

MTT RAPORTTI 112

Broilerihallin ilmanvaihdon hienosäätö

Tapani Kivinen, Jorma Heikkinen, Ismo Heimonen, Jarmo Laamanen



Broilerihallin ilmanvaihdon hienosäätö

Tapani Kivinen, Jorma Heikkinen, Ismo Heimonen, Jarmo Laamanen

ISBN: 978-952-487-480-9

ISSN: 1798-6419

URN: <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-487-480-9>

<http://www.mtt.fi/mtraportti/pdf/mtraportti112.pdf>

Copyright: MTT

Kirjoittajat: Tapani Kivinen, Jorma Heikkinen, Ismo Heimonen ja Jarmo Laamanen

Julkaisija ja kustantaja: MTT Jokioinen

Julkaisuvuosi: 2013

Kannen kuva: Tapani Kivinen

Broilerihallin ilmanvaihdon hienosäätö

Tapani Kivinen¹⁾, Jorma Heikkinen²⁾, Ismo Heimonen²⁾, Jarmo Laamanen²⁾

¹⁾ Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskus MTT, Koetilantie 5, 00790 Helsinki

²⁾ VTT, Tekniikantie 4A, 02044 VTT

Tiivistelmä

Broilerihallien ilmanvaihdon hienosäätö -hankkeen tavoitteena oli optimoida ilmanvaihdon säätö- ja ohjaustapa huomioiden ilmanvaihtojärjestelmän tyyppi ja mitoitusmekanismit, Suomen olosuhteet ja kasvatusjaksojen olosuhdevaatimukset. Hanke jakautui kolmeen toiminnalliseen osioon: web-kyselyyn broilerikasvattajille, olosuhdemittauksiin valituissa kasvatushalleissa sekä ilmanvaihdon simulaatiolaskentaan vuoden jaksolle.

Ilmanvaihdon toimintaa havainnollistettiin esimerkkihalliin tehdyllä simulointilaskennalla yhden vuoden kuudelle kasvatusjaksolle. Laskennalla kuvattiin ilmanvaihdon ja lämmityksen ohjaustapojen vaikutusta lämmön ja puhallinsähkön kulutukseen sekä hallin sisälämpötilaan, kosteuteen ja epäpuhtauspitoisuuksiin. Esimerkkihallin pinta-ala oli 1600 m² ja sisätilavuus 5900 m³. Untuvikkojen määränä laskelmissa oli 28000 ja ne kasvoivat 2,4 kg elopainoon 37 vuorokaudessa.

Vuoden aikana 1600 m² halli kulutti noin 200 MWh lämpö- ja 6 MWh sähköenergiaa. Lämmitysenergiakulutus oli noin 0,75 kWh teuraspainokiloa kohden vuodessa. Kyseessä on laskennallinen tulos, joka voidaan saavuttaa Etelä-Suomessa, jos ilmanvaihto ja lämmitys toimivat optimaalisesti. Jyväskylän ilmatossa lämmitysenergiaa kuluu peräti 25 % enemmän kuin Etelä-Suomessa vaikka ulkolämpötila on vain 2,1 astetta alempi kuin Etelä-Suomessa. Ilmanvaihdon lämpöhäviö oli selvästi suurin lämpöhäviön osatekijä broilerihallissa. Lämmitystehon tarpeen ja kosteuden kannalta on ilmeistä, että ilmanvaihtoa kannattaisi pienentää yöllä lintujen aktiiviteettia vastaavaksi. Lämmitystehon tarve pienenee tällä tavoin 11 %, lämmitysenergian tarve 12 % ja puhallinenergian tarve 3 %. Muutenkin ilmanvaihdon määrällä ja tarkoituksenmukaisella säädöllä on suuri vaikutus lämmitysenergian kulutukseen. Kulutus lisääntyy laskelmien mukaan 44 %, jos ilmanvaihtoa lisätään niin, että hallin CO₂-pitoisuus laskee eläinsuojelulain maksimistasosta 3000 ppm arvoon 2500 ppm.

Poistoilman lämmön talteenotolla saavutettiin laskentatapauksissa 27–42% säästö lämmitysenergiankulutuksessa perustapaukseen verrattuna, jos laitteen hyötysuhde on 70 % ja sen ilmavirtakapasiteetti riittää 5 – 10 ensimmäisen kasvatuspäivän tarpeisiin. Lämmön johtumisella rakenteiden läpi oli merkitystä lähinnä kasvatusjakson alussa ja jaksojen välillä. Laskentaesimerkeissä lisäeristämällä saavutettiin 4–6 % säästö lämmitysenergiankulutuksessa perustapaukseen verrattuna. Rakennusta ei siis kannata ylieristää. Lattian eristyksestä saatetaan saavuttaa se lisähyöty, että pehkun alle ei jää potentiaalisia kondenssipintoja. Rakennuksen ilmatiiviuden parantaminen pienentää lämmitysenergian kulutusta kun käytössä on poistoilman lämmön talteenotto. Kun rakennuksen tiiviyyttä parannetaan siten, että ilmavuotojen määrä on 20 % perusarvosta, lämmitysenergian kulutus pienenee 10–16 %. Hyvä rakennuksen ilmatiiviyys helpottaa ilmanjaon hallintaa myös kun lämmön talteenottolaitteistoa ei ole. Liikaa vuotavassa rakennuksessa ei saavuteta riittävän suurta alipainetta ensimmäisinä kasvatusviikkoina, jolloin tuloilmasuuhkujen heittoisuus jää vajaaksi ja ilmanjako ei toteudu tarkoitettulla tavalla.

Hallin suunnittelussa kannattaa kiinnittää huomiota lämmitysratkaisun valintaan. Laskelmat osoittivat, että suurin hetkellinen lämmitysteho tarvitaan kun kovat pakkaset osuvat kasvatusjakson loppupäähän. Huipputehontarpeet ovat luonteeltaan lyhytaikaisia energiapiikkejä. Lämmityskattilan tehoa ei välttämättä kannata mitoittaa suurimman tehotarpeen mukaan. Pienemmällä kattilalla voidaan hoitaa pääosa lämmitystarpeesta ja huipputehot voitaisiin tuottaa pienemmällä ja myös pienemmän investoinnin vaativilla laitteilla, mutta kalliimman energian lähteillä.

Avainsanat:

broilerikasvattamo, ilmanvaihto, energian säästö, lämmön talteenotto

Ventilation control fine tuning in broiler production buildings

Tapani Kivinen¹⁾, Jorma Heikkinen²⁾, Ismo Heimonen²⁾, Jarmo Laamanen²⁾

¹⁾ MTT Agrifood Research Finland, Koetilantie 5, FI-00790 Helsinki

²⁾ VTT, Tekniikantie 4A, FI-02044 VTT

Abstract

Finetuning of broilerhouse ventilation research targeted optimizing of ventilation control strategies in Finnish climate circumstances. The project had three separate phases. The first one was web enquiry to broiler producers. The enquiry introduced 50 answers and gave general overview of present production buildings and their ventilation technology. The second phase concluded of environmental measurements in chosen production halls with slightly different ventilation techniques. The aim of the measurements was to give benchmark data for the simulations in the third phase.

The simulation was done for 6 production batches per year taking Helsinki and Jyväskylä long period climate data into consideration. Simulation program optimized temperature, humidity and gas concentrations according to target values presented in EU directive 2007/43/EY. The main interest was the consumption of energy and its saving possibilities. Calculations were made for a building with 1600 m² floor area and 5900 m³ volume. Each growing batch included 28000 broilers who grew into 2,4 kg in 37 days.

The following results are calculations for an ideal situation where ventilation and heating are working optimally in southern Finland climate. The annual energy consumption in the 1600 m² hall was 200 MWh heat and 6 MWh electricity. The total heating energy consumption was 0,75 kWh per each butchered broiler (net weight). In central Finland, where outdoor temperature is 2,1 degrees Celsius lower, the heating energy consumption is no less than 25% higher than in southern Finland. The main heat loss was due to ventilation. The control of CO₂-level is crucial and has great impact on energy consumption. Lower air flow rate during the nights, according to lower activity levels, would save energy and improve the conditions. The savings in heating power demand is 11 %, in heating energy 12 % and in fan energy 3 %. Decrease of CO₂ level from the target value 3000 ppm to 2500 ppm increases the energy consumption by 44 %. The heat recovery from exhaust air to inlet air saved 27–42 % of heating energy, depending on sizing of the heat recovery device. Heat loss through the building envelope was rather small in comparison with the ventilation heat loss. Better insulation summed up to only 4–6 % of heating energy saving. There seems to be no need to increase insulation levels from the present practice. Better air-tightness of the building envelope may improve the supply air distribution performance, especially in the beginning of the growing period when low ventilation rates are not able to maintain sufficient under pressure in the hall. This also has energy saving potential of 10–16 % if ventilation heat recovery is used.

Dimensioning of the heating system is important in the preliminary building design phase. The maximum heat demand takes place in Finnish climate during the frost periods and at the end of growing batches. The heating energy peaks are very short in time and it may not be reasonable to size the main heat production system according to these peaks. Extra heat can be produced with more expensive energy form with lower investment in energy system.

Keywords:

broiler production building, ventilation, energy saving, ventilation heat recovery

Alkusanat

Broilerihallien ilmanvaihdon hienosäätö - hanke on ollut MTT:n ja VTT:n toteuttama yhteistutkimus. Yhteistyötahoina ovat toimineet mittauskohteina olleet broilerikasvattamot sekä 50 kasvattajaa, jotka vastasivat web-kyselyyn. Kyselyn käytännön järjestelyissä saatiin apua myös Suomen Siipikarjaliitolta. Tietoja mittauksista ja niiden tulkinnasta on vaihdettu Helsingin yliopiston maataloustieteiden laitoksen kanssa, missä myös on tutkittu broilerihallien energiataloutta. Kiitämme yhteistyöstä tutkija Mari Rajaniemeä.

MTT on toiminut hankkeen koordinoijana ja laatinut tämän loppuraportin yhteistyössä VTT:n tutkijoiden kanssa. Hankkeen tuloksena on syntynyt hallinnollinen loppuraportti rahoittajalle, tämä loppuraportti sekä ammattilehtiartikkeleita.

MTT:n Kotieläintuotannon tutkimuksessa hankkeen vastuullisena vetäjänä on toiminut Tapani Kivinen. VTT:n vastuulliset tutkijat ovat olleet Ismo Heimonen ja Jorma Heikkinen. Jarmo Laamanen VTT:ltä on tehnyt mittausosion.

Hankkeella oli maa- ja metsätalousministeriön asettama ohjausryhmä, johon kuuluivat Raija Seppänen maa- ja metsätalousministeriöstä puheenjohtajana, Marko Nummela Farmitilatech Oy:stä, Ilkka Pohjamo Pohjamo Oy:stä sekä Petri Yli-Soini Atria Oy:stä. Ohjausryhmä on kokoontunut yhteensä 7 kertaa. Lisäksi on pidetty yksi sähköpostikokous.

Hankkeen päärahoittajana on ollut Maatilatalouden kehittämisrahasto Makera. Lisäksi tutkimusorganisaatiot ovat panostaneet omarahoitusosuutensa.

Tutkimusryhmä kiittää rahoittajaa ja yhteistyökumppaneita hankkeen läpiviennin mahdollistamisesta.

Helsingissä elokuussa 2013

Tapani Kivinen
Ismo Heimonen
Jorma Heikkinen

Sisällysluettelo

1 Johdanto.....	7
1.1 Tutkimuksen tausta ja tavoitteet.....	7
1.1.1 Broilerihallien ilmanvaihdon haasteet.....	7
1.1.2 Tutkimushankkeen tavoitteet ja sisältö.....	7
2 Aineisto ja menetelmät.....	8
2.1 Aineisto ja menetelmät.....	8
3 Web-kyselyn tulokset.....	9
3.1 Web-kyselyn tulokset.....	9
3.1.1 Kasvatushalleja koskevat vastaukset.....	9
3.1.2 Kasvatusjaksoja koskevat vastaukset.....	10
3.1.3 Kasvatushallien ilmanvaihtoa koskevat vastaukset.....	11
3.1.4 Broilerikasvattajien vapaamuotoiset vastaukset.....	11
4 Broilerituotannon olosuhdevaatimukset.....	14
4.1 Lihantuotantoa varten pidettävien kanojen suojelua koskevat vähimmäisvaatimukset.....	14
4.1.1 Kansalliset säädökset.....	14
5 Olosuhdevaatimusten taustoitusta.....	17
5.1 Kirjallisuuskatsaus lämpötila- ja kosteusilanteista.....	17
5.1.1 Lämpöolot ja tuottavuus.....	21
5.1.2 Ilman laatu ja ilmanvaihdon tarve.....	24
5.1.3 Lämmitystehon tarve.....	26
6 Mittaustulokset.....	27
6.1 Mittaukset broilerihallissa.....	27
6.1.1 Rakennuksen yleiskuvaus.....	27
6.1.2 Ilmanvaihto ja lämmitys.....	27
6.1.3 Olosuhteiden mittaukset.....	32
6.1.4 Lämmitysenergian mittaukset.....	38
6.1.5 Mittaustulosten tarkastelu.....	40
7 Broilerikasvattamon ilmanvaihdon ja lämmityksen toimintalaskenta.....	41
7.1 Broilerikasvattamon ilmanvaihdon ja lämmityksen toimintalaskelmat.....	41
7.1.1 Laskelmien tarkoitus ja toteutus.....	41
7.1.2 Toiminta perustapauksessa.....	42
7.1.3 Lämmitystarve.....	46
7.1.4 Puhaltimien teho ja sähköenergia.....	47
7.1.5 Ilmanvaihdon ja rakenteiden vaikutus energiakulutukseen.....	51
7.1.6 Ilmanvaihdon, rakenteiden ja maantieteellisen sijainnin vaikutus.....	53
7.1.7 Rakenteiden eristyksen vaikutus.....	57
7.1.8 Ilmanvaihdon lämmön talteenoton vaikutus.....	57
7.1.9 Suurin lämmitysteho.....	58
7.1.10 Kasvatusjaksojen välien lämmitysteho.....	59
7.1.11 Kuumuuden vaikutus sisälämpötilaan ja suhteelliseen kosteuteen.....	60
7.1.12 Rakennuksen tiivyyden vaikutus.....	61
7.1.13 Sijaintipaikkakunnan (ilmastotyypin) vaikutus.....	63
7.2 Ilmanvaihdon ja lämpötilan ohjaustapojen hienosäätö.....	64
7.2.1 Säästöparametrit.....	64
7.2.2 Säästötapojen vaikutus energiankulutukseen ja olosuhteisiin.....	66
7.2.3 Vaikutus sisälämpötilaan ja kosteuteen.....	68
8 Yhteenvedo ja johtopäätökset.....	70
8.1.1 Yleistä tulosten tulkinnasta.....	70
8.1.2 Broilerikasvattamosta yleisesti.....	70
8.1.3 Suhteellinen kosteus – suurin haaste.....	70
8.1.4 Tuotantotilan maantieteellinen sijainti.....	70
8.1.5 Lämmön tuotto.....	71
8.1.6 Kasvatushallin energiankulutus ja sen säästöpotentiaali.....	71
8.1.7 Ilmanvaihdon hienosäätö.....	72
8.1.8 Lisätutkimustarpeet.....	73
9 Kirjallisuus.....	74

1.1 Tutkimuksen tausta ja tavoitteet

1.1.1 Broilerihallien ilmanvaihdon haasteet

Broilerihallit edustavat kotieläintuotannon rakennuksia, joissa ilmanvaihdolla on ehkä suurin merkitys eläinten kasvuun ja hyvinvointiin verrattuna muihin eläinlajeihin ja niiden kasvatusympäristöihin. Broilerikana on pitkälle jalostettu tuotantoeläin, jonka luonnollista kasvuympäristöä ei pohjoisilla leveysasteilla normaalisti esiinny. Tämä koskee etupäässä lämpötilaa ja valoisuutta. Valo kyetään hallitsemaan, mutta lämpötilan ja riittävän puhtaan ilman saanti edellyttää Suomessa merkittävää lämmitysenergian käyttöä sekä sähköenergiaa ilmanvaihtolaitteisiin. Broilerikanojen kasvatustavasta ja tiheydestä johtuen kanojen oma lämmön tuotto alkaa hallita olosuhteita kasvatusjakson loppupuolella ja luo paineita etenkin ilmanvaihdon toimivuudelle ja riittävyydelle.

1.1.2 Tutkimushankkeen tavoitteet ja sisältö

Broilerihallien ilmanvaihdon hienosäätö -hankkeen päätavoitteena oli optimoida ilmanvaihdon säätö- ja ohjaustapa huomioon ottaen ilmanvaihtojärjestelmän tyyppi ja mitoitus tekijät, Suomen olosuhteet ja kasvatusjaksojen olosuhdevaatimukset. Hankkeen toisena tavoitteena oli tuottaa dataa, jolla broilerihallin kokonaisenergiatasetta voidaan tarkastella optimoinnin kannalta. Datalla avulla arvioidaan, mihin energian säästötoimet voidaan ja kannattaa kohdentaa. Kasvatusjaksojen eroavaisuudet vuoden aikana haluttiin esiin, jotta voitaisiin esittää mahdollisuudet kasvatuksen jaksotuksen optimoinnille.

Tutkimushanke jakautui osavaiheisiin. Aluksi maamme runsaalle 200 broilerinkasvattajalle suunnattiin web-kysely kesällä 2012 yhteistyössä Siipikarjaliiton kanssa. Kyselyyn saatiin 50 vastausta. Kaikkien kolmen teurastamon sopimustuottajia osallistui kyselyyn.

Kyselyn jälkeen energiankulutus ja olosuhdemittauksia suoritettiin kolmessa erityyppisessä hallissa Varsinais-Suomessa. Mittausten yhteydessä ja jälkeen kerättiin ilmanvaihdon ohjausjärjestelmästä säätöjen ja toteutuneiden olosuhteiden datahistoriaa kokonaisen tuotantovuoden ajalta.

Edellä kuvattujen tietojen pohjalta luotiin simulointiohjelmalla kalenterivuosi, johon sijoitettiin 6 tuotantojaksoa tasaisin välein. Simuloinnilla vuoden jokaiselle tunnille (8760 tuntia) laskettiin broilereitten lämpötarve ja -tuotto, lämpö- ja kosteus- ja hiilidioksiditase sekä ilmanvaihtotarve. Kasvatusjaksokohtaisista tuloksista voitiin päätellä, mihin seikkoihin ilmanvaihdon hienosäädössä on puututtava eri vuodenaikoina. Broilerihallin energiakulutuksen ja -tuottojen taseista pääteltiin energian säästöä tavoittelevien toimenpiteiden potentiaalia ja kustannuksia.

2 Aineisto ja menetelmät

2.1 Aineisto ja menetelmät

Web-kyselyn pohjaksi laadittiin monivalintakysymykset, jotka ohjelmoitiin verkkolinkin alustalle. Linkki kyselyyn lähetettiin Siipikarjaliiton toimesta ja avustuksella broilerituottajille. Vastaukset muodostivat sähköisen tietokannan, jota oli mahdollista tarkastella erilaisten muuttujien kannalta. Vastaukset julkaistiin taulukoina ja vapaat vastukset editoituina teksteinä.

Kolmessa kohdehallissa – kukin noin 1600 m² / 28000 kasvatuspaikkaa – tehtiin energiakulutusten mittauksia talvella 2011. Mittaus tapahtui lämpöputkesta ohivirtaus- ja lämpötila-anturilla. Samaisten hallien ilmanvaihtokoneiden ohjausyksiköistä kerättiin hallien olosuhdedataa, jota analyysivaiheessa verrattiin asetuservoihin. Tavoitteena oli havainnoida hienosäädön toteutuma ja mahdollisesti tarvittavat parametrimuutokset.

Ilmanvaihdon toiminta havainnollistettiin esimerkkihalliin tehdyllä simulointilaskennalla 6:lle kasvatusjaksolle vuoden pituisella aikajanelalla. Laskennalla selvitettiin hallin ilmanvaihdon ja lämmityksen ohjaustapojen vaikutusta lämmön ja sähkön kulutukseen sekä hallin lämpötilaan, kosteuteen ja epäpuhtauspitoisuuksiin. Laskenta tehtiin tunti tunnilta käyttäen säätietoina Helsinki-Vantaan tai Jyväskylän säätiedostoa, joita käytetään Suomen rakentamismääräysten mukaiseen rakennusten energiankulutuksen laskentaan Etelä- ja Keski-Suomessa.

