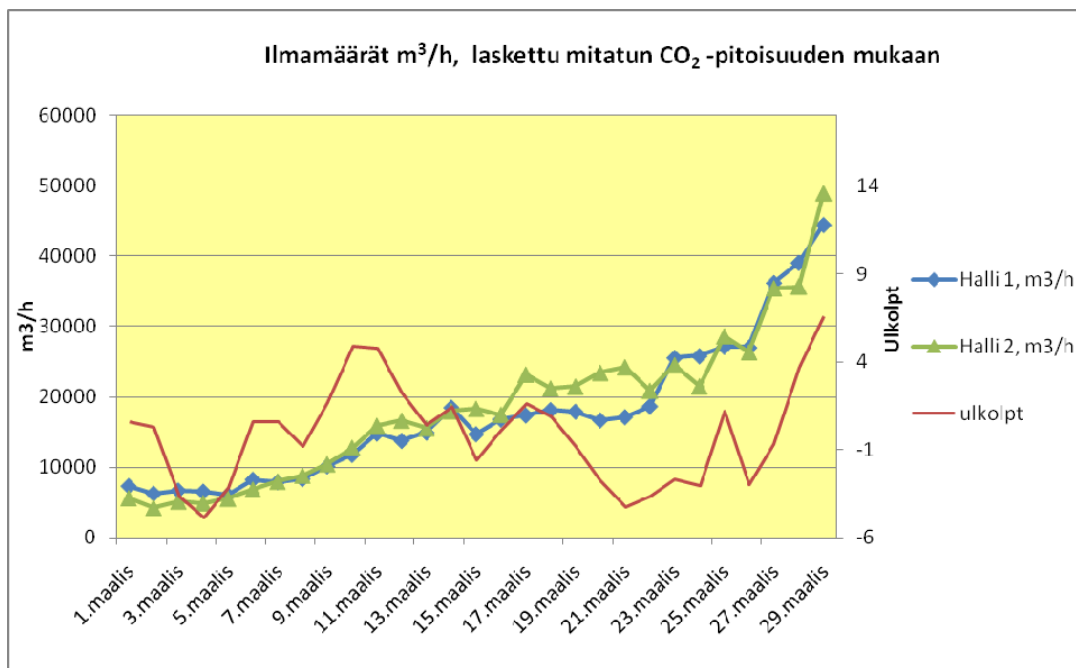
Kuvassa 10 on esitetty mitatun hiilidioksidipitoisuuden perusteella lasketut ilmamäärät molemmissa kasvatushalleissa. Hallissa 2 oli jonkin verran pienemmät hiilidioksidipitoisuudet kuin hallissa 1. Tämä johtuu hallin 2 suuremmista ilmanvaihtomääristä. Laskennallisten ilmamäärien oikeellisuutta selvittää kuva 11. Siinä ilmamäärät on laskettu halleihin tuotetun lisälämmön mukaan.

Lisälämmön tarve hallissa 2 on kasvatuskauden aikana noin 15 % suurempi kuin hallissa 1. Tämän kasvatuserän kohdalla laskennallinen energiankulutus tuotettu broileri kohti oli 1,93 kWh hallissa 1 ja 2,22 kWh hallissa 2. Energiankulutus broileria kohti olisi voinut olla pienempi, jos ilmanvaihtomäärät olisivat säätyneet tarkemmin. Hallissa 1 olisi voitu säästää kuusi lämmityspäivää ja hallissa 2 viisi lämmityspäivää, mikä olisi säästänyt energiakustannuksia lähes neljänneksellä.