Tulokset perustuvat lämmön, kosteuden ja hiilidioksidin taseisiin, joissa otettiin huomioon myös edellisenä tuntina vallinnut lämpötila, kosteus ja pitoisuus. Lämmön, kosteuden ja hiilidioksidin tuotot eläimistä otettiin CIGR:n uusimmista suosituksista (2002). Sisälämpötilan tavoitteena pidettiin HK Ruokatalon broileripäiväkirjan lämpötiloja. Kasvatusjakson aikana lämpötila laski 34 asteesta 21 asteeseen. Minimilmanvaihdon määrä perustui hiilidioksidipitoisuuden maksimiarvoon 3000 ppm.



Kuva 1. Rehunjakoautomatiikan ohjausyksikkö (vasemmalla) ja etukansi avattuna (oikealla).

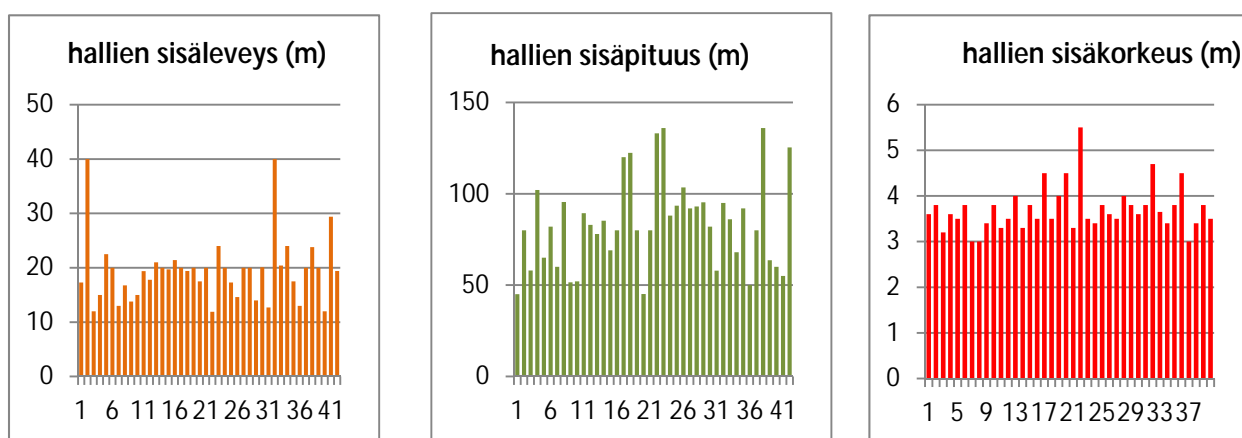
3 Web-kyselyn tulokset

3.1 Web-kyselyn tulokset

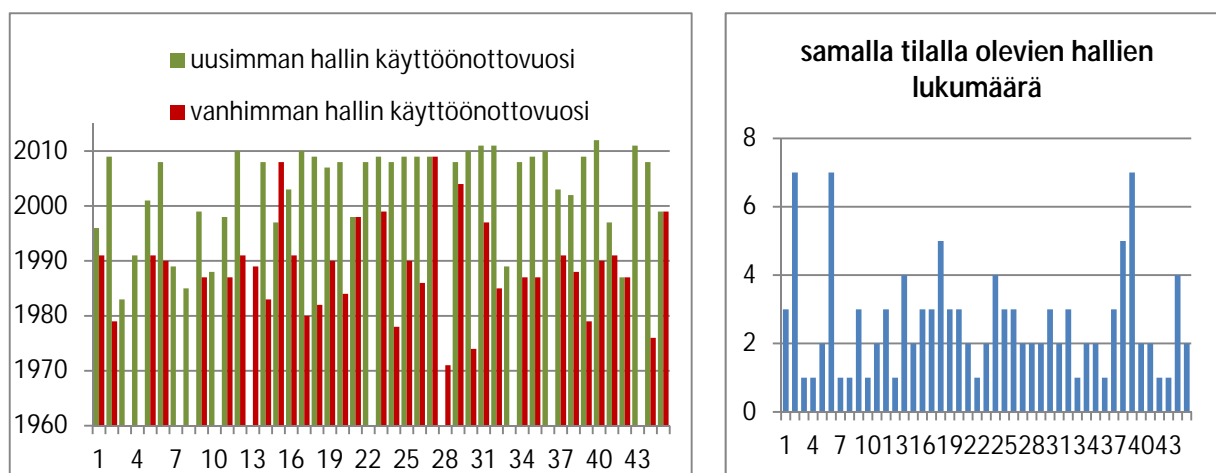
3.1.1 Kasvatushalleja koskevat vastaukset

Web-kyselyyn tuli yhteensä 50 vastausta. Vastaukset olivat osin puutteellisia, koska kaikkiin osakysymyksiin ei ollut vastattu. Kattava kuva broilerihallien erilaisista ominaisuuksista piirtyi keskimäärin 47 vastauksen perusteella. Keskeiset havainnot rakennuksista olivat seuraavat:

- Kasvatushallien keskikoko vaihteli 1000–1500 m² välillä.
- Useimmilla tiloilla oli 2–3 kasvatushallia, suurimmilla tiloilla 7 hallia.
- Uusin halli oli otettu käyttöön keskimäärin vuonna 2010 ja vanhin 1970.



Kuva 2. Vastaajatilojen viimeksi rakennettujen hallien laajuuksien hajonta. Pituudet vaihtelivat 40 metristä 140 metriin. Leveydet olivat pääsääntöisesti alle 20 m, poikkeuksena kaksi 40-metristä hallia. Sisäkorkeudet olivat yhtenäisiä, keskikorkeus oli 3,7 m.

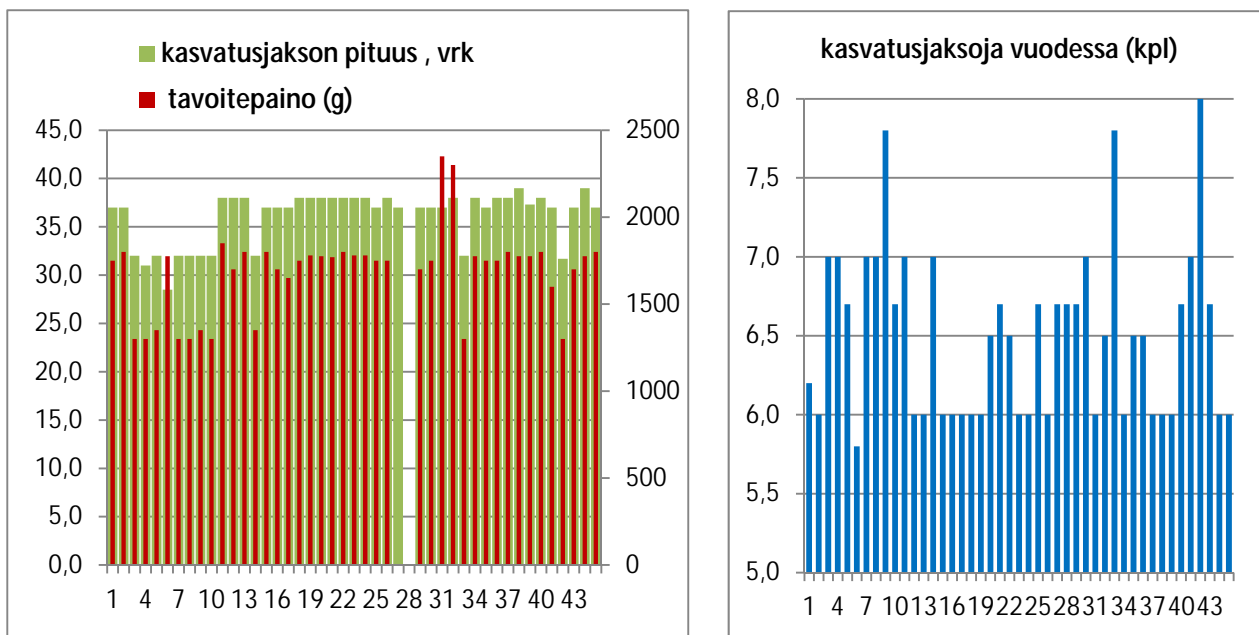


Kuva 3. Vastaajatilalla olevien yksittäisten hallien lukumäärä sekä uusimman ja vanhimman hallin käyttöönottovuosi. Vanhin halli on keskimäärin 1980-luvun loppupuolelta ja uusin on rakennettu 2008–2011.

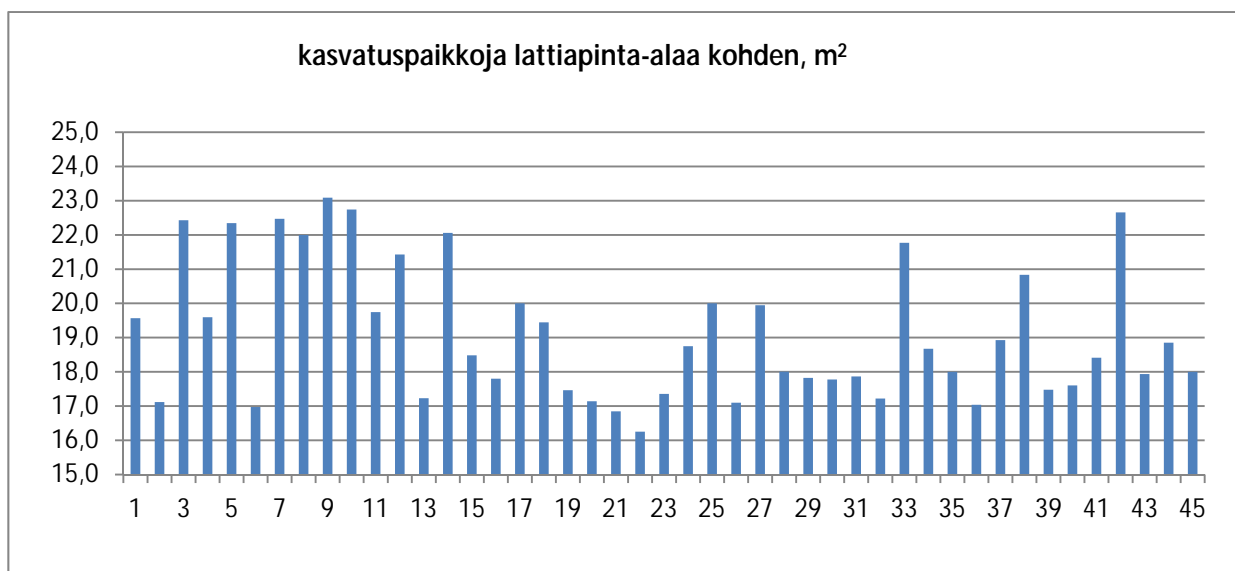
3.1.2 Kasvatusjaksoja koskevat vastaukset

Muutamat keskeiset havainnot kasvatusjaksoista olivat seuraavat:

- Useimmilla tiloilla oli 6 kasvatusjaksoa vuodessa, muutamilla tiloilla 7 kpl.
- 7 kasvatusjakson tiloilla broilereiden kasvatusaika oli 33 vrk ja tavoitepaino noin 1300 g.
- 6 jakson tiloilla kasvatusaika on 38 vrk ja tavoitepaino 1800 g.



Kuva 4. Vastaajatilojen kasvatusjaksojen lukumäärät sekä tavoitepainot



Kuva 5. Vastaajatilojen lintutiheydet

3.1.3 Kasvatushallien ilmanvaihtoa koskevat vastaukset

Muutamit keskeiset havainnot hallien ilmanvaihdosta olivat seuraavat:

- Suurimmalla osalla oli pelkästään poistopuhaltimet (85 %) ja koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihto 15 %:lla kohteista.
- Puolella vastaajista oli ilmaa sekoittava puhallin hallin sisällä.
- Ilmantuloaukot sijaitsivat pääosin seinillä ja poistopuhaltimet katossa.
- Ilmanvaihdon säätöä ohjataan pääasiassa sisä- ja ulkolämpötilan sekä sisäkosteuden perustella.
- Hiilidioksidiohjausta ei ollut kenelläkään.
- Kesäajan jäähdytystä varten 5 tilalla oli vesisumutusjärjestelmä sekä osalla tiloista tunneli-ilmanvaihtoa varten suurpuhaltimet rakennuksen päädyssä.
- Hallien lämmitysenergia hankittiin pääosin öljyllä, puuhakkeella ja turpeella. Muutamissa kohteissa oli myös pellettilämmitys, olki, puuklapi tai sähkö.
- Lämmön talteenottojärjestelmää ei ollut kenelläkään.
- Hallien kuivikkeena käytettiin lähes yksinomaan turvetta.
- Halleissa käytiin vähintään 2 kertaa päivässä 63 %:ssa tiloista ja 37 % kävi useammin kuin 2 kertaa päivässä.

3.1.4 Broilerikasvattajien vapaamuotoiset vastaukset

Web-kyselyn vakiomuotoisten kysymysten lisäksi vastaajat kirjasivat näkemyksiään talvi- ja kesäajan ilmanvaihdon toimivuudesta ja siihen liittyvistä ongelmista. Seuraavaan on kirjattu kaikki vapaat vastaukset, jotka on ryhmitelty tärkeimpien ominaisuuksien mukaan.

Kysymys: Mitä haasteita tai ongelmia kylmimmän talvikauden kasvatusjaksoon liittyy?

Kosteus

- Ilmankosteuden hallinta vaatii taito ja seuranta.
- Pehkun kuivana pitäminen läpi kasvatusajan on haasteellista.
- Kuivike alkaa kuorettua noin 2 viikon ikäisenä, imuukyky heikkenee ja pinta kostuu. Kuoren alla on monesti vielä puhdas ja kuiva kutteri lannanpoistovaiheessa.
- Kuorettumaa syntyy etenkin vesilinjojen alle.
- Nykyinen öljylämmitys ei anna mahdollisuuksia kosteuden riittävään poistoon.
- Joskus hallit kostuvat.

Hiilidioksidi ja ammoniakki

- Loppukasvatuksessa tapahtuu aina hiilidioksiditason nousua.
- Ilmastointitarpeen lisääntyessä, kylmä ulkoilma lisää kosteutta hallissa, ja näin heikentää turpeen laatua. Ammoniakkipitoisuus kovilla pakkasilla kasvaa, koska ei voida tarpeeksi vaihtaa ilmaa esim. -30 asteen pakkasilla
- Hallin nopea jäähtyminen ilmastoitaessa, raitisilmaluukkujen jäätyminen, kuivikkeen kastuminen.
- Kun linnut ovat isoja ja ilmanvaihtoa pitää olla riittävästi, puhaltimet pyöriivät hitaasti ja kylmä ilma pääsee laskemaan alas ja kosteuttaa pehkun. Kovilla pakkasilla seinäluukut jäätyvät ja säätäminen on työlästä.

Jäätyminen

- Tuloilmaluukkujen jäätyminen ja pehkun kostuminen ovat harmillisia.
- Tuloilmaluukkujen jäätyminen .

- Kuivikepohjien kostuminen on riski jalkapohjille, jolloin niiden kunto heikkenee. Ilmastointilukut jäätyvät aina silloin tällöin, ja tuloilma-aukkojen verkot huurtuvat umpeen. Riittävä lämmön saanti/riittävä tasainen ilmanvaihto on tärkeää.
- Lämmityksen riittävyys suhteessa ilmanvaihtoon on haasteellista. Kosteuden tiivistyminen ja pehkun kostumisvaara.
- Ilmastoinnin toimivuuden kun tuloyksiköt jäätyvät (ilman vaihtuminen ja että ilma vaihtuu tasaisesti), pohjien kastuminen.
- Tulopuhaltimien jäätyminen ja ilmanvaihdon tasaisuus alkukasvatuksessa.

Säätö

- Lämmityksen ja ilmavaihtotehon keskinäisen sopivuuden löytäminen.
- Lämpötila, kosteus ja ilmavirrat, tasapainon löytäminen.
- Pehkun ja pohjien kunnossa pitämiseksi saa tehdä töitä. Ilmanvaihdon, kosteuden ja lämmityksen kanssa tasapainoilu. Pitäisi ilmastoida riittävästi, mutta tavoitelämpötila pitäisi pystyä pitämään, jotta linnut eivät kärsi vedosta ja kylmästä. Ilman laadun pitäminen hyvinvointidirektiivin vaatimissa rajoissa. Ilmanvaihtolaitteiden jäätyminen. Lastaus kylmissä olosuhteissa tuo omat haasteensa.
- Lämmön tasaisuus hallissa, vetoa ei saa tuntua, pehkun pysyminen hyvänä, ehkä yli -30 asteen pakkasilla lämmön riittävyys kasvatuksen loppuvaiheessa, ettei pehku kastu.
- Lämmityksen riittävyys loppuvaiheessa minimi ilmastoinnin saavuttamiseksi.
- Kylmän tuloilman saaminen halliin niin että se ehtii lämpiämään ennen kuin se laskeutuu kanojen tasalle, ja toisaalta että ilmanvaihto toimisi samalla tavalla joka kohdassa hallia.
- Ilmastoinnin säätö, lämmönjako, pohjien kostuminen.
- Hallin tuloilma luukkujen käsikäyttöisyys.

Kysymys: Mitä haasteita tai ongelmia kuumimman kesäkauden kasvatusjaksoon liittyy?

Liikalämmön haitat

- Liiallinen kuumuus haittaa.
- Linnut eivät ikinä totu äkilliseen helteeseen.
- Lämpötila nousee liikaa .
- Lämpötilan hallinta oikealle tasolle.
- Sisälämpötilan nousu, sähkökatkot.
- Tuloilman riittävä saanti ja riittävä alipaine ovat haasteita. Tuloilma pitäisi pyrkiä ohjaamaan lintujen tasolle, jotta ilma liikkuu lattian rajassa eikä katossa.
- Loppukesän kosteat helteet ovat pahimmat, kun ilma on seisovaa ja kosteaa. Tällöin sumutuslaitteista ei ole apua.
- Ulkoilman suhteellinen kosteus on suuri loppukesästä, eikä kostutuslaitteita voi käyttää niin vapaasti kuin keväämmällä. Toisaalta yöt ovat viileitä ja helpottavat hellestressiä. Ilmanvaihdon mitoitusta voisi aavistuksen lisätä. Keskellä päivää kuumimpaan aikaan isot linnut pitää saada rauhallisesti liikkeelle ja juomaan paljon viileää vettä.
- Lämmön hallinta.
- Riittävä ilman virtaus.
- Kovien helteiden aikaan tulee varmistua, ettei lintujen lämpö nouse liian korkeaksi.
- Helteet kahden viimeisen kasvatusviikon aikana. Kasvattamon lämpötila tulisi olla alle + 25 astetta ja +30 astetta on jo kriittinen lämpötila .
- Lämpötilan matalana pitäminen helleaikoina.
- Helteellä lämpötilan pitäminen tavoitteessa on lähes mahdotonta. Lisäksi pahin ongelma jos helle on kuuma ja ilman suhteellinen kosteus yli 80 %.
- Ilmastoinnin riittävyys, kasvu.
- Lämpötilan kohoaminen on haaste, mutta se saadaan hallintaan riittävällä ilmanvaihdolla.
- Lastauksen aikainen ilmastointi (takaovi auki).

Jäähdytys

- Loppukasvatuksessa helteellä ilman saaminen liikkeelle lintujen tasolla. Sumutuslaitteiden järkevä käyttö.
- Kasvattamojen lämpötilan hallinta varsinkin jos ilman suhteellinen kosteus on korkea. Tällöin sumutusjärjestelmän käyttö ei välttämättä ole järkevää. Lintujen ruokahalun ja kasvun ylläpitäminen. Lintujen aktivoiminen ja liikkeelle saaminen, jotta välttyttäisiin lämpöstressikuolemilta. Ukkosen aiheuttamat sähkölaiteviat ja pahimmassa tapauksessa varavoiman hajoaminen. Lastaus kuumissa olosuhteissa on haaste, koska varsinkin alipainehalleissa alipaine katoaa ja ilmanvaihdon teho heikkenee kun lastausovi avataan.
- Riittävä jäähdytys / ilmastointi.
- Riittävän ilmanvaihdon toteuttaminen. Kasvattamoilman jäähdyttäminen.
- saada ilma liikkumaan tarpeeksi tehokkaasti kanojen tasolta, jotta saadaan aikaiseksi ilmavirran viilentävä vaikutus. Sumutussuuttimet ovat hyviä silloin kun ulkoilma on tarpeeksi kuivaa, jolloin vesisumulla saadaan lämpötilaa alennettua, mutta se ei toimi silloin kun ulkona on esimerkiksi ukkosrintama jolloin ulkoilma on jo erittäin kosteaa.