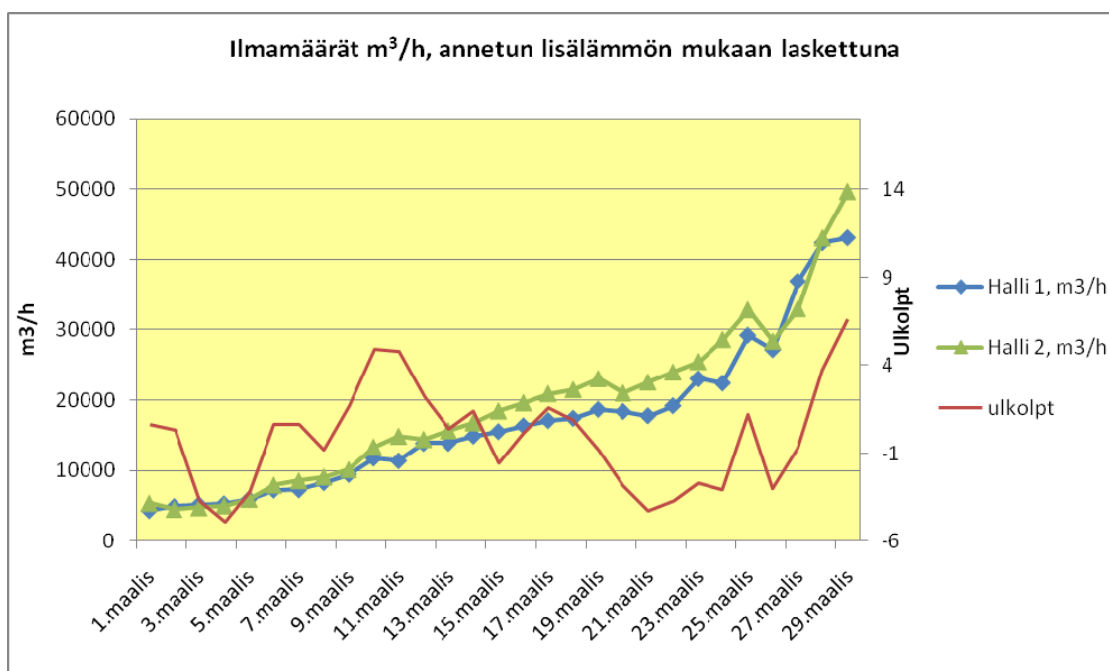
Kuvassa 12 tarkastellaan rakennuksiin syötettyjen energiamäärien ja sisälämpötilojen riippuvuutta. Hallin 2 pienemmät CO₂-pitoisuudet nostavat selvästi energian tarvetta halliin 1 verrattuna. Käyristä voidaan myös päätellä massiivisen betonirakennuksen vastaavan viiveellä ulkoilman lämpötilamuutoksiin. Kuvassa 14 tarkastellaan vielä energiankulutuksen ja mitattujen CO₂-pitoisuuksien suhdetta.

Hallien energiankulutusta voidaan tarkastella myös mitattujen CO₂-pitoisuuksien perusteella (kuva 13). Tällöin energiantarve poikkeaa jonkin verran rakennuksiin tuotetuista energiamääristä. Hallissa 1 on kasvatuskauden alussa selvästi korkeampia kulu-
tuslukemia, kuin hallissa 2, mutta kasvatuskauden puolenvälin jälkeen hallissa 2 energi-
ankäyttö kasvaa merkittävästi, vaikka sisälämpötila laskee alemmaksi kuin hallissa 1.

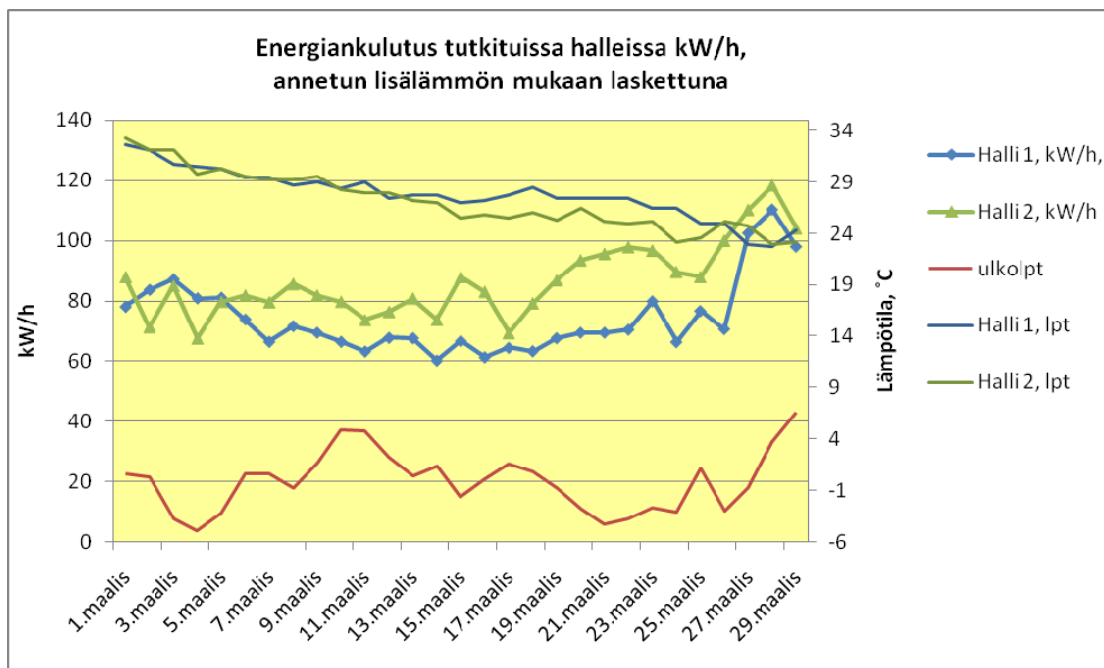
Hallissa käytettyjen neljän laitteen nimellinen kokonaisottoteho oli yhteensä 14 kW, mikä merkitsee maksimissaan 336 kWh:n energian kulutusta vuorokaudessa. Tämä tekee koko tuotantokaudella laitteiden energiankulutukseksi noin 11500 kWh. Tuotettua broileria kohti tämä merkitsee 0,34 kWh lisäystä, jolloin hallissa I energian kulutus kasvaa samalle tasolle halli II:n energiankulutuksen kanssa.



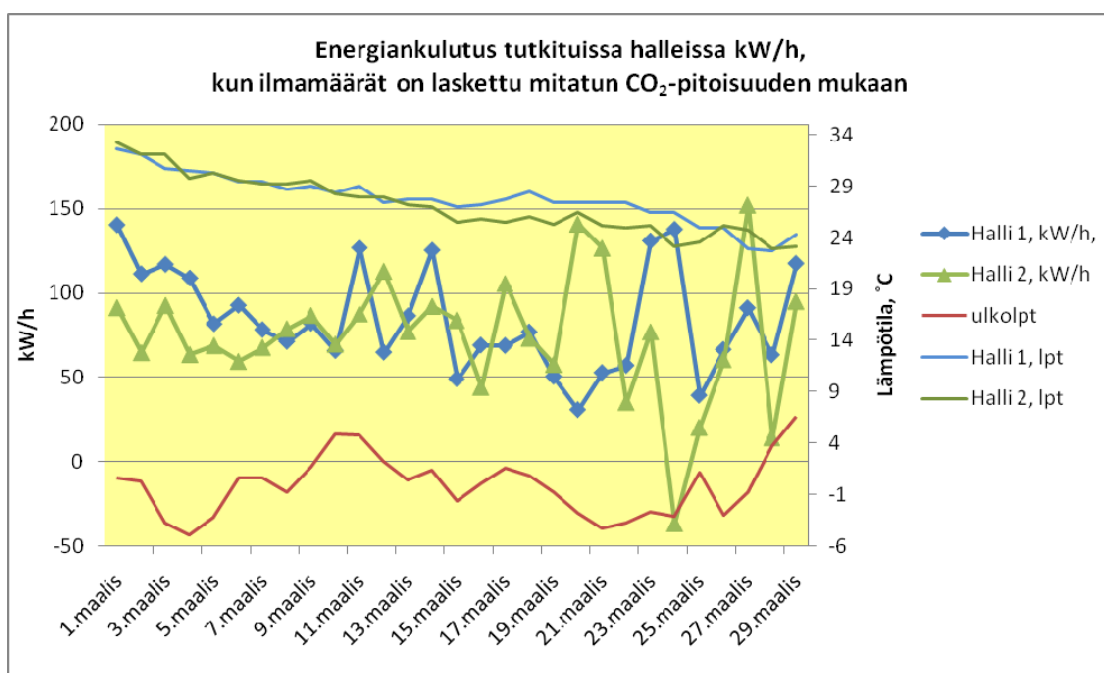
Kuva 10. Ilmanvaihtomäärät tutkituissa broilerhalleissa laskettuna mitattujen CO₂-pitoisuuksien perusteella.