Johtopäätöksiä web-kyselystä

Vastauksista kävi ilmeiseksi, että tasaisiin tuotanto-olosuhteisiin pyrittäessä Suomen talvi ja kesä muodostavat hankalasti hallittavat ääripäät. Kesä- ja talviolosuhteissa suhteellisen ja absoluuttisen kosteuden hallinta nousi päällimmäiseksi huoleksi. Lähes yhtä merkittävä seikka oli yllämmön välttäminen, mikä on vahvasti sidoksissa ilmanvaihdon määrään, ilmanjakotapaan sekä säätöön. Tutkimuksen kolmannessa osiossa eli simulaatiolaskennassa haettiin ratkaisumahdollisuuksia edellä oleviin seikkoihin.

4 Broilerituotannon olosuhdevaatimukset

4.1 Lihantuotantoa varten pidettävien kanojen suojelua koskevat vähimmäisvaatimukset

4.1.1 Kansalliset säädökset

Broilereiden pitoa koskevista uusista vaatimuksista säädetään eläinsuojelulain 247/1996 muutoksessa 321/2011 sekä valtioneuvoston asetuksessa 375/2011. Seuraavan katsaukseen on kerätty oleellimmat pykälät, jotka vaikuttavat kasvatuspaikan olosuhteisiin ja ilmanvaihtoon.

3 § Kasvatusosaston yleiset vaatimukset

Broilereiden kasvatusosaston on oltava materiaaleiltaan, rakenteiltaan ja muilta ominaisuuksiltaan sellainen, että broilereiden vahingoittumisen vaara on mahdollisimman vähäinen. Broilereiden pitoon tarkoitettujen kasvatusosastojen sisäpintojen sekä broilereiden pitoon tarkoitettujen välineiden ja laitteiden on oltava helposti puhtaana pidettäviä ja tarvittaessa desinfioitavissa. Pintakäsittelyyn ei saa käyttää puunsuoja-aineita, maaleja tai muita aineita siten, että ne voivat aiheuttaa broilereille myrkytyksen.

Broilereiden kasvatusosaston lattian tai pohjan on oltava broilereille sopivasta materiaalista sekä sellainen, että se ei aiheuta broilereille vahinkoa. Lattian tai pohjan on oltava lisäksi sellainen, että se tukee riittävästi broilerin jalkojen jokaista eteenpäin osoittavaa kynttä.

Kasvatusosastot, välineet ja laitteet on pidettävä puhtaina ja hyvässä kunnossa siten, että ne eivät vahingoita broilereita eivätkä vaaranna niiden terveyttä tai hyvinvointia. Kuolleet broilerit on poistettava kasvatusosastosta päivittäin. Kaikki tilat, laitteet ja välineet, joiden kanssa broilerit ovat kosketuksissa, on puhdistettava ja desinfioitava kauttaaltaan aina, kun tila tyhjenetään ja ennen kuin uusi broilerierä tuodaan sisään. Tyhjennyksen jälkeen kaikki käytetty pehku on poistettava ja puhdas pehku on levitettävä tilalle. Kasvatusosastossa on huolehdittava jyrksijöiden ja muiden haittaeläinten torjunnasta.

4 § Kasvatusosaston olosuhteet

Kasvatusosaston ilmanvaihdon on oltava sellainen, että ilman kosteus, ilman virtausnopeus, lämpötila, pölyn määrä ja haitallisten kaasujen pitoisuudet eivät kohoa haitallisen korkeiksi. Ilmanvaihtoon on tarvittaessa yhdistettävä lämmitysjärjestelmä sopivan lämpötilan ylläpitämiseksi ja liiallisen kosteuden poistamiseksi.

Jos eläinten hyvinvointi ja terveys on riippuvainen koneellisesta ilmanvaihtojärjestelmästä, kasvatusosastossa on oltava mahdollisuus eläinten hyvinvoinnin ja terveyden kannalta riittävän ilmanvaihdon järjestämiseen myös koneellisen ilmanvaihtojärjestelmän häiriöiden aikana. Koneellisessa ilmanvaihtojärjestelmässä on tällöin oltava hälytysjärjestelmä, joka antaa hälytyksen toimintahäiriön sattuessa. Hälytysjärjestelmän toimivuus on testattava säännöllisesti.

Kasvatusosastossa on oltava valaistus, jonka teho on vähintään 20 luksia valoisina kausina mitattuna linnun silmän tasolta, ja joka valaisee vähintään 80 prosenttia käytettävissä olevasta pinta-alasta. Valaistusta voidaan tarvittaessa tilapäisesti vähentää eläinlääkärin ohjeiden mukaisesti, jos broilereiden hyvinvoinnin turvaaminen sitä edellyttää. Valaistuksessa on noudatettava 24 tunnin rytmiä. Siihen on siirryttävä viimeistään seitsemän päivän kuluessa broilereiden sijoittamisesta kasvatusosastoon ja se voidaan lopettaa aikaisintaan kolme päivää ennen arvioitua teurastusaikaa. Jokaiseen 24 tunnin jaksoon on sisällytettävä yhteensä vähintään 6 tuntia pimeää aikaa. Pimeän ajan jaksossa on oltava ainakin yksi yhtäjaksoinen 4 tunnin pimeä aika hämäräjaksoja lukuun ottamatta.

Melutaso on pidettävä kasvatusosastossa mahdollisimman alhaisena. Jatkovaa tai äkillistä melua on vältettävä, eivätkä broilerit saa olla jatkuvasti alttiina melulle, joka ylittää 65 desibeliä (dB[A]).

Kaikkien broilereiden on päästävä jatkuvasti pehkulle, joka on pinnalta sopivan kuivaa ja kuohkeaa.

5 § Suurta kasvatustiheyttä koskeva erityissäännös

Jos broilereiden kasvatustiheys on yli 33 elopainokiloa neliometriä kohti, kasvatusosastossa on oltava sellainen ilmanvaihtojärjestelmä sekä tarvittaessa lämmitys- ja jäähdytysjärjestelmä, jota käytettäessä seuraavat vaatimukset täyttyvät:

- 1) Ammoniakkipitoisuus (NH₃) on enintään 20 ppm ja hiilidioksidipitoisuus (CO₂) enintään 3000 ppm mitattuna broilereiden pään tasolla.
- 2) aisolämpötila ei ole yli 3 °C korkeampi kuin ulkolämpötila, kun ulkolämpötila varjossa mitattuna on yli 30 °C.
- 3) Keskimääräinen suhteellinen kosteus kasvatusosastossa ei 48 tunnin aikana ylitä 70 prosenttia, kun ulkolämpötila on alle 10 °C.

Lisäksi broilerikasvattamossa on oltava sähköntuotannon varajärjestelmä, jolla turvataan koneellisen ilmanvaihdon toiminta sähkökatkojen aikana.

11 § Tuotantojärjestelmän kuvaus ja tuotantojärjestelmää koskevat keskeiset tiedot

Eläinsuojelulain 26 c §:n 3 momentissa tarkoitetusta tuotantojärjestelmän kuvauksesta tulee käydä ilmi:

- 1) Rakennuksen pohjapiirros
- 2) Broilereiden käytettävissä oleva pinta-ala
- 3) Tiedot ilmanvaihto- ja lämmitysjärjestelmästä sekä niille suoritetuista teknisistä tarkastuksista.
- 4) Tiedot ruokinta- ja juomalaitteista ja niiden sijainnista.
- 5) Broilereiden hyvinvoinnin kannalta olennaisten automaattisten ja mekaanisten laitteiden vioittumisen hälytysjärjestelmät ja niiden varajärjestelmät.
- 6) Tiedot hälytysjärjestelmille suoritetuista teknisistä tarkastuksista.
- 7) Lattiatyyppi.
- 8) Yleisimmin käytetty pehku.

Eläinsuojelulain 26 c §:n 3 momentissa tarkoitetut tuotantojärjestelmää koskevat keskeiset tiedot ovat kasvatusosastoittain:

- 1) Broilereiden käytettävissä oleva pinta-ala.
- 2) Ilmanvaihtojärjestelmän sekä ruokinta- ja juottojärjestelmien tyyppi.
- 3) Broilereiden hyvinvoinnin kannalta olennaisten automaattisten ja mekaanisten laitteiden vioittumisen hälytysjärjestelmät ja niiden varajärjestelmät.
- 4) Yleisimmin käytetty pehku.

26 c § [\(8.4.2011/321\)](#) Broilerikasvattamot

Sen lisäksi, mitä eläintunnistusjärjestelmästä annetussa laissa ([238/2010](#)) säädetään eläinten pitopaikasta ilmoittamisesta ja tietojen tallettamisesta, broilereiden omistajan tai pitäjän on ilmoitettava pitopaikkarekisteriin tallettavaksi tiedot kasvattamon rakennusten niistä osista, joissa broileriparvia kasvatetaan (*kasvatusosasto*).

Eläintunnistusjärjestelmästä annetun lain 21 §:ssä tarkoitettua luetteloa on pidettävä kasvatusosastoittain, ja siitä tulee käydä ilmi:

- 1) Tuotujen broilereiden lukumäärä ja niiden käytettävissä oleva alue.
- 2) Broilereiden rotu tai hybridi, jos se on tiedossa.

- 3) Lopetettujen broilereiden lukumäärä sekä kuolleina löydettyjen broilereiden kuolinsyyt, jos ne ovat tiedossa
- 4) Parveen jäävien broilereiden lukumäärä myytävien tai teurastettavien broilereiden poistamisen jälkeen.

Jos broilereiden kasvatustiheys on yli 33 elopainokiloa neliometriä kohti, broilereiden omistajan tai pitäjän on laadittava broilerikasvattamon tuotantojärjestelmästä kirjallinen kuvaus, johon on sisällytettävä tekniset tiedot rakennuksista ja niiden laitteista. Kuvaus on pidettävä ajan tasalla, ja se on esitettävä aluehallintovirastolle pyydettäessä. Kasvattamossa käytettävästä kasvatustiheydestä tai siihen tehtävästä muutoksesta ja tuotantojärjestelmää koskevista keskeisistä tiedoista on ilmoitettava aluehallintovirastolle viimeistään 15 päivää ennen ensimmäisen parven sijoittamista rakennukseen. Tuotantojärjestelmään tehdyistä muutoksista, jotka voivat vaikuttaa broilereiden hyvinvointiin, on ilmoitettava viipymättä aluehallintovirastolle.

Edellytyksenä kasvatustiheyden nostamiselle yli 39 elopainokilon neliometriä kohti enintään 42 elopainokiloon neliometriä kohti on, että broilerikasvattamon eläinsuojelutarkastuksissa ei ole todettu eläinsuojelusäännösten vastaista toimintaa viimeisen kahden vuoden aikana, broilereiden omistaja tai pitäjä käyttää hyvän käytännön opasta ja broilereiden kuolleisuus on riittävän alhainen. Jos broilerikasvattamossa ei ole tehty tarkastusta viimeisen kahden vuoden aikana, vähintään yksi tarkastus on tehtävä ennen kuin kasvatustiheyttä voidaan nostaa.

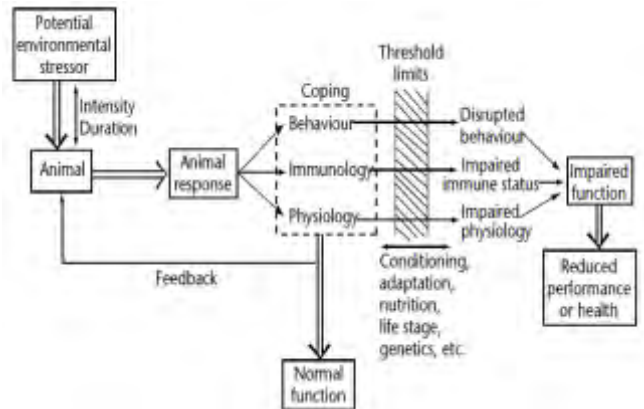
Broilereiden omistajan tai pitäjän on toimitettava teurastamoon tarvittavat tiedot parven pitopaikasta ja parvesta lähettäessään broilereita teurastettaviksi.

Tarkemmat säännökset broilerikasvattamon tuotantojärjestelmän kuvauksesta, tuotantojärjestelmää koskevista keskeisistä tiedoista, broilereiden kasvatustiheyttä koskevista vaatimuksista, hyvän käytännön opasta, broilereiden kuolleisuudessa huomioon otettavista seikoista sekä teurastamoon toimitettavista parvea koskevista tiedoista annetaan valtioneuvoston asetuksella.

5 Olosuhdevaatimusten taustoitusta

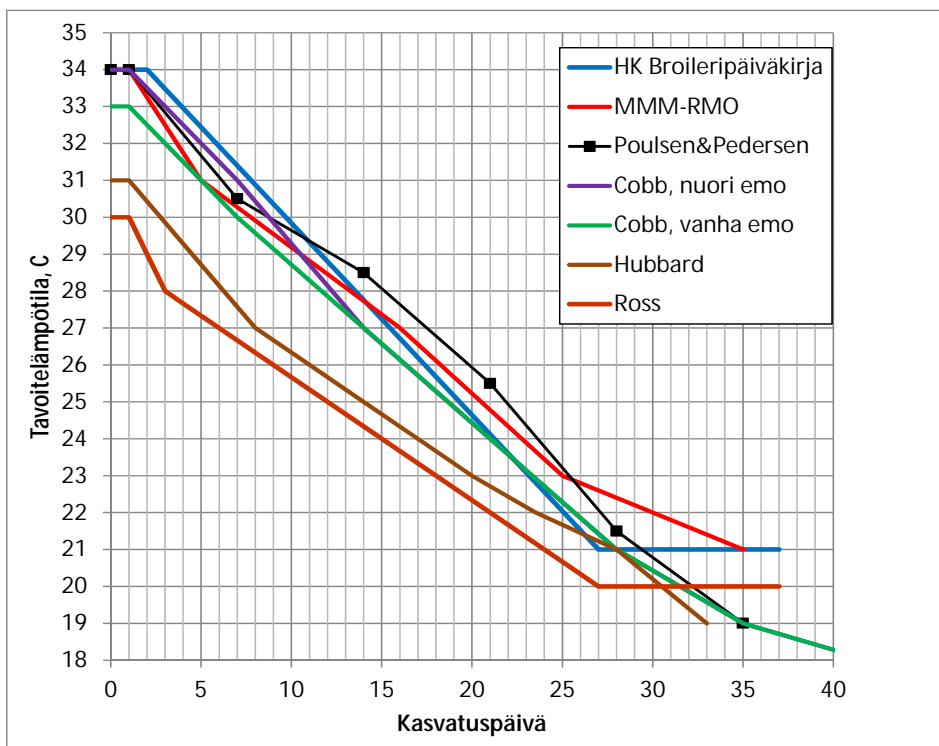
5.1 Kirjallisuuskatsaus lämpötila- ja kosteustilanteista

Broileri on tasalämpöinen eläin. Aikuisen broilerin lämmönsäätöjärjestelmä kykenee pitämään sisäisen ruumiinlämpötilan 41,2 – 42,2 asteessa ilman stressiä, jos ympäristön tehollinen lämpötila on termoneutraalilla alueella (Tao&Xin 2003). Termoneutraalin alueen yläpuolella elimistö alkaa puolustautua, esimerkiksi ravinnon ottoa vähentämällä. Lämpö- ja kylmästressin välttäminen parantaa eläinterveyttä, hyvinvointia ja tuottavuutta (Purswell ym. 2012). Ympäristön lämpötilavaatimus on untuvikkovaiheessa erityisen tiukka, Hubbard-broilerin käsikirjan mukaan 31–33 astetta. Tämän lämpötilan alapuolella untuvikko ei enää pysty ylläpitämään ruumiinlämpöään.



Kuva 6. Eläinten reagointi ympäristön stressitekijöihin, jotka voivat vaikuttaa tuottavuuteen ja eläinterveyteen.

Broilareiden lämpötilasuositukset (Kuva 7) laskevat kasvatuspäivän ja siten linnun koon mukaan. Suositusarvot (Kuva 7) poikkeavat toisistaan eri tietolähteissä jopa 3–4 astetta.

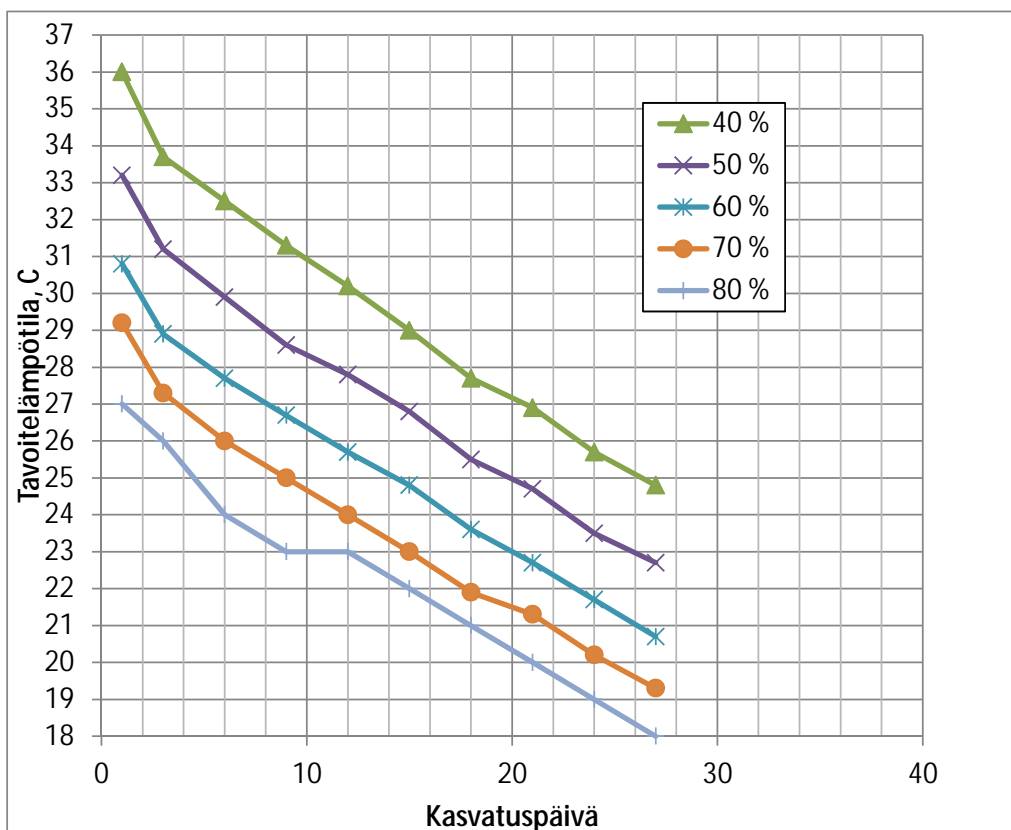


Kuva 7. Ilman lämpötilasuositukset broilerikasvatuksessa eri lähteiden mukaan. Suositus koskee yleensä lintujen korkeudelta mitattavaa lämpötilää.