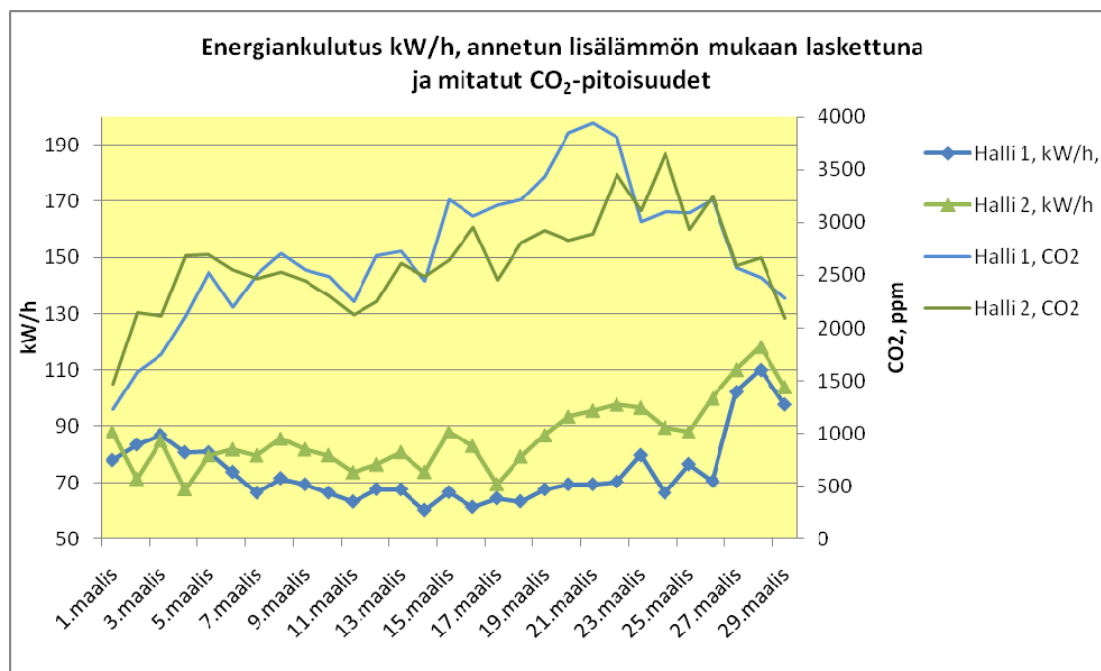
Kuva 11. Ilmanvaihtomäärät tutkituissa broilerhalleissa laskettuna lämmitysjärjestelmän lämpötilamittausten perusteella.



Kuva 12. Energiankulutus tutkituissa broilerhalleissa (kW/h) laskettuna lämmitysjärjestelmän lämpötilamittausten perusteella.



Kuva 13. Energiankulutus tutkituissa broilerhalleissa (kW/h), kun hallien ilmanvaihtomäärät on laskettu mitattujen CO₂-pitoisuuksien perusteella.



Kuva 14. Energiankulutus tutkituissa broilerhalleissa (kW/h) suhteessa mitattuihin CO₂-pitoisuuksiin.

5.7 Eläinten kasvutulokset

Kasvatuskausi alkoi molemmissa halleissa 28.2. Poikasten alkupaino oli keskimäärin 42 g. Kasvatuskausi päättyi 2.4. hallissa 1+ (34 pv) ja 1.4. hallissa 2- (33 pv). Kasvutuloksissa ei ollut merkittäviä eroja eri halleissa (taulukko 3). Myöskään hylättyjen eläinten hylkäysyissä ei ollut eroa.

Taulukko 7. Eläinten kasvutulokset tutkituissa kasvatushalleissa

	H1+	H2-
eläimiä kasvatuskauden alussa, kpl	35 300	35 283
kuolleisuus, %	4,81	5,66
eläimiä toimitettu teuraaksi yht., kpl	33 602	33 285
keskipaino, kg	1,456	1,438
kasvatusaika, pvää	34	33
keskikasvu, g/pv/el	41,6	42,3
teuraaksi korvattavaa yhteensä, kg	48 238	47 194

6 Yhteenveto ja johtopäätökset

Tavoitteena oli testata ammoniakkin ja pölyn poistoon kehitettyä laitetta ja arvioida laitteen toimivuutta ja vaikutusta ilman laatuun broilerhalleissa.

Sekä vertailuhallissa että ilmanpuhdistimin varustetussa broilerhallissa ilmanlaatu oli kohtalaisen hyvä koko tutkimusjakson ajan. Hallien lämpötila ja suhteellinen kosteus pysyivät hyvin suositusarvojen rajoissa, suhteellinen kosteus oli reilusti maksimi-arvoja alhaisempi. Tutkimushallissa suhteellinen kosteus oli kasvatuskauden alkupuolella hieman korkeampi, johtuen todennäköisesti puhdistimien käyttämästä vedestä. Loppujaksolla eroa ei kuitenkaan ollut.

Hiilidioksidipitoisuuden osalta suositusarvot ylittyivät kasvatuskauden keskivaiheessa parin viikon ajalla, jolloin ulkoilman lämpötila laski alle 0°C:een. Hiilidioksidipitoisuuden kohoaminen on seurausta ilmanvaihdon pienenemisestä sisälämpötilan laskeessa. Mitatut hiilidioksidipitoisuudet seurasivat ulkoilman lämpötilamuutoksia. Korkeimmillaan hiilidioksidipitoisuus oli noin 4500–4800 ppm. Ulkoilman lämpötilan kohotessa hiilidioksidipitoisuus laski jälleen suositusrajan (3000 ppm) alle vielä loppukasvatuskaudella. Puhdistimilla ei ollut vaikutusta hiilidioksidipitoisuuteen korkeissa pitoisuuksissa.

Ammoniakkipitoisuudet olivat varsin alhaiset molemmissa halleissa. Puhdistimet näyttivät alentavan pitoisuutta vallinneissa olosuhteissa. Kasvatuskauden viimeisten 10 päivän aikana mitattiin ammoniakkipitoisuudeksi vertailuhallissa keskimäärin 5 ppm ja puhdistimin varustetussa hallissa 1,4 ppm. Käytettyjen ammoniakkimittareiden nollapisteen vaimennusominaisuuden vuoksi alle 5 ppm:n pitoisuudet jäivät rekisteröimättä, ja todelliset pitoisuudet ovat todennäköisesti hieman korkeammat. Nolla-arvoja rekisteröitiin enemmän ilmanpuhdistimilla varustetussa hallissa. Koska pitoisuudet ko. hallissa olivat myös matalammat kuin vertailuhallissa, virhe keskimääräisessä ammoniakkipitoisuudessa on suhteellisesti suurempi kuin vertailuhallissa.

Vaikka tuloksissa on epävarmuustekijöitä hallien todellisista ammoniakkipitoisuuksista, ilmanpuhdistimilla varustetussa hallissa ammoniakkipitoisuudet olivat koko tutkimusjakson vertailuhallia matalammat. Tutkimuksen perusteella ei kuitenkaan pystytty arvioimaan laitteiden vaikutusta korkeammissa pitoisuuksissa.

Ilmansuodatuslaitteilla varustetussa hallissa hengittyvän pölyn pitoisuus oli keräävällä näytteenottomenetelmällä analysoituna keskimäärin noin 15 % pienempi kuin ilman suodatinlaitteita olleessa hallissa. Hengittyvän pölyn pitoisuus oli koehallissa (ilmansuodatuslaitteistot) hieman alle sosiaali- ja terveysministeriön ohjearvon (5 mg/m³), ja vertailuhallissa puolestaan hieman yli vastaavan arvon. Optisella mittarilla mitattuna eroa hallien hengittyvän pölyn pitoisuuksissa ei havaittu selvästi kuin ensimmäisellä mittauskerralla, jolloin pölyä oli hallien ilmassa vähiten.

Endotoksiinien pitoisuuksissa oli eroa hallien välillä. Ilmansuodatuslaitteilla varustetussa hallissa ilman endotoksiinipitoisuus oli noin 25 % pienempi kuin vertailuhallissa. Endotoksiinipitoisuudet olivat lähes kymmenkertaisia Hollannin terveysperusteiseen ohjearvoon verrattuna. Mikrobi-itiöpitoisuuksien osalta halleilla ei ollut merkittävää eroa. Haitallisimpina pidettyjen mikrobien pitoisuudet olivat molemmissa halleissa melko hyvällä tasolla esimerkiksi turvepohjaisissa sikaloissa todettuihin verrattuna.

Tämän kasvatuserän kohdalla laskennallinen energiankulutus tuotettu broileri kohti oli 1,93 kWh hallissa 1 ja 2,22 kWh hallissa 2. Lisälämmön tarve hallissa 2 on kasvatuskauden aikana noin 15 % suurempi kuin hallissa 1. Hallin 2 energiantarvetta nostivat suuremmat ilmanvaihtomäärät halliin 1 verrattuna. Energiankulutus broileria kohti olisi voinut olla pienempi, jos ilmanvaihtomäärät olisivat säätyneet tarkemmin. Hallissa 1 olisi voitu säästää kuusi lämmityspäivää ja hallissa 2 viisi lämmityspäivää, mikä olisi säästänyt energiakustannuksia lähes neljänneksellä.