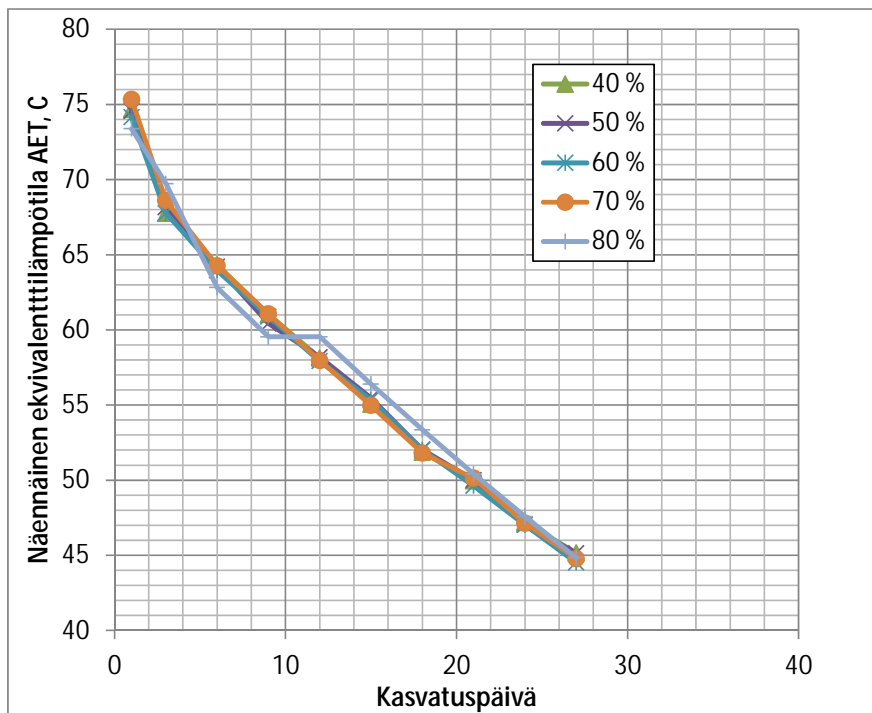
Eräs syy suosituslämpötilojen suuriin eroihin voi olla, että lintujen tuntema tehollinen lämpötila riippuu ilman lämpötilan lisäksi kosteudesta, ilman nopeudesta sekä ympäröivien pintojen lämpötilasta. Ilman kosteuden vaikutus voi olla hyvin suuri. Kuvan 8 lukuarvot ovat professori Malcolm Mitchelliltä, joka on tutkinut mm. broilereiden kuljetuksia teurastamoon (Mitchell&Kettlewell 2004). Kuljetusten aiheuttaman lämpöstressin kuvaamisessa on osoittautunut hyödylliseksi käsite näennäinen ekvivalenttilämpötila AET (Apparent Effective Temperature), joka yhdistää lämpötilan ja kosteuden vaikutuksen. Kuvasta 9 näkyy, että kuvan 8 lämpötiloista ja kosteuksista lasketut EAT-arvot ovat käytännössä samat kaikille kuvan 8 kosteuksille, mikä viittaa siihen, että kuva 8 todellakin perustuu EAT-käsitteeseen. EAT lasketaan lämpötilasta ja kosteudesta seuraavalla kaavalla:

$$EAT = T + \frac{p_h}{\gamma^*}$$

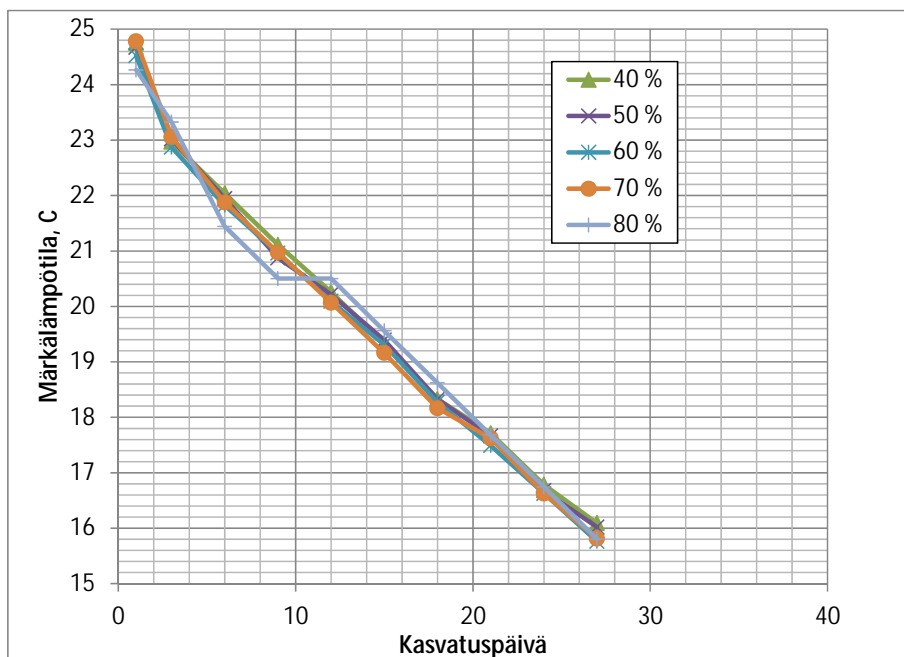
missä T on lämpötila, p_h vesihöyryn paine ja γ^* modifioitu psykometrinen vakio, jolle Mitchell (Mitchell&Kettlewell 2004) on käyttänyt arvoa 61,5 Pa/K. Myös niin sanottu märkälämpötila on lähes vakio kuvan 8 lämpötila- ja kosteusyhdistelmille (Kuva 10). Märkälämpötila kuvaa ilmavirrassa olevan kostean esineen, esimerkiksi kankaan tai psykometrin omaksumaa lämpötilaa. Märkälämpötila pysyy vakiona kun ilmaa jäähdytetään sumuttamalla siihen vettä. Tämä tarkoittaa sitä, että jos kuva 8 pitää paikkansa, ei ilman jäähdytys sumuttamalla muuta lämpöoloja, koska lisääntyvä kosteus kompensoi sumutuksessa saatavan lämpötilan laskun. Esimerkiksi jos sumutetaan 40 % kosteuden ilmaa kuvan 8 kasvatuspäivänä 27 kosteuteen 80 %, ilman lämpötila laskee 24,8 asteesta 18 asteeseen mutta silti lämpöolot ovat samanarvoiset kuin ilman sumutusta. Käytännön kokemusten mukaan sumutuksesta on kuitenkin hyötyä lintujen lämpöstressin kannalta, joten kuva 8 ilmeisestikin liioittelee kosteuden vaikutusta broilereiden lämpöoloihin. Toinen sumutuksella saavutettava hyöty on liian kuivan ilman kostutus optimaaliselle kosteusalueelle.



Kuva 8. Ross-broilereiden lämpötilasuositukset erilaisilla ilman kosteuksilla (% RH) (Aviagen 2009). Tavoitekosteus on 60–70 %. Jos kosteus on tätä pienempi, on lämpötilaa nostettava kuvan mukaisesti. Jos taas kosteus on suurempi, on lämpötilaa laskettava.

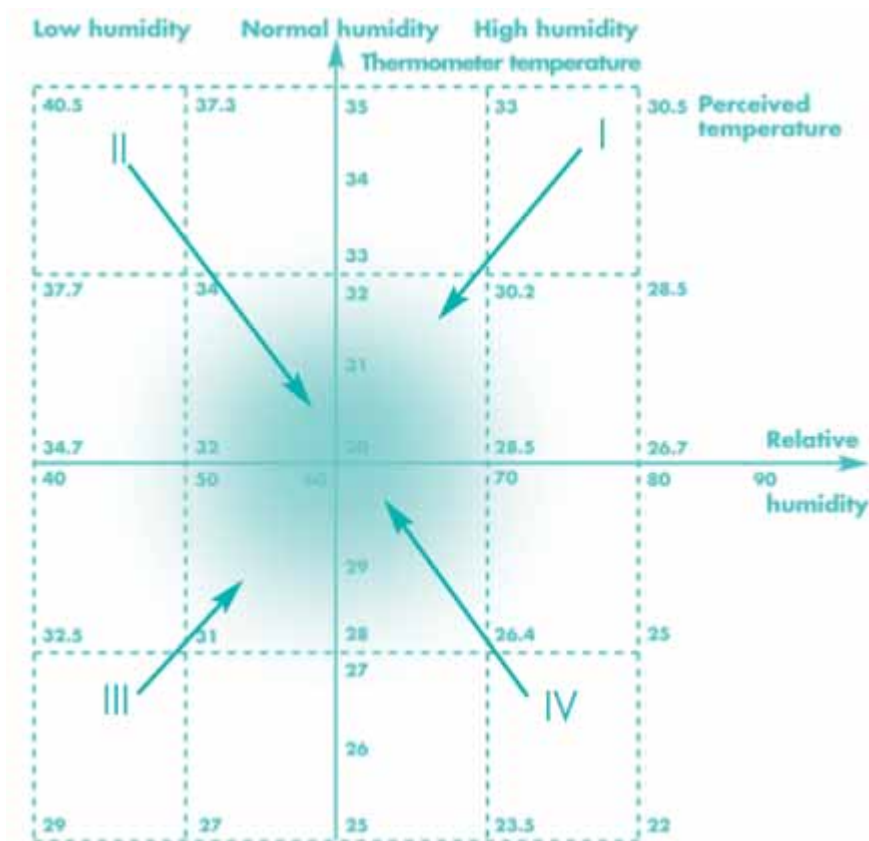


Kuva 9. Lämpötilan ja kosteuden yhteisvaikusta kuvaava näennäinen ekvivalenttilämpötila AET (Apparent Effective Temperature) Aviagenin lämpötila- ja kosteussuositukselle kuvassa 8.



Kuva 10. Märkäilämpötila Aviagenin lämpötila- ja kosteussuositukselle kuvassa 8.

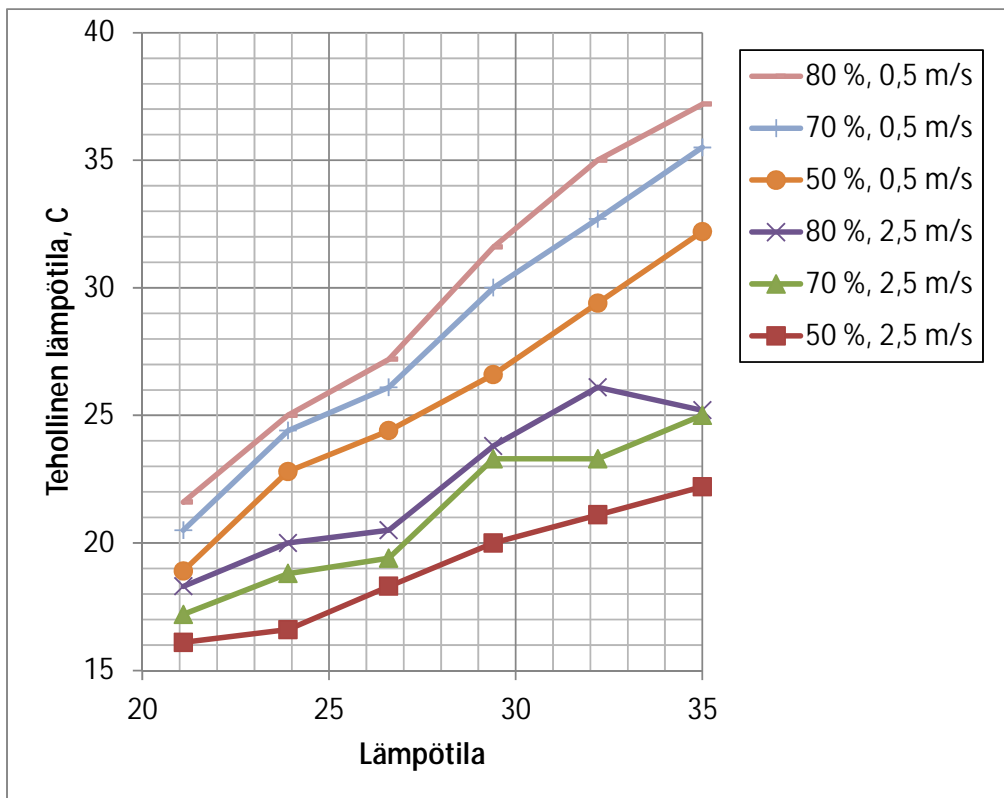
Hubbard-broilereiden käsikirjassa on kuvan 11 mukainen kaavio lämpötilan ja kosteuden yhteisvaikutukselle. Sen mukaan kosteuden vaikutus koettuun lämpötilaan on samaa luokkaa kuin Aviagenin ohjeessa kuvassa 8.



Kuva 11. Kosteuden vaikutus broilerin kokemaan lämpötilaan Hubbardin käsikirjan mukaan. Kaavio ei päde enää silloin kun linnulla on täysi sulkapeite.

Cobb-broilereiden lämpötilasuositukset koskevat hieman pienempää ilman kosteutta kuin Ross-broilereiden suositukset, mikä osittain selittää korkeampia lämpötiloja kuvassa 7. Ross-broilereilla suosituskosteus on koko kasvatusajan 60–70 %, kun Cobb-broilereilla se on aluksi 30–50 %, 7. päivästä 21. päivään 40–60 % ja sen jälkeen 50–70 %. Jos kosteus on edellä mainittua pienempi, Cobb-broilereille suositellaan 0,5–1 asteen lämpötilan nosta. Vastaavasti jos kosteus on suurempi, suositellaan 0,5–1 asteen lämpötilan laskua. Tämän mukaan kosteuden vaikutus lämpötilavoitteeseen on Cobb-broilerikäsikirjassa selvästi pienempi kuin Ross- ja Hubbard-käsikirjoissa.

Korkeissa lämpötiloissa lämpötilaero ilman ja linnun pinnan välillä pienenee ja samalla pienenee ilmaan poistuva tuntuva lämpöteho. Kun linnun aineenvaihdunta kuitenkin tuottaa tietyn tehon (esim. 2,4 kg painoisena noin 18 W), lämmön on poistuttava lämpöstressitilanteessa suuremmassa määrin vettä haihduttamalla. Haihdutuksen lämpöteho puolestaan pienenee ilman kosteuden noustessa. Cobb-käsikirjan mukaan ilman nopeuden lisäys vähintään kolmeen metriin sekunnissa onkin ainoa keino vähentää lämpöstressiä, jos kosteus on yli 70 %. Kuva 12 antaa viitteitä siitä miten paljon ilman nopeudella ja kosteudella on vaikutusta broilerin kokemaan teholliseen lämpötilaan. Lämpötilassa 30 °C kosteuden lisäystä 50 prosentista 80 prosenttiin vastaamaan tarvitaan noin 3–4 asteen lämpötilan pudotus, jotta tehollinen lämpötila pysyisi ennallaan. Vastaava lämpötilan pudotus on Ross-broilereiden kuvassa 8 jonkin verran suurempi, noin 6 astetta.

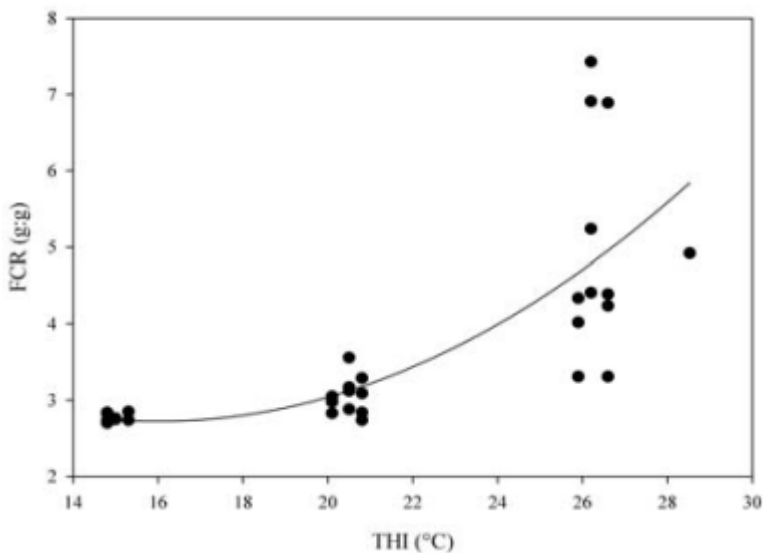
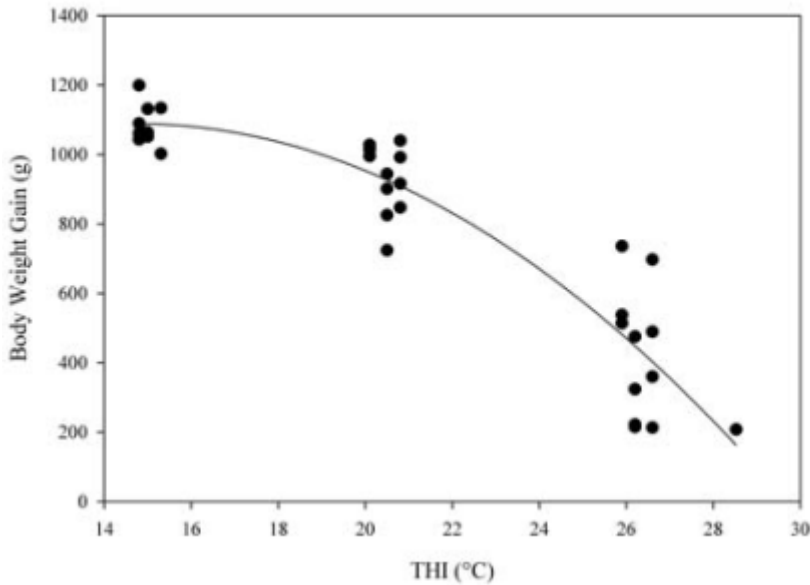


Kuva 12. Kosteuden ja ilman nopeuden vaikutus broilerin kokemaan lämpötilaan Cobbin käsikirjan mukaan korkeissa lämpötiloissa. Pätee alle 25 päivän ikäisille broilereille, joille ei ole muodostunut täyttä höyhenpeitettä.

Yhteenvedon voidaan sanoa, että kosteudella ja ilman liikenopeudella on vaikutusta broilerin kokemaan lämpötilaan. Tiedot siitä kuinka suuri kosteuden vaikutus on, poikkeavat eri lähteissä. Cobb-broilereiden käsikirjassa kosteuden vaikutukset ovat pienimmät, kun on kyse normaaleista kasvatusoloista ja lähellä optimaalista olevista lämpöoloista. Tällöin kosteuden poikkeama optimista aiheuttaa 0,5–1 asteen poikkeaman lämpötilaan. Kosteuden vaikutus koettuun lämpötilaan lisääntyy myös Cobb-broilereiden käsikirjan mukaan lämpöstressin lisääntyessä. Ross-broilerikäsikirja ehkä liioittelee kosteuden vaikutusta normaaleissa kasvatusoloissa.

5.1.1 Lämpöolot ja tuottavuus

Lämpötilan ja kosteuden yhdistävä THI-indeksi (Temperature-Humidity-Index) on osoittautunut hyödylliseksi tavaksi yhdistää eläinten tuottavuus lämpöoloihin lämpimänä vuodenaikana (Hahn ym. 2003). Varhaisin esimerkki on maidontuotannosta mutta viime vuosina THI-indeksiä on käytetty myös broilereille. Kuvassa 13 on tuloksia kokeesta, jossa kasvatettiin kookkaita broilereita kasvatuspäivien 49 ja 63 väli erilaisissa lämpöoloissa, alussa elopaino oli noin 3,5 kg. Kuvasta näkyy, että yli 20 asteen THI-indeksillä tarvitaan jäähdytystä, jos halutaan estää tuottavuuden aleneminen. Myös broilereiden ruumiinlämpötila nousi merkittävästi 41,8 asteesta 42,5 asteeseen THI-indeksin noustessa. Tutkijoiden (Purswell ym. 2012.) johtopäätös on, että THI-indeksi on potentiaalinen säätöparametri tietokoneohjatuissa broilerihalleissa, joihin on nykyään saatavissa varmatoimisia kosteusantureita. Tutkijat toteavat myös, että broilerinkasvattajat voisivat varmistaa tuottavuutta ohjaamalla tehokkaasti ilmanvaihtoa ja jäähdytystä mahdollisesti jo sääennusteiden perusteella, kuten jo tapahtuu karjankasvatuksessa THI-indeksin avulla.