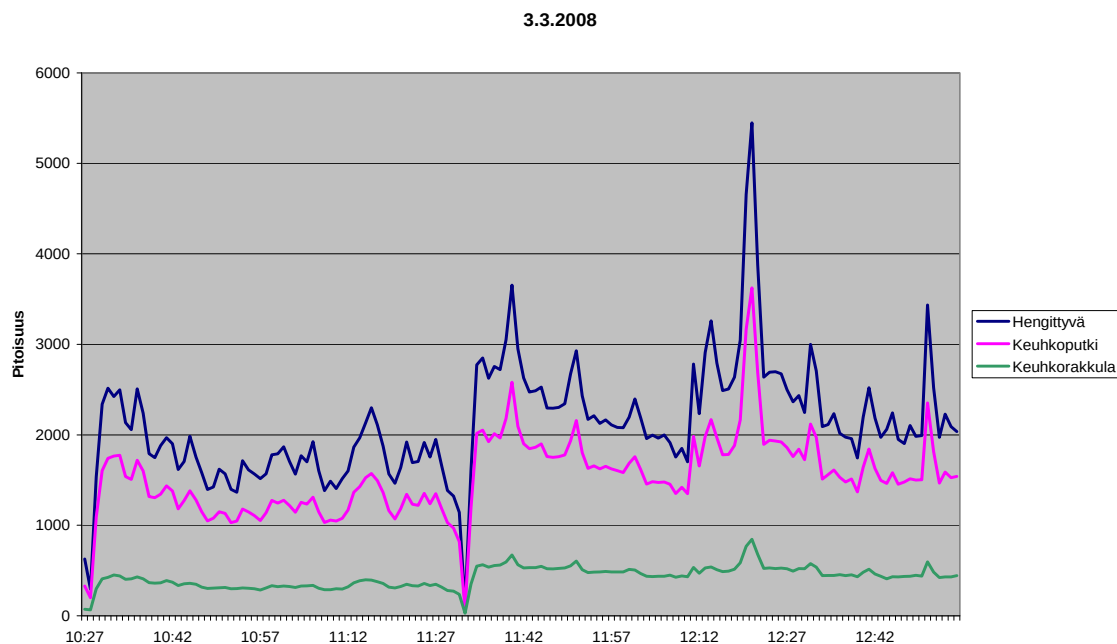
Tutkittava laite toimi tehtyjen mittausten perusteella ilman epäpuhtauksien puhdistamisessa jotakuinkin odotusten mukaisesti. Laitteen ilmankäsitteilykapasiteetti oli kuitenkin riittämätön verrattuna rakennuksen kokonaisilmanvaihtoon verrattuna. Lisäksi laitteen sähkönkulutus on huomattava, mikä vaikuttaa sen käyttökustannuksiin. Periaatteessa laitteen avulla on mahdollista vähentää rakennuksen ilmanvaihtotarvetta, jolloin voitaisiin säästää rakennuksen lämmityskustannuksissa. Tämä edellyttää ilmanvaihtolaitteilta ja lämmitysjärjestelmiltä kuitenkin tarkempaa säätömahdollisuutta.