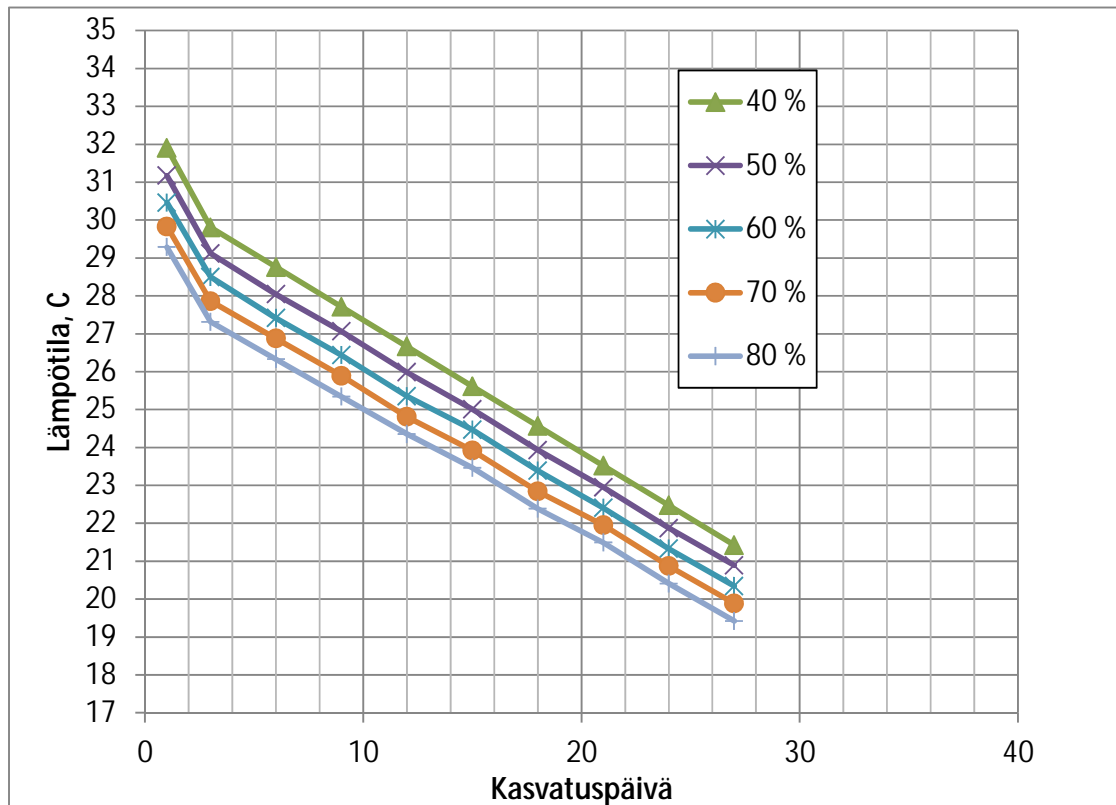
Kuva 13. Lämpötilan ja kosteuden yhdistävän THI-indeksin vaikutus broilereiden kasvuun ja rehunmuun-
tosuhteeseen kasvatuspäivien 49 ja 63 välillä, jolloin broilerit ovat olleet erilaisessa lämpötilassa ja kos-
teudessa. Kuten piste kuvaa yhtä lintua. Broilerit on jaettu 9 ryhmään jossa lämpötilat olivat 15,6 °C,
21,1 °C tai 27,0 °C ja kosteudet 50 %, 60 % tai 80 % (Purswell ym. 2012.)

Tosin on todettava, että ilman kosteuden painoarvo ei ole enää näin myöhäisen kasvatusvaiheen THI-
indeksissä kovin suuri. Indeksillä on laskettu kaavasta:

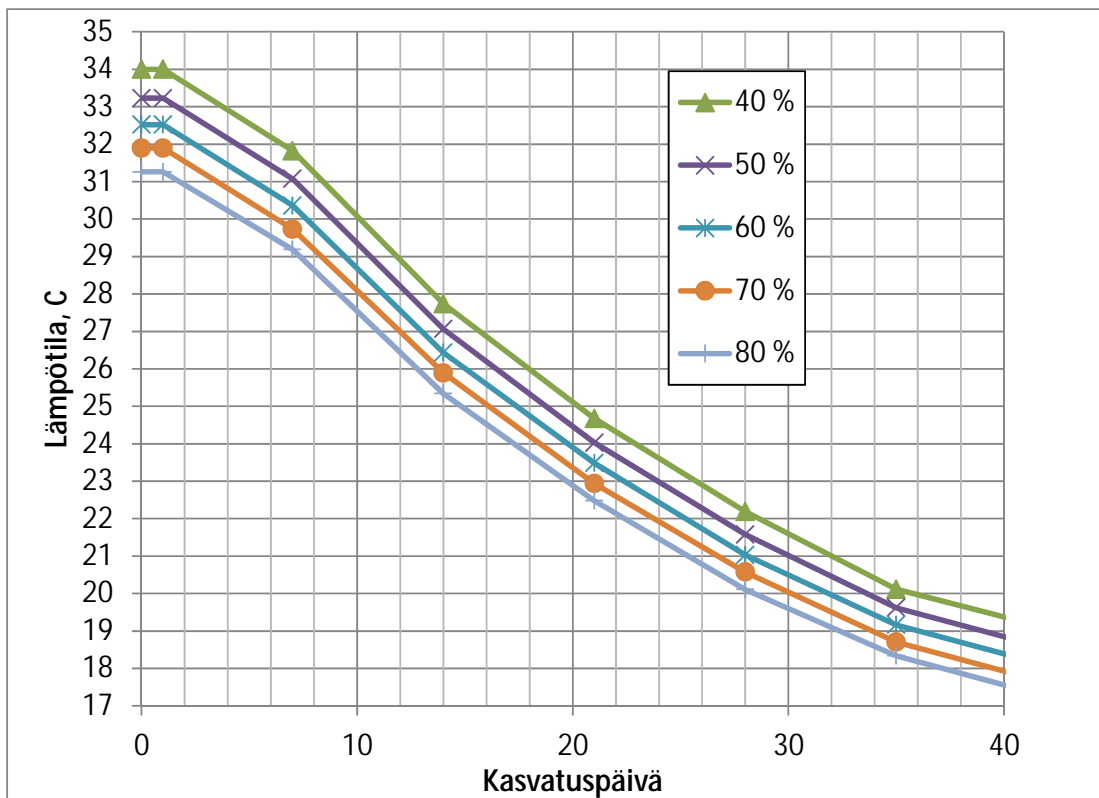
$$THI = (1 - C_{wb})T + C_{wb}T_{wb}$$

missä T on ilman lämpötila ja T_{wb} ilman märkälämpötila. Kuvassa 13 on käytetty märkälämpötilan paino-
tuskertoimelle lähteen (Tao&Xin 2003) 43 päivän ikäisille mitattua arvoa $C_{wb} = 0,15$. Nuoremmille, 3–4
viikon ikäisille broilereille Chepete ym. (2005) ovat saaneet arvon $C_{wb} = 0,38$ ja 5-6 viikon ikäisille ar-
von $C_{wb} = 0,29$. Ilman kosteuden vaikutus broilerin lämpötuntemukseen näyttää siis pienenevän iän mu-
kana. Äärimmäinen esimerkki kosteuden vaikutuksesta on jälleen Aviagenin suositus kuvassa 8 ja siitä
kuvaan 10 lasketut märkälämpötilat, joiden perusteella kosteuden painotuskerroin olisi $C_{wb} = 1,0$ eli var-
sinaisella ilman lämpötilalla ei olisi merkitystä märkälämpötilan rinnalla.

Kuvaan 14 on laskettu kosteuden vaikutus lämpötilasuositukseen THI-indeksin perusteella ja käyttäen peruslämpötilana Ross-käsikirjan arvoja 65 % kosteudessa. Vertaamalla kuvaan 8 nähdään, että kosteuden vaikutus on nyt pienempi, noin 2–3 astetta. Lämpötilataso on ensimmäisinä päivinä matala. Kuvaan 15 on laskettu vastaavat kosteuden vaikutukset käyttäen lähtöarvoina Cobb-käsikirjan lämpötilasuosituksia. Kosteusvaihtelun 40–80 % vaikutus on 2–3 astetta mikä on yhteensopiva Cobb-broilerikäsikirjan ohjeistuksen kanssa. Kuvan 15 lämpötiloja ja kosteuksia käytetään jäljempänä laskentatulosten arviointiin.



Kuva 14. Kosteuden vaikutus lämpötilaan seuraavilla oletuksilla: Lämpötila 65 % kosteudella on otettu Ross-broilereiden lämpötilasuosituksesta kuvasta 8. Kosteuden vaikutus on laskettu THI-indeksillä käyttäen märkälämpötilan kertoimena Chepeten ym. (2005) nuorille broilereille mittaamaa arvoa $C_{wb} = 0,38$.

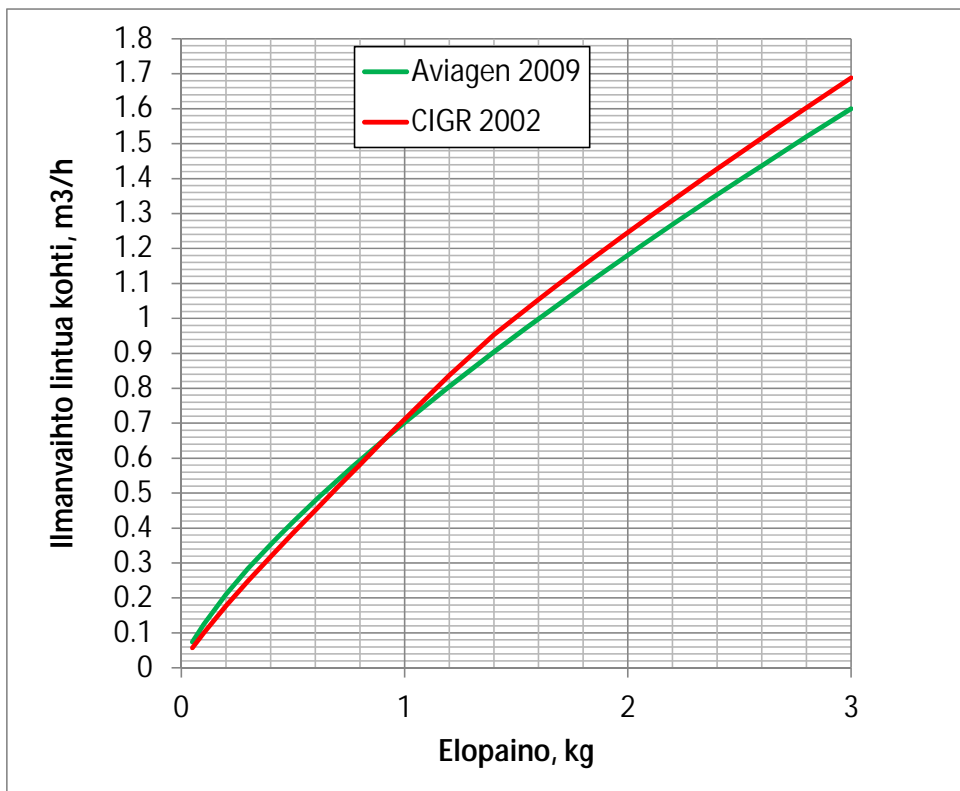


Kuva 15. Kosteuden vaikutus lämpötilaan seuraavilla oletuksilla: Lämpötila 40 %, 50 % ja 60 % kosteuksilla on otettu Cobb-broilereiden lämpötilasuosituksesta vanhan emon jälkeläisille kuvasta 7. Kosteuden vaikutus on laskettu THI-indeksillä käyttäen märkälämpötilan kertoimena Chepeten ym. (2005) nuorille broilereille mittaamaa arvoa $C_{wb} = 0,38$.

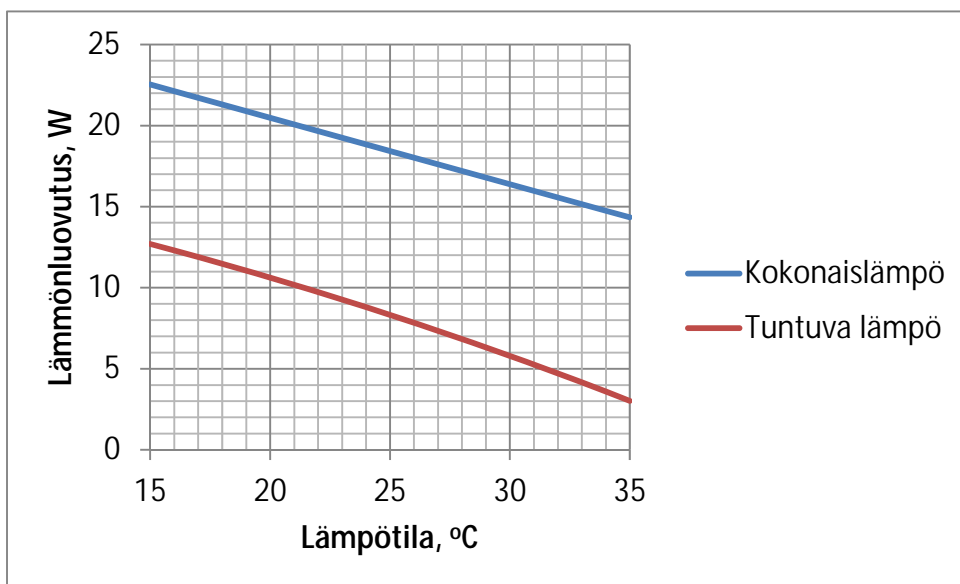
5.1.2 Ilman laatu ja ilmanvaihdon tarve

Broilerikasvattamon ilmanvaihdon ensisijainen tehtävä on pitää ilman laatu riittävän hyvänä. Määräävänä on yleensä hiilidioksidin pitoisuus, joka saa olla EU-direktiivin mukaan enintään 3000 ppm. Kuvassa 16 on tällä periaatteella laskettu ilmanvaihdon minimitarve käyttäen CIGR:n laskentakaavoja broilerin lämmön sekä hiilidioksidin tuotolle. Kuvassa on myös Aviagenin käsikirjan minimi-ilmanvaihdon tarve, joka on tätä hieman pienempi yli kilon painoisilla linnuilla. Käytännön kokemus on, että broilerilla on ilman laadun suhteen oma optiminsa, jota voidaan arvioida linnun käyttäytymisen, kasvun ja hyvinvoinnin perusteella (Jyrki Lehtonen, Suomen Broiler Oy, sähköpostiviesti 2013).

Ammoniakkipitoisuutta ei voi hallita ilmanvaihdolla vaan lähinnä pitämällä pehku kuivana (Yli-Soini 2011). Kasvatuskauden lopulla ja etenkin kesällä ja syksyllä kuvan 16 minimi-ilmanvaihto voi johtaa liian suureen ilman kosteuteen. Tällöin ilmanvaihtoa on syytä lisätä. Suurempaa ilmanvaihtoa tarvitaan myös poistamaan ylimääräistä lämpöä silloin kun kasvattamon lämpötila muuten nousisi liian korkeaksi Tuetun rakentamisen ohjeissa (Maa- ja metsätalousministeriö, 2002) annetaan maksimi-ilmanvaihdon arvoksi 5 m³/h lintua kohti, joka riittää poistamaan esimerkiksi 2,4 kg painoisen broilerin tuottaman lämmön silloin kun hallin sisälämpötila on 25 astetta ja ulkolämpötila 20 astetta. Linnun tuntuva, ilman lämpötilaa kohotettava lämpöteho on tällöin 8,3 W (Kuva 17). Kuvasta näkyy, että sisälämpötilan noustessa linnun tuottama lämpö hieman alenee ja siten sisä- ja ulkolämpötilan ero pienenee. Esimerkiksi 28 asteen sisälämpötilassa ilmavirta 5 m³/h riittää poistamaan broilerin lämmön silloin kun ulkolämpötila on 24 astetta. (Kuva 17).



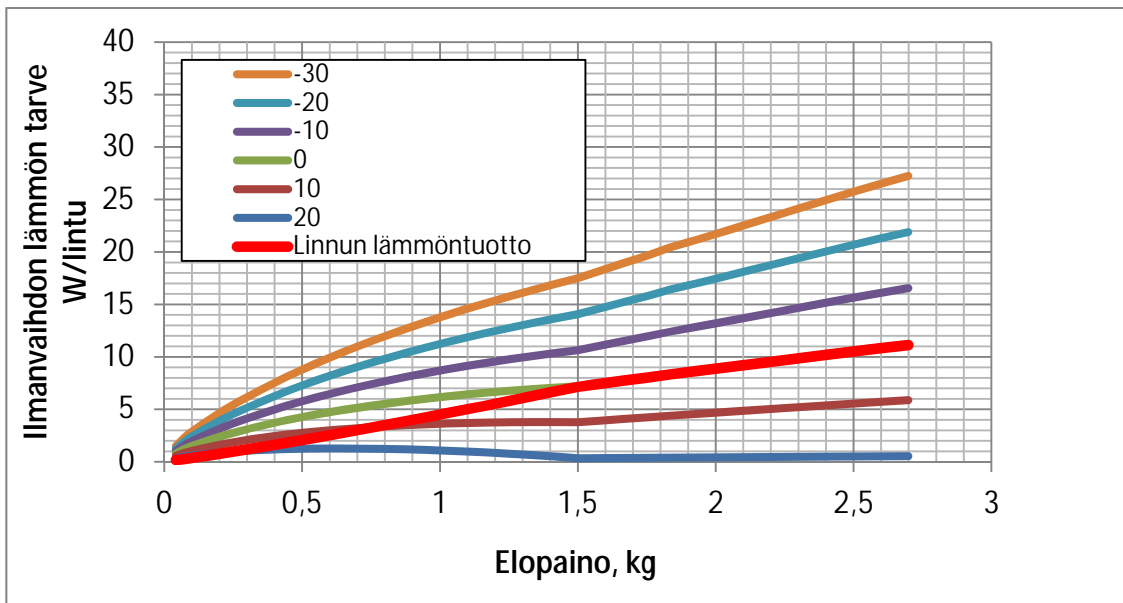
Kuva 16. Minimi-ilmanvaihto lintua kohti Aviagenin (2009) mukaan sekä CIGR:n kaavojen (Pedersen & Sällvik 2002) mukaan laskettuna, käyttäen sisäilman hiilidioksidipitoisuutena 3000 ppm sekä ulkoilman hiilidioksidipitoisuutena 400 ppm.



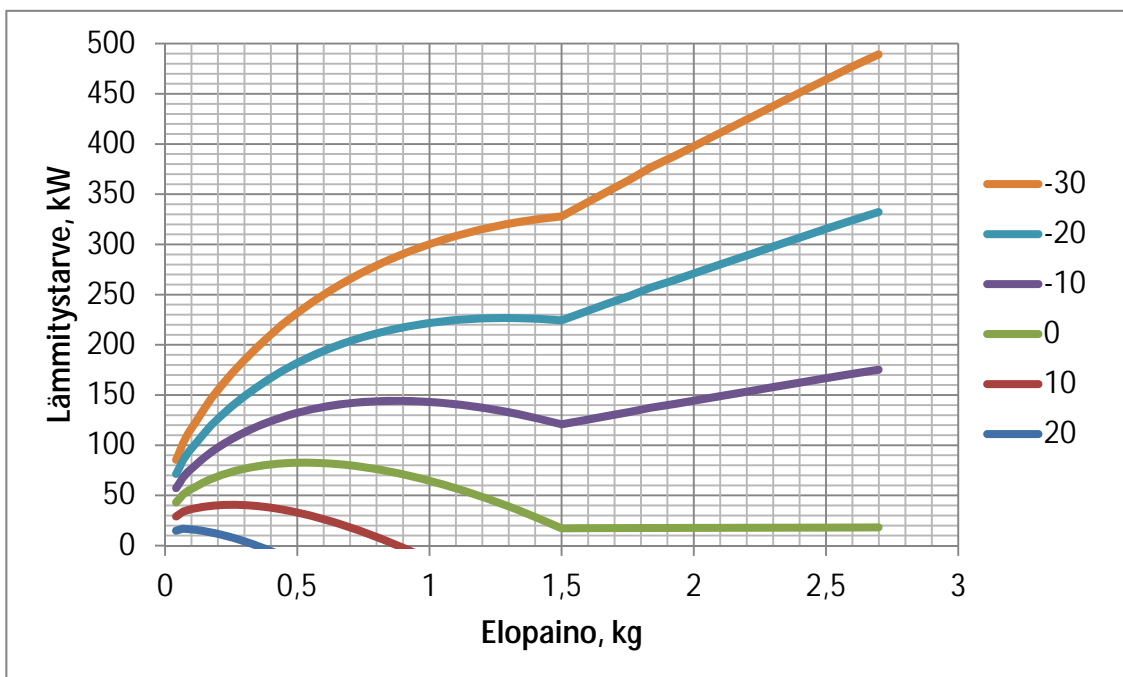
Kuva 17. 2,4 kg painoisen broilerin kokonaislämmönluovutus sekä tuntevan lämmön luovutus. Näiden erotus sitoutuu linnun iholta ja hengityselinten pinnalta haihtuvaan vesihöyryyn, joka poistuu hallista ilmanvaihdon mukana. Tuntuva lämpö poistuu pääosin ilmanvaihdon kautta mutta osittain myös rakenteiden läpi. Tuntuva lämpö ja kosteuteen sitoutunut lämpö ovat lähes samansuuruiset broilereiden loppukasvatustilanteessa + 20 C asteen lämpötilassa. Käytetty CIGR:n kaavoja (Pedersen & Sällvik 2002).

5.1.3 Lämmitystehon tarve

Kuvan 16 mukaisen minimi-ilmanvaihdon aiheuttama lämmitystarve (Kuva 18) riippuu kasvatusvaiheen edellyttämästä sisälämpötilasta (Kuva 7) sekä ulkolämpötilasta. Kuvaan 18 on laskettu ilmanvaihdon lämmitystarpeen lisäksi myös broilerin tuottama lämpöteho, joka kuvan mukaan riittää kasvatusvaiheen lopulla kattamaan ilmanvaihdon lämmitystarpeen vielä 0 °C ulkolämpötilassa. Kuvaan 19 on laskettu tarvittava lämmitysteho 28 000 broilerin hallille, kun broilerin oma lämmöntuotanto on otettu huomioon. Kuvassa on otettu huomioon myös tyypillinen lämpöhäviö seinien, katon ja lattian kautta. Nähdään, että leudossa ilmastossa lämmitystehon tarve on suurimmillaan kasvatusjakson alkupäässä. Kylmässä ilmastossa lämmitystehon tarve on suuri kasvatusjakson loppupäässä ja voi tulla erittäin suureksi, jos kovimmat pakkaset osuvat kasvatuksen lopulle.



Kuva 18. Broilerin tarvitsemaa minimi-ilmanvaihtoa vastaava lämmitysteho eri ulkolämpötiloissa sekä broilerin itsensä tuottamatuntuva lämpöteho. Minimi-ilmanvaihto on CIGR-kaavojen mukainen ja vastaa 3000 ppm:n CO₂-pitoisuutta. Sisälämpötila vastaa HK Ruokatalon suositusta.



Kuva 19. 28000 broilerin hallin lämmitystarve eri ulkolämpötiloilla. Seinien eristeenä on 140 mm mineraalivillaa ja yläpohjan eristeenä 300 mm puhallusvillaa (johtumislämpöhäviö 750 W/K).

6 Mittaustulokset

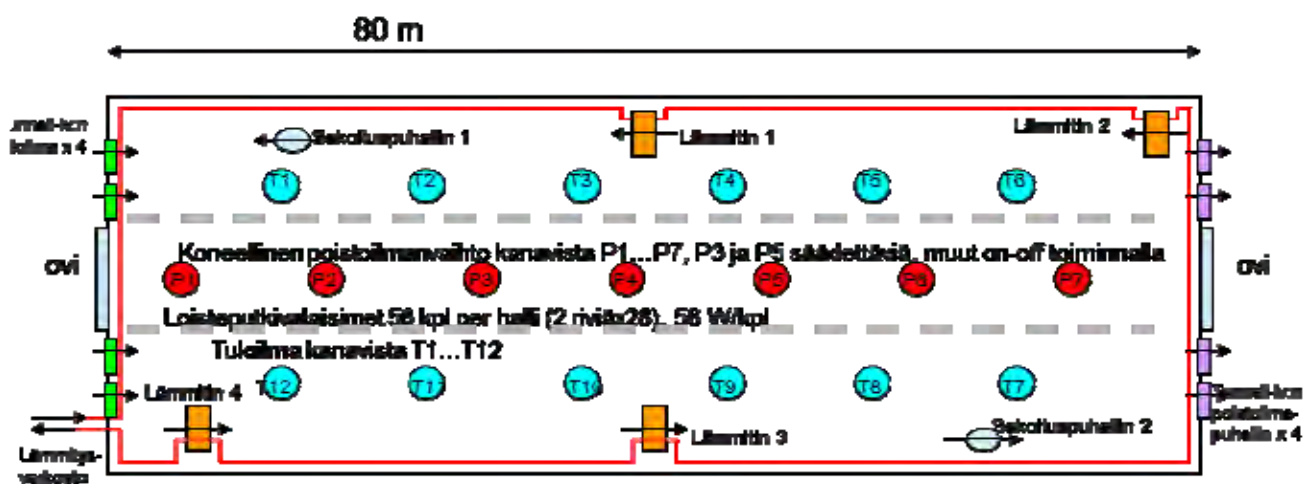
6.1 Mittaukset broilerihallissa

Mittauskohteena oli kaksi hallia Varsinais-Suomessa sijaitsevalla broileritilalla. Halleissa tehtiin lyhyen jakson toimivuusmittaukset talvi- ja kesäjaksoilla. Tulosten perustella arvioitiin nykyisen järjestelmän toimivuutta ja esitettiin parannusehdotukset säätö- ja ohjausjärjestelmälle. Tuloksia käytettiin broilerihallin ilmanvaihtojärjestelmän ja rakennuksen ilmanvaihto- ja energiateknisen toimivuuden mallintamiseen.

6.1.1 Rakennuksen yleiskuvaus

Tilalla on yhteensä 4 hallia, joista kahdessa (halli 3 ja halli 4) tehtiin sisäilmamittauksia. Hallit olivat vierekkäisiä ja keskenään samanlaisia ja ne oli erotettu toisistaan väliseinällä. Yhden hallin koko on noin 1 600 m² (80 m x 20 m) ja hallin sisäkorkeus on 3,7 m. Hallissa kasvatetaan kerralla noin 27 500 broileria.

Broilereiden lanta imeytyy lattialle levitettävään turvekuivikkeeseen. Kasvatus kestää noin 37–40 päivää. Untuvikot ovat kasvatusjakson alussa noin 40 g:n painoisia ja painavat kasvatusjakson lopussa noin 2500 g. Vuodessa on noin 6 kasvatusjaksoa.



Kuva 20. Broilereiden kasvatushallin periaatekuva.

6.1.2 Ilmanvaihto ja lämmitys

Kasvatushallin ilmanvaihtojärjestelmänä on koneellinen poistoilmanvaihto. Vesikaton läpi johdetuissa poistoilmakanavissa (7 kpl) on jokaisessa oma poistoilmapuhallin. Kaksi puhaltimista on säätövalmiita ja viisi on-off toimisia puhaltimia (I-FAN 80 911 W 2 kpl säätövalmiit; 5 kpl I-FAN1680 1091 W). Maksimi-ilmavirta puhaltimilla on yhteensä noin 145 000 m³/h (mitoitusilmavirta 20800 m³/h/puhallin). Säädettävien puhaltimien minimi-ilmavirta on noin 3 % maksimi-ilmavirrasta. Järjestelmällä säädettävissä oleva minimi-ilmavirta on 1248 m³/h (2 puhaltimen minimi-ilmavirta). Järjestelmässä ei ole lämmön talteenottoa.



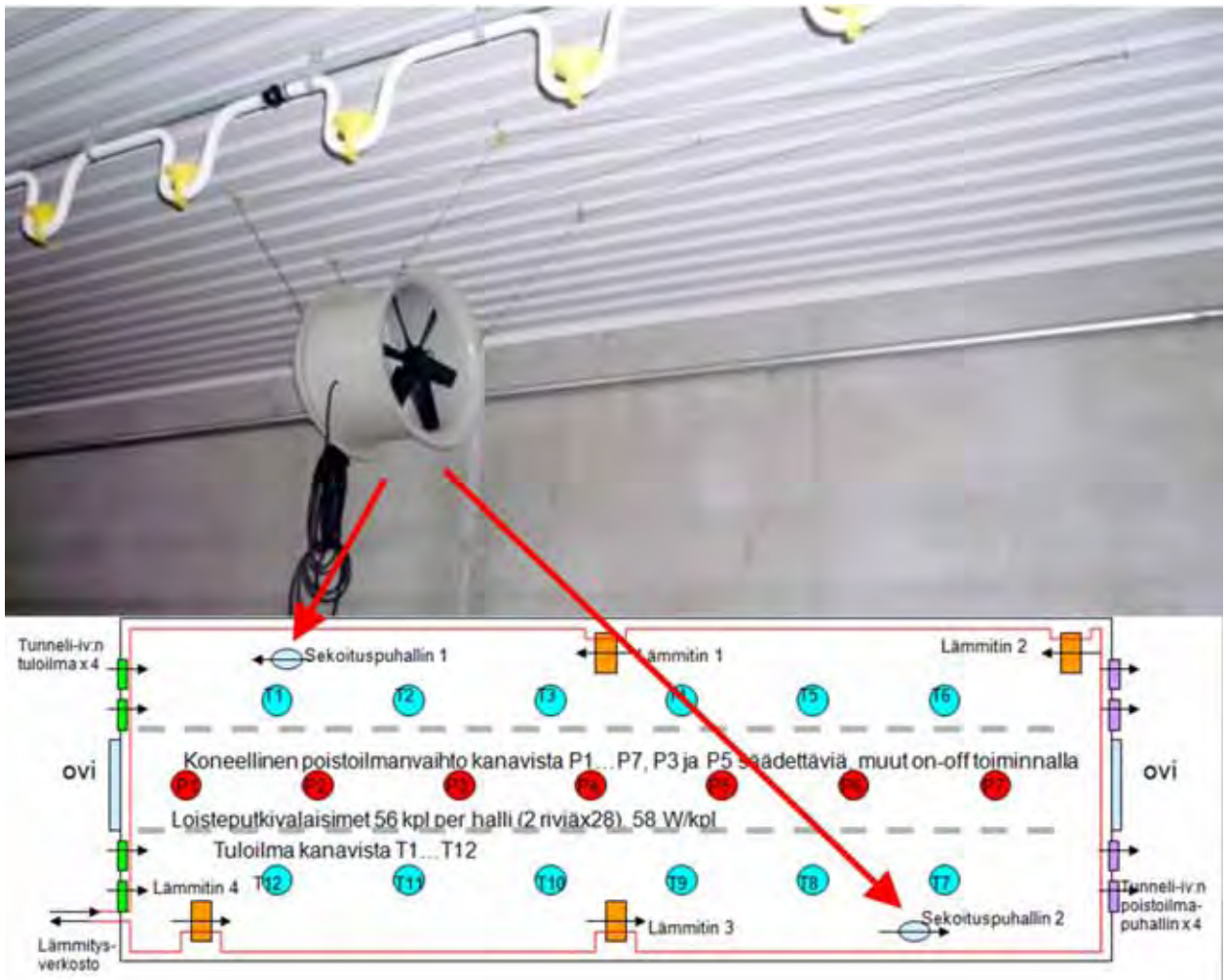
Kuva 21. Hallin poistoilmakanava kiinni ja auki asennossa. Kanavan alareuna on noin 60 cm etäisyydellä kattopinnasta. Hallin sisäkorkeus on 3,7 m.

Ulkoilma johdetaan halliin katosta poistoilmapuhaltimien molemmin puolin olevilla säädettävillä ulkoilmakanavahajottimilla (12 kpl).



Kuva 22. Säädettävä ulkoilmakanavahajotin, jonka alareuna on noin 80 cm hallin kattopinnasta. Kuvassa ruokintalaitteet on pesun ajaksi nostettu kattoon.

Hallin sisäkatossa on lisäksi 2 kappaletta sekoituspuhaltimia, jotka mm. tasoittavat sisälämpötiloja. Ilmanvaihdon tehostamiseen mm. kesätilanteessa käytetään ns. tunneli-ilmanvaihtoa. Hallin toisessa päätyseinässä on 4 kpl poistoilmapuhaltimia ja vastapäädystä 4 kpl ulkoilmaluukkuja. Tunnelipuhaltimien maksimi-ilmavirta on 40800 m³/h/puhallin eli 4 puhaltimen maksimi-ilmavirta on 163200 m³/h.



Kuva 23. Kierrätyspuhaltimet.

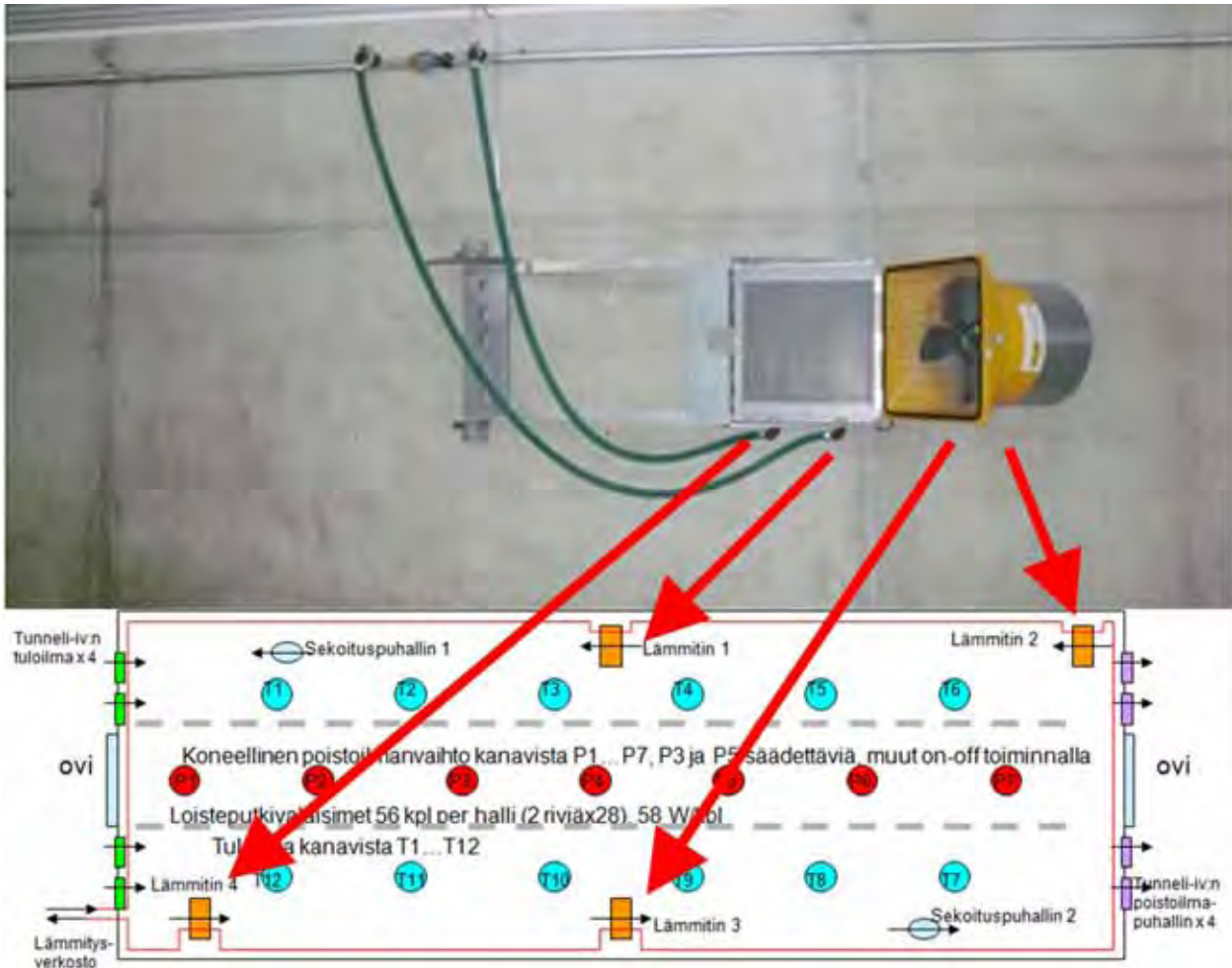


Kuva 24. Hallin päädyn tunneli-ilmanvaihdon tulo- ja poistoilmaluukut.

Ilmanvaihtoa säädetään Fancom F38 säätölaitteilla. Sääto tapahtuu pääosin sisälämpötilojen perusteella. Järjestelmässä on käytössä lämpötila-, kosteus- ja CO₂-mittaukset. Lisäksi ilmavirta mitataan ns. mittapuhaltimella.

Hallien lämmitys hoidetaan erillisessä lämpökeskuksessa polttamalla olkea. Varajärjestelmänä on öljylämmitys. Hallien lämmityspotket kiertävät hallien sivuseinillä, jossa sijaitsevat myös puhallinlämmittimet (4 kpl). Lämpötilatavoitteina on kasvatuksen alussa noin 34 °C ja kasvatuksen lopussa noin 21 °C.

Valaistus hoidetaan loisteputkivalaisimilla 56 kpl per halli (2 riviä x 28 valaisinta), kuva 10. Valaisimien maksimiteho on 58 W/kpl mikä tuottaa 3,2 kW maksimikuorman. Valo-ohjelmassa asetetaan trendi valaistustasolle ja yö-päivä asetukset kasvatustason ajalle



Kuva 25. Lämmitysputki ja puhallinlämmitin. Lämmitysputket eristämättöminä lämmittävät myös hallin ilmaa.

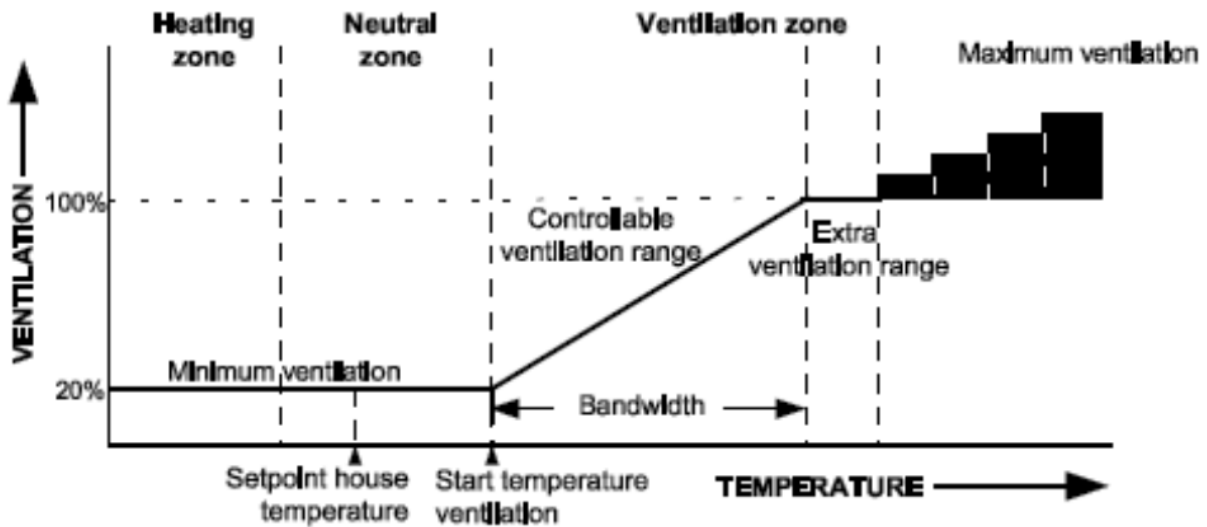
Fancom F38 säädön periaate on kuvattu järjestelmän manuaalissa /1/. Säätojärjestelmällä voidaan hoitaa

- 1) olosuhteiden hallinta eläinten kasvatuksen/elinkaaren ajan,
- 2) eläinmäärän hallinta,
- 3) ulkoisten laitteiden hallinta ja
- 4) hälytykset ja keskeytykset/interventiot.

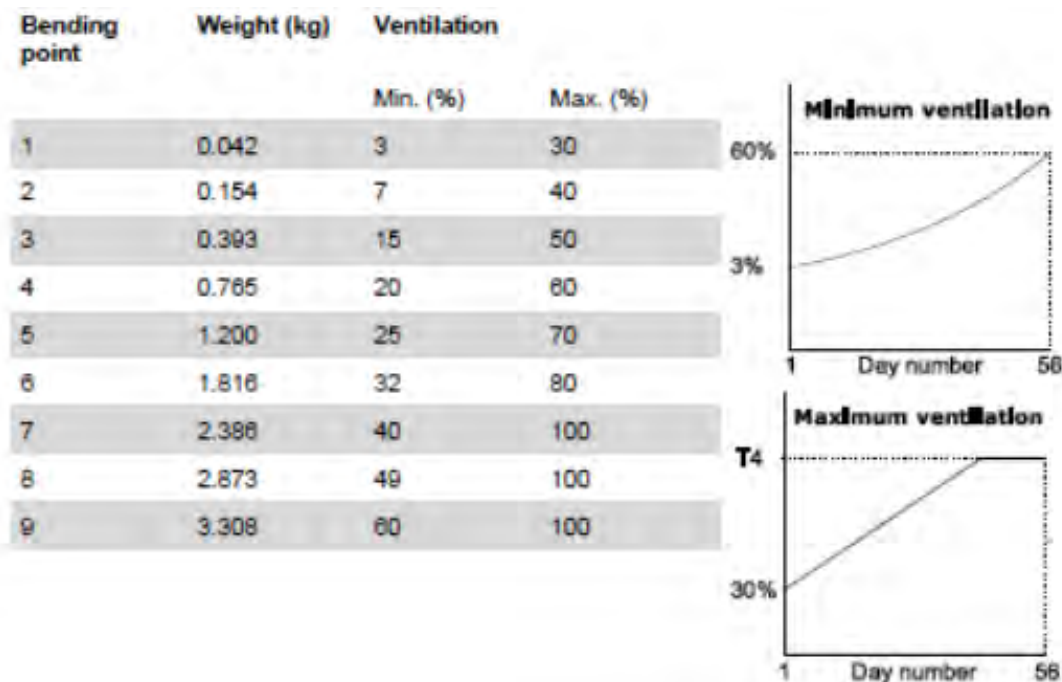
Lämpötilaa, suhteellista kosteutta ja ilman raikkautta (CO_2 tai NH_3 -pitoisuus) säädetään ilmanvaihdolla, lämmityksellä ja jäähdytyksellä. Olosuhteiden hallinta voidaan tehdä kasvatustason aikana eläimen tarpeen mukaan määrittelemällä eri asetukset jakson aikana. Lämpötila on alussa korkeampi ja laskee kasvatustason loppua kohti. Ilmamäärä on jakson alussa pieni ja ilmavirtaa kasvatetaan jakson loppua kohti.