Lähteet

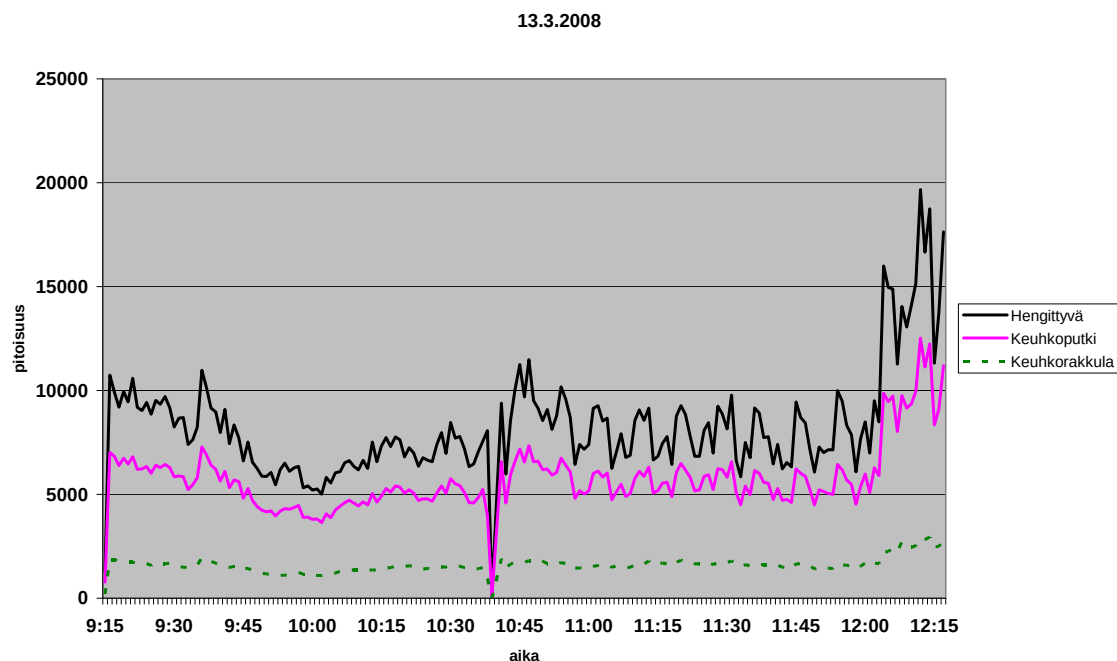
- Louhelainen K, Kangas J, Seuri M, Veijanen A, Reiman M, Pyykkönen M, Rautiala S, Viilos P: Terveydelle haitalliset päästöt purupohjasikalassa. Loppuraportti Maatalousyrittäjien eläkelaitokselle 1.4.1998. Kuopion Alue työterveyslaitos 1998. 23 s + liitteet.
- Maa- ja metsätalousministeriön rakentamismääräykset ja -ohjeet: Maatalouden tuotantorakennusten lämpöhuolto ja huoneilmasto, MMM-RMO osa C2.2.). 2008. 9 sivua.
- Mäittälä J, Heinonen-Tanski H, Herve S, Kangas J, Louhelainen K, Nikkola T, Paasonen M, Rautiala S, Seuri M, Veijanen A.: Turve kestopuivikkeena sikaloissa. MTT:n julkaisuja. Sarja A 97: (2001) 64 s. + 9 liitettä
- Pedersen, S., Sällvik, K (Editors), 2002, 4th Report of Working Group on Climatization of Animal Houses. Heat and Moisture Production at Animal and House Levels. Published by Danish Institute of Agricultural Sciences, Denmark. ISBN 87-88976-60-2.
- Rissanen P, Hentilä H, Lankia O, Leskinen J, Louhelainen K, Luomala-Toikkanen K, Mäittälä J, Mäkitalo M, Nevala N, Perkiö-Mäkelä M, Rautiala S, Rytönen E, Simola A & Kangas J: Työympäristö ja kuormittuminen suurnavetoissa. Julkaisussa Uusi-Kämpä J, Rissanen P (toim.) Suuret pihatot - eläinten hyvinvointi, lypsyn työnmenekki, työolot ja ympäristöhoito. Maa- ja elintarviketalous nro 47. Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskus; 2004. 184 s.
- Seppänen Olli, 2004. Ilmastoinnin suunnittelu. Talotekniikka-Julkaisut oy. 427 s.
- Tuunanen, L. , Karhunen, J. Eläinsuojien ilmanvaihdon mitoitus. Vakolan tutkimuslaskelma 39. 1984. 123 s.