Ulkoisten olosuhteiden huomioiminen säädössä on mahdollista. Ulkoisia olosuhteita ovat ulkolämpötila, suhteellinen kosteus ja tuulisuus.

Ilmanvaihdon säätö tapahtuu kuvan 26 säätökäyrän mukaisesti. Minimim ja maksimin taso määräytyy asetellun taulukon (Kuva 27) tai käyrän mukaisesti kasvatusjakson päivän määräämällä. Minimiarvo kasvaa jakson loppua kohti broilereiden kasvaessa ja vaatiessa suurempaa ilmamäärää. Ilmanvaihtojärjestelmä on suunniteltu erityisesti ns. MTT-hallikonseptiin, missä lyhenne kuvaa ilmanvaihdon eri tilanteita: MTT=Minimum/Transitional/Tunnel.



Kuva 26. Ilmanvaihdon säätökäyrän periaate (Fancom 2010).



Kuva 27. Ilmanvaihdon minimi- ja maksimiarvot kasvatusjakson aikana, esimerkki taulukon asettamisesta (Fancom 2010).

'Heating zone' -vaiheessa käytetään aina minimi-ilmavirta, 'Neutral zone' -vaiheessa aina minimi-ilmavirta ja ei käytetä lämmitystä ja lämpötila saa liukua. 'Ventilation zone' -vaiheessa lämpötilan noustessa yli asetuksen (start temp ventilation) kasvatetaan ilmavirtaa. 'Controllable ventilation zone' -alueella puhaltimia säädetään ilmavirran tarpeen mukaan. Käytännössä ilmanvaihdon tarpeen kasvaessa otetaan yksi kerrallaan on/off puhaltimia käyttöön ja samalla ajetaan säätyvien puhaltimien ilmavirta minimiin,

minkä jälkeen säätyvien puhaltimien avulla voidaan taas kasvattaa ilmavirtaa portaattomasti ylöspäin. Näin saadaan aikaiseksi portaaton säätö koko ilmastoinnin 0-100% alueelle. Lämpötilan siirtyessä 'Extra ventilation range' -alueen oikealle puolelle käytetään ns. tunneli-ilmanvaihtoa.

Suhteellisen kosteuden yläraja voidaan asettaa käyrällä kasvatusjakson etenemisen mukaan. Asetusarvon ylityessä lisätään ilmanvaihtoa tai lämmitystä. Alarajaksi voidaan asettaa vakioarvo ja ilmaa kostutetaan alarajan alittuessa (mikäli kostutus on käytössä).

Pitoisuuden säätö tehdään siten, että CO₂ tai NH₃-pitoisuuden noustessa yli asetusarvon, nostetaan ilmanvaihdon minimi-ilmavirran asetusta. Järjestelmä nostaa minimi-ilmavirtaa 1% :lla ja jos pitoisuus ei laske, edelleen 1% aina kunnes pitoisuus alkaa laskea (ks. /1/ ns. 'influences' toiminnot). Perusasetuksia optimoidaan 'influences' -toiminnoilla.

Säädön ajastintoiminnoilla voidaan hoitaa juomaveden syöttöä, valaistusta ja muita ajastettuja toimintoja. Eläinmäärän hallinta osiossa voidaan hoitaa alustus eläinmäärälle, kuolleisuuden rekisteröinti ja eläinten poistot säätöjärjestelmästä.

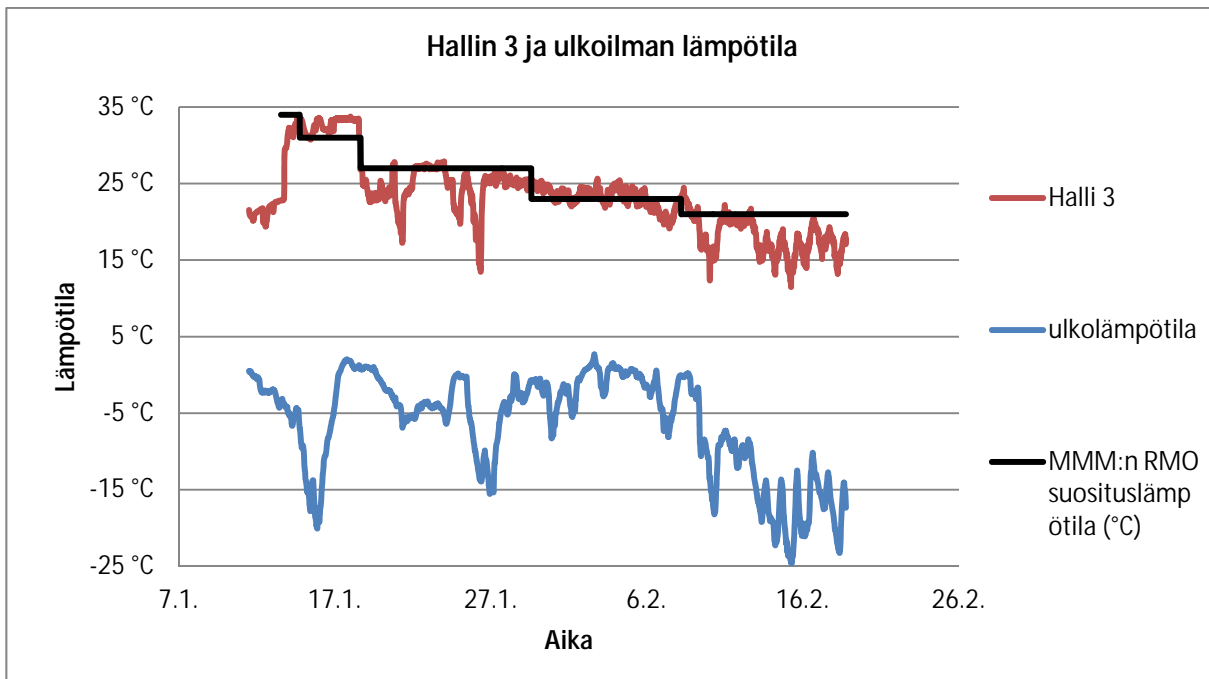
6.1.3 Olosuhteiden mittaukset

Olosuhteita ja eläinmääriä seurataan tilalla broileripäiväkirjan ja mittausten avulla. Sisäilmastomittaukset käsittävät ilman lämpötilan ja suhteellisen kosteuden sekä CO₂ pitoisuuden mittaamisen. Mittaukset tehtiin talvella ja kesällä. CO₂-pitoisuuden mittaukset oli tarkoitus tehdä molemmissa tutkituissa halleissa, mutta talvijaksolla toisen hallin mittari rikkoontui heti mittauksen alussa. Kesän mittaus onnistui hyvin.

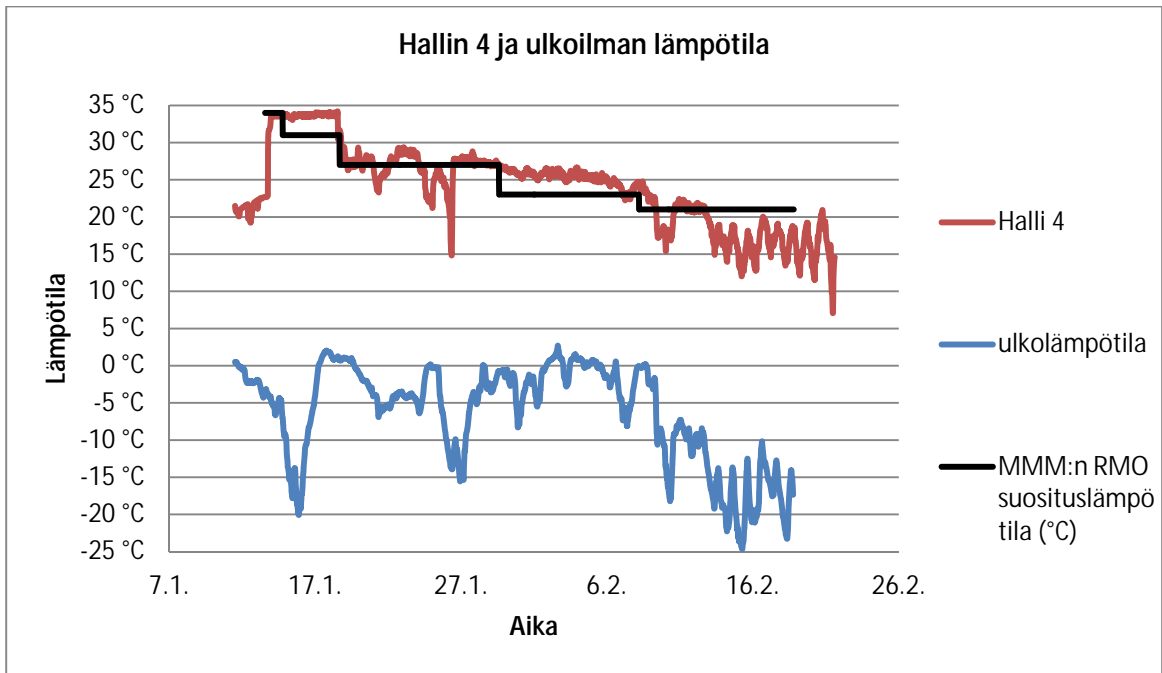
Ilman lämpötilan ja suhteellisen kosteuden sekä CO₂-pitoisuuden mittaukset tehtiin jatkuvatoimisilla seurantamittareilla yhden kasvatusjakson mittaussuurantana talvella 13.1.–18.2.2011 ja kesällä 10.8.–21.9.2011.

Lämpötila

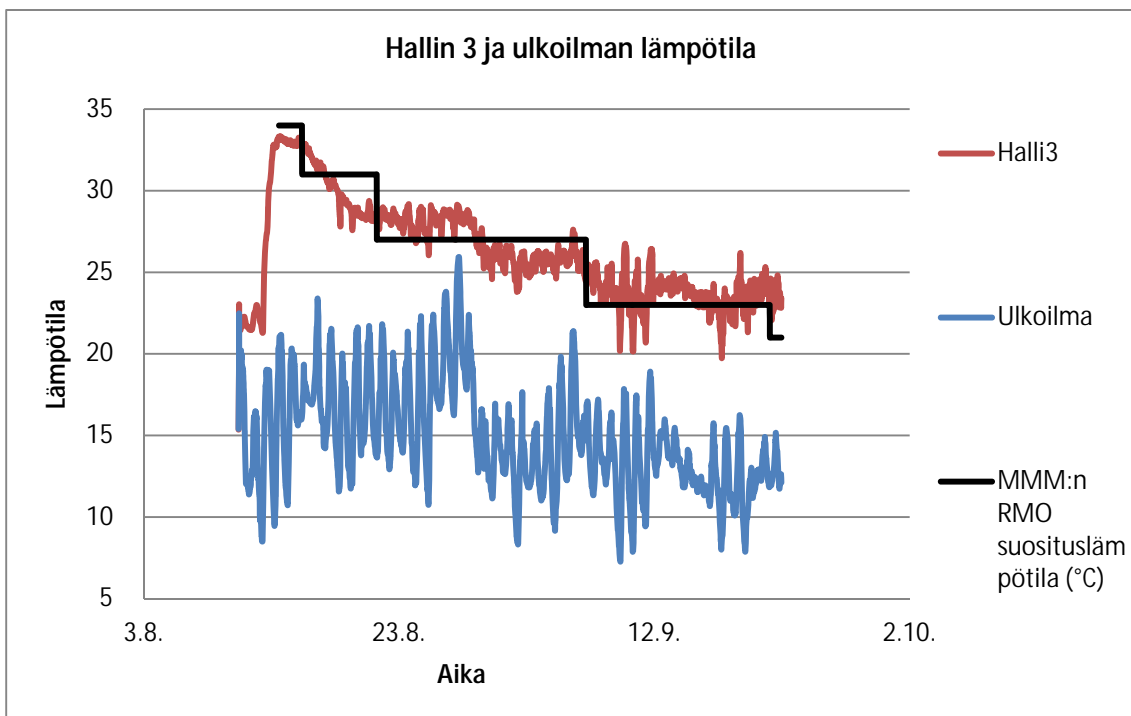
Ilman lämpötilat eri halleissa mittaussuurannan ajalta talvella ja kesällä selviävät jäljempänä olevista kuvista.



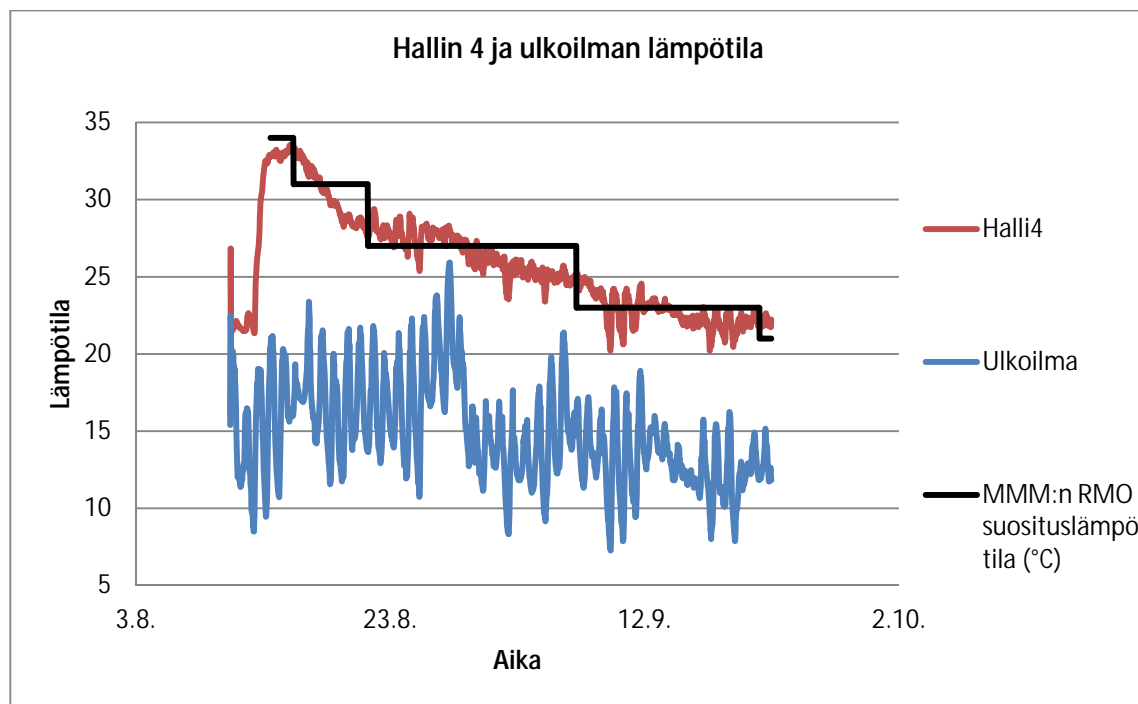
Kuva 28. Ilman lämpötila talvella, halli 3.



Kuva 29. Ilman lämpötila talvella, halli 4.



Kuva 30. Ilman lämpötila kesällä, halli 3.



Kuva 31. Ilman lämpötila kesällä, halli 4.

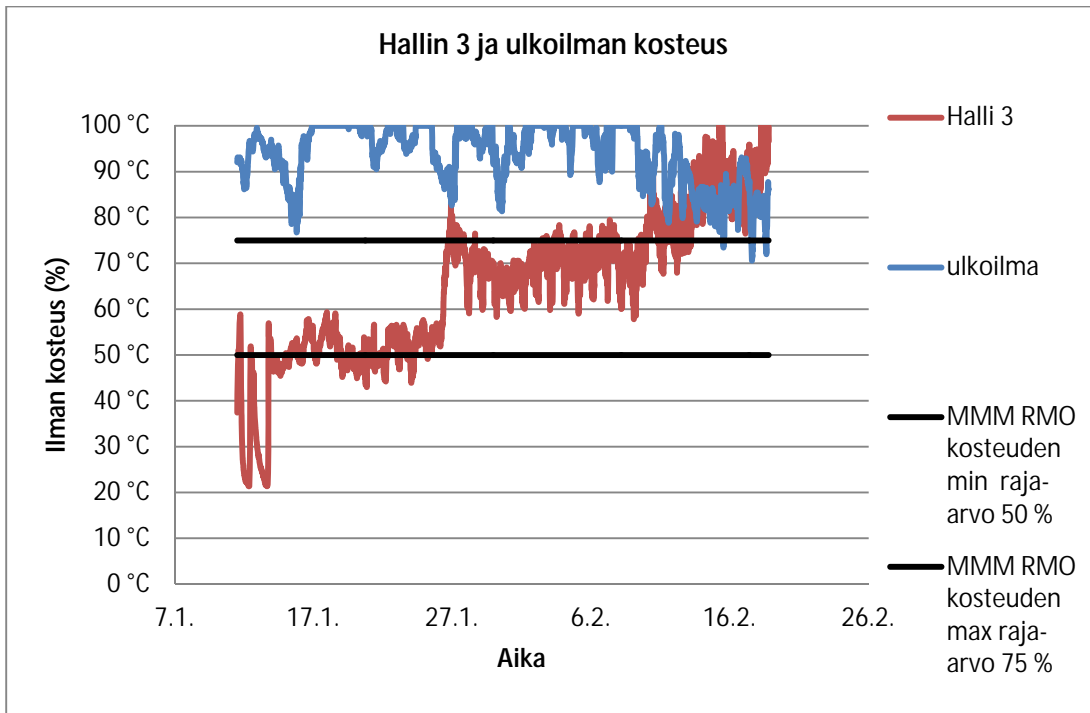
Kuvien mukaan hallien sisäilman lämpötila pysyi talvella aika hyvin MMM:n suosituslämpötilan puitteissa koko kasvatuksen ajan lukuun ottamatta kasvatusjakson loppua, jolloin hallin lämpötila oli liian matala. Tähän aikaan myös ulkolämpötila oli kylmimmillään. 18.1. tapahtunut hallien lämpötilan laskeminen on ollut aika jyrkkä, jolloin hallien lämpötila on hetkessä alentunut noin 8–10 °C.

Tavoiteltu lämpötila kasvatuksen aikana alussa on 34 °C ja lopussa 21 °C. Molempien hallien lämpötila pysyi seurantajaksolla lähes samanlaisina. Ulkolämpötila kylmeni nopeasti 26.1–27.1 noin -15 °C, jonka seurauksena hallien sisälämpötilassakin tapahtui nopea aleneminen, mutta säädöt palauttivat sisälämpötilan aika nopeasti taas optimialueelle. Tätä ei kuitenkaan tapahtunut kuitenkaan 15.1, jolloin ulkolämpötila oli vieläkin kylmempi.