Liite I. Pölyn hiukkaskokojakaumat, optisen hiukkasmittarin tulokset

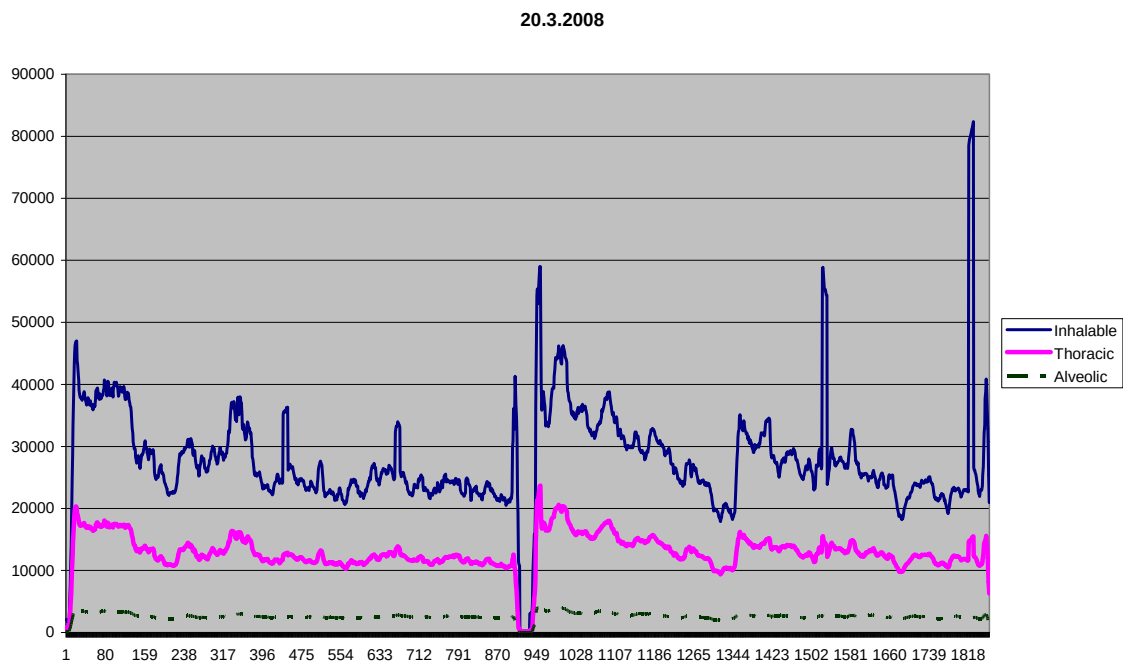
Kuvissa 15–18 olevat kolme kuvaaja ovat ylhäältä lukien hengittyvä pölyjäte, keuhkoputkiin sekä keuhkorakkulatasolle pääsevä pölyjäte. Jakeilla pyritään mallintamaan sitä, miten pöly tunkeutuu ihmisen hengityselimistöön. Kunakin päivänä mittari sijoitettiin ensin ilmanpuhdistimilla varustettuun halliin ja siirrettiin mittaussjakson puolivälissä vertailuhalliin.



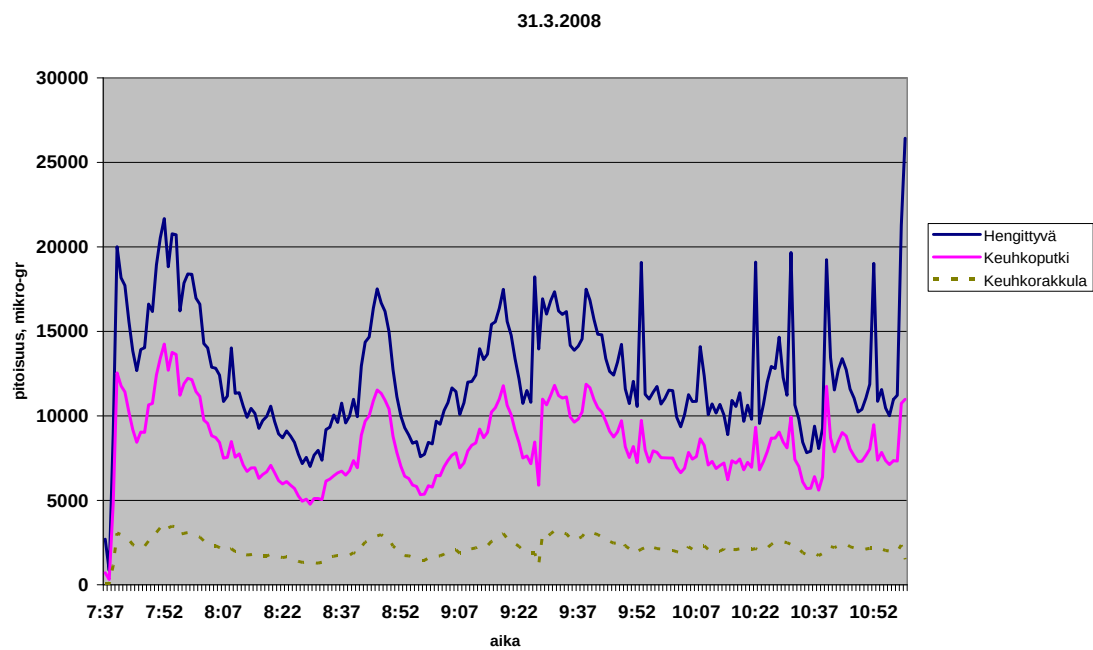
Kuva 15. Suoraanosoittava optinen laskuri, 3.3.2008



Kuva 16. Suoraanosoittava optinen laskuri, 13.3.2008



Kuva 17. Suoraanosoittava optinen laskuri, 20.3.2008



Kuva 18. Suoraanosoittava optinen laskuri, 31.3.2008