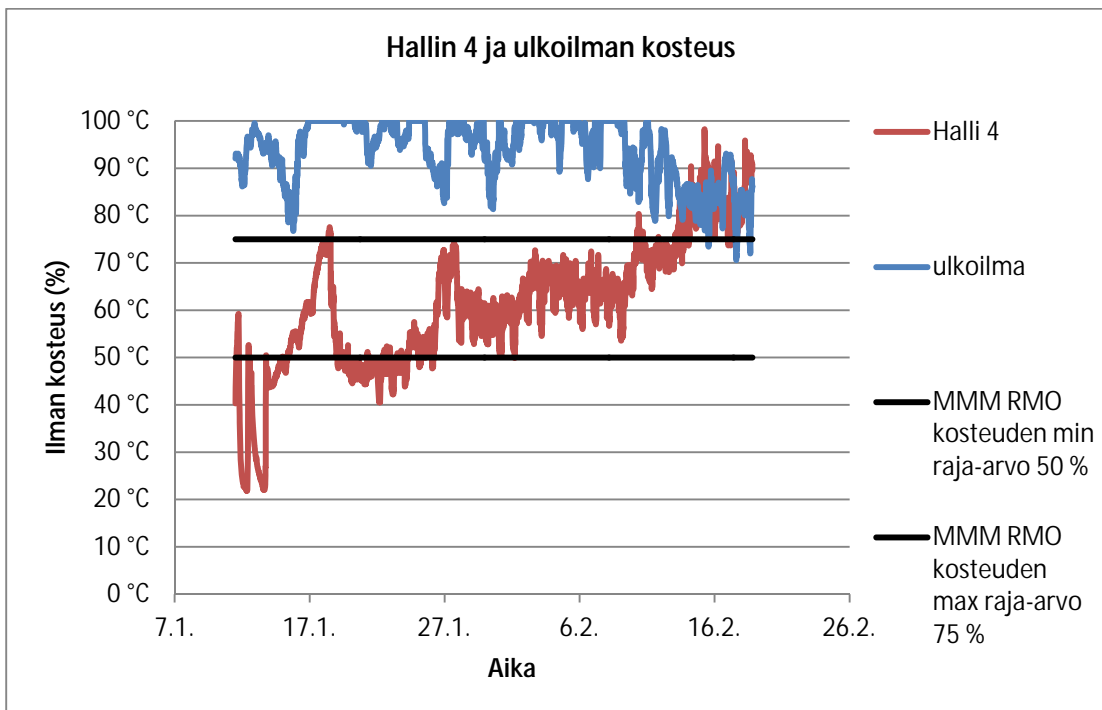
Kesällä lämpötilat pysyivät aika hyvin MMM:n suosituslämpötilan puitteissa koko kasvatuksen ajan, vaikka ajanjaksoon osui myös lyhyt hellepiikki.

Ilman suhteellinen kosteus

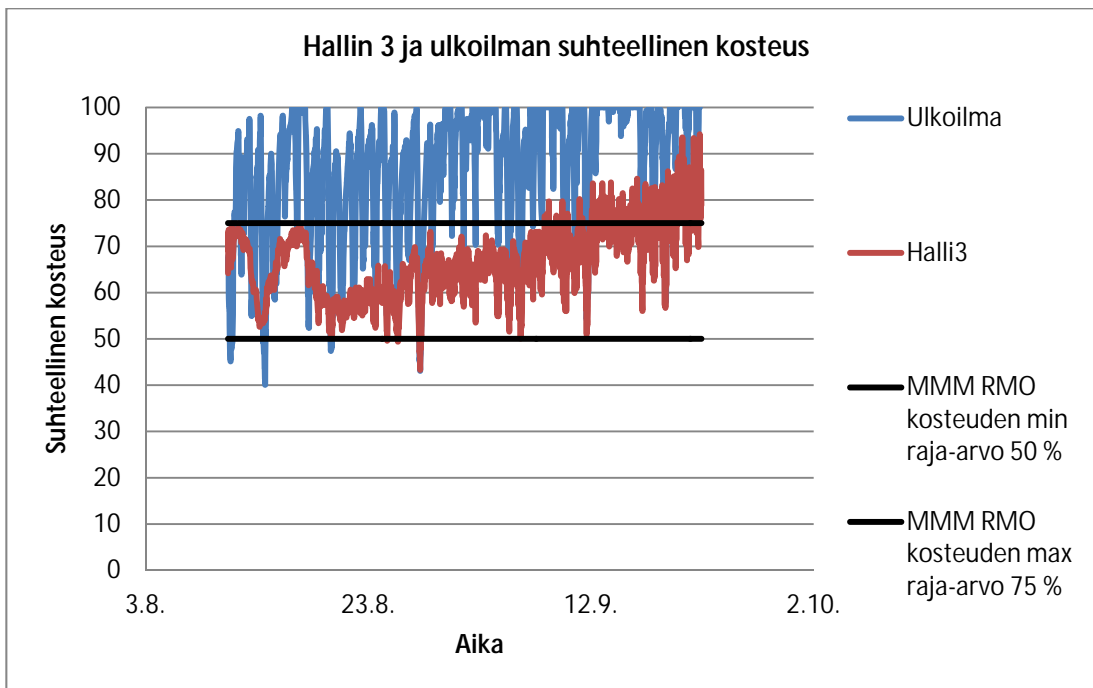
Ilman suhteellinen kosteus mittausseurannan ajalta talvella ja kesällä selviää jäljempänä olevista kuvista. Kuviin on myös merkitty MMM RMO C2.2:n ohjeen minimi – ja maksimikosteus.



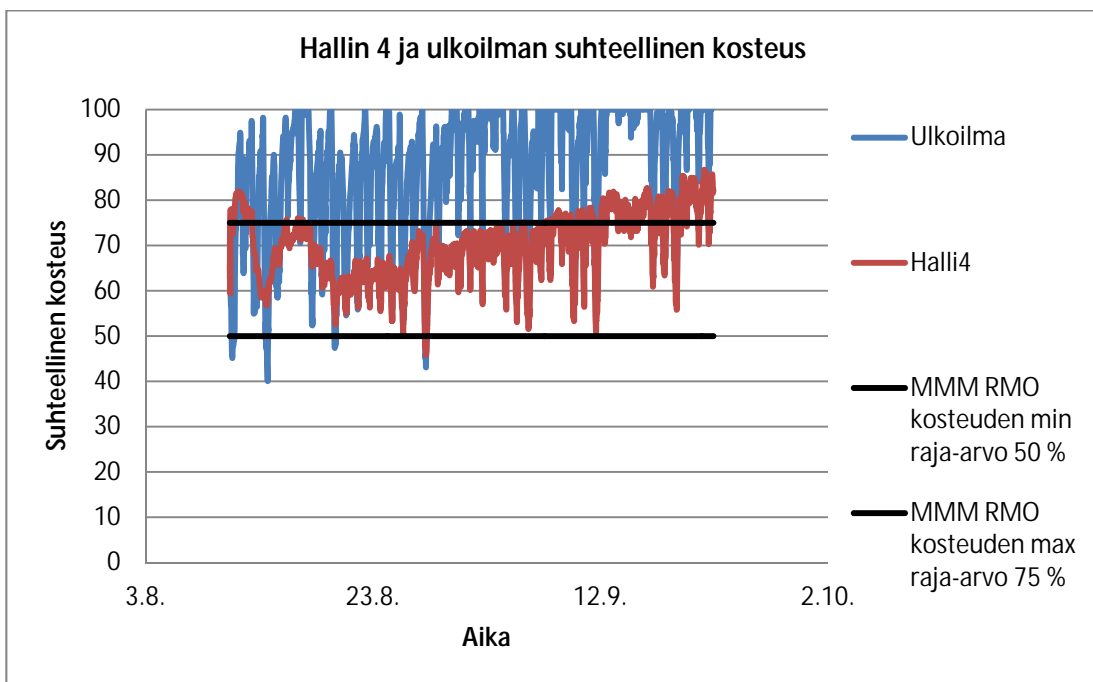
Kuva 32. Ilman suhteellinen kosteus talvella, halli 3.



Kuva 33. Ilman suhteellinen kosteus talvella, halli 4.



Kuva 34. Ilman suhteellinen kosteus kesällä, halli 3.



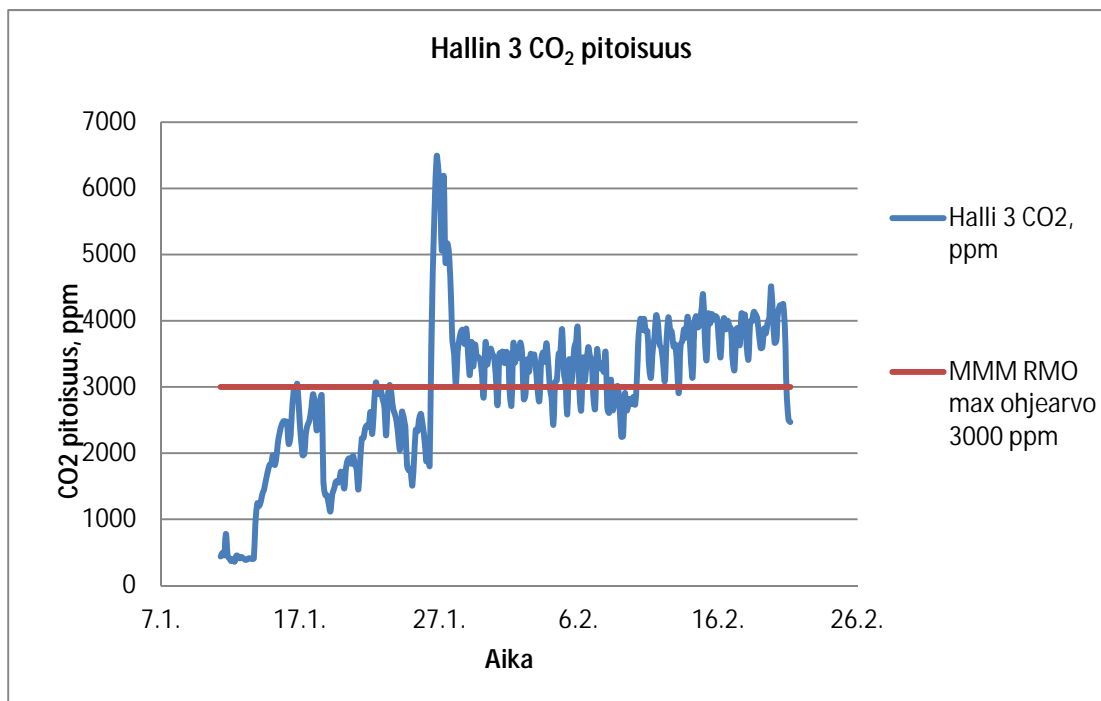
Kuva 35. Ilman suhteellinen kosteus kesällä, halli 4.

Kuvien mukaan hallien sisäilman suhteellinen kosteus oli talvella kasvatusaikana noin 50–95 %. Kasvatusjakson viimeisen viikon aikana suhteellinen kosteus oli ohjearvon yläpuolella. Kosteudet olivat halleissa muuten samaa luokkaa, mutta hallin 4 kosteuteen tuli jostain syystä nousupiikki ajalla 16.–19.1. Ulkolämpötila kylmeni nopeasti 26.1–27.1 noin -15 °C, jonka seurauksena hallien ilmanvaihtomäärää todennäköisesti pienennettiin, tämä näkyy hallien suhteellisen kosteuden nousupiikkinä selvästi.

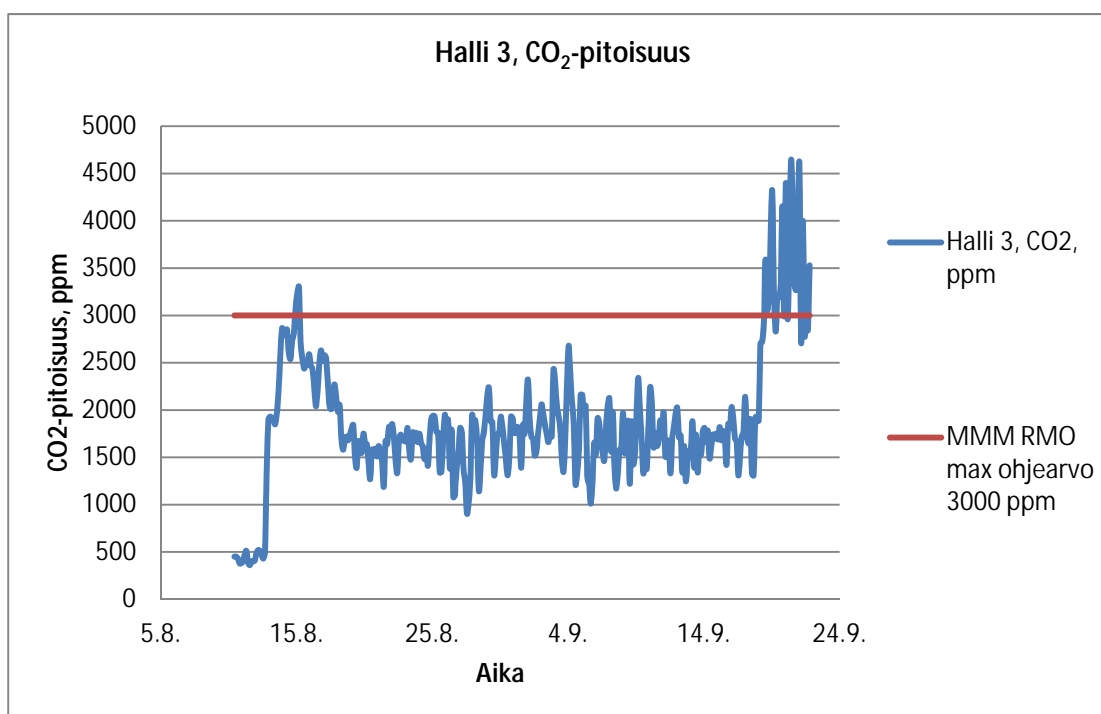
Kesällä hallien sisäilman suhteellinen kosteus oli ohjearvojen puitteissa lukuun ottamatta aivan kasvatusjakson loppua, jolloin kosteus oli 85–90 % välillä.

Ilman CO₂-pitoisuus

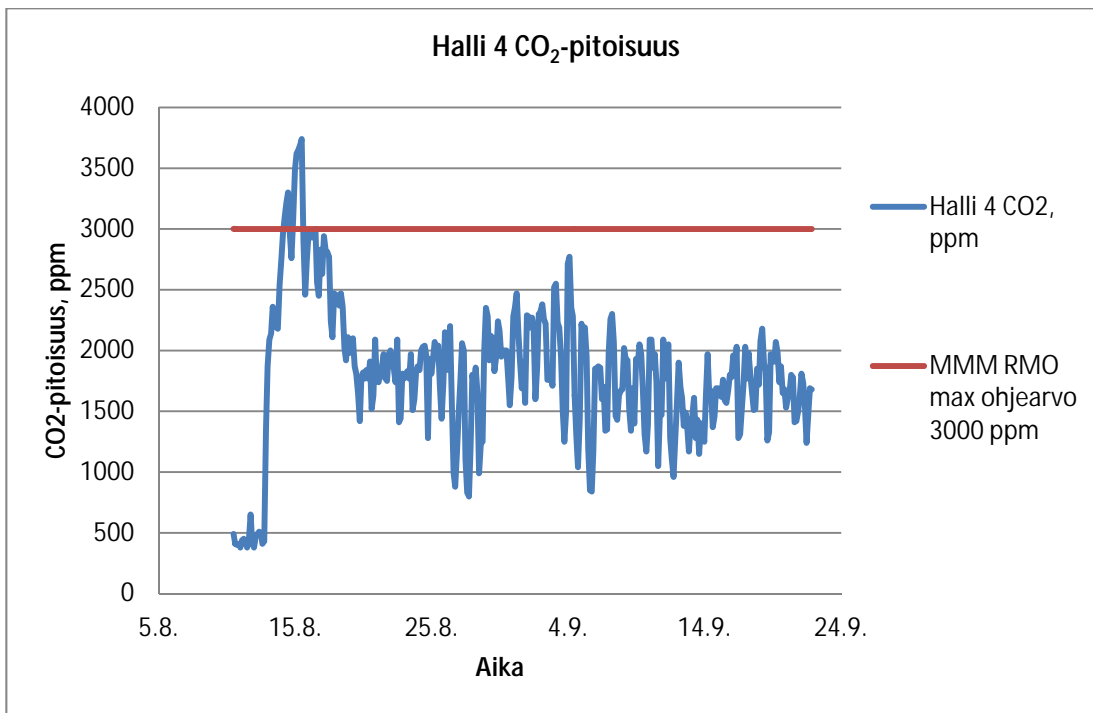
Hallin 3 ilman CO₂-pitoisuus mittausseurannan ajalta selviää jäljempänä olevista kuvista. Talvella hallissa 4 ollut mittari rikkoontui heti mittauksen alussa, joten siitä ei ole mittaustuloksia. Kuviin on myös merkitty MMM RMO C2.2:n ohjeen maksimiohjearvo.



Kuva 36. Ilman CO₂-pitoisuus talvella, halli 3.



Kuva 37. Ilman CO₂-pitoisuus kesällä, halli 3.



Kuva 38. Ilman CO₂-pitoisuus kesällä, halli 4.

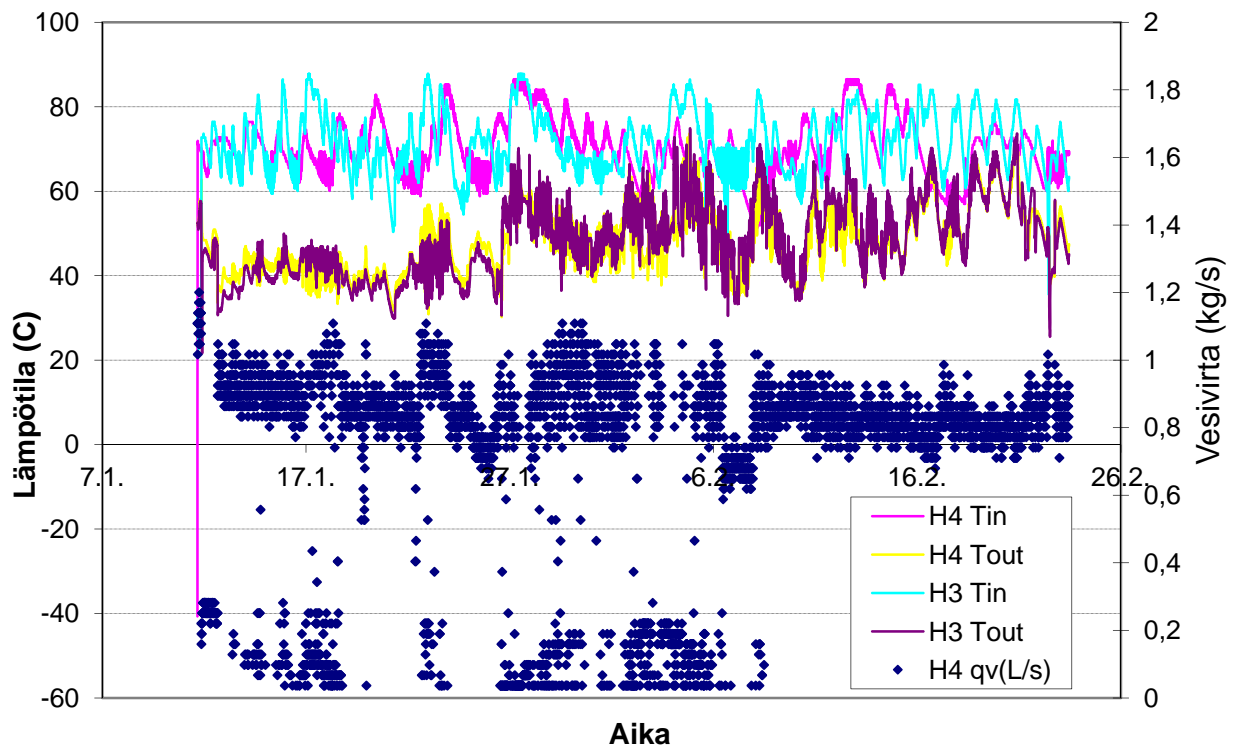
Hallin 3 CO₂-pitoisuus ylitti talvella ohjearvon 3000 ppm 26.1 jälkeen ollen suurimman osan aikaa 3000–4000 ppm välillä. Ulkolämpötila kylmeni nopeasti 26.1–27.1 noin -15 °C, jonka seurauksena hallien ilmanvaihtomäärää todennäköisesti pienennettiin, tämä näkyy hallien CO₂-pitoisuuden nousupiikkinä selvästi. Maksimiarvo oli hetkellisesti liki 6 500 ppm, jonka jälkeen pitoisuus aleni nopeasti.

Kesällä hallin 3 CO₂-pitoisuus ylitti ohjearvon 3000 ppm aivan kasvatusjakson lopussa ja hallin 4 CO₂-pitoisuus ylitti ohjearvon 3000 ppm aivan kasvatusjakson alussa. Muuten molempien hallien CO₂-pitoisuus pysyi selvästi ohjearvon alapuolella.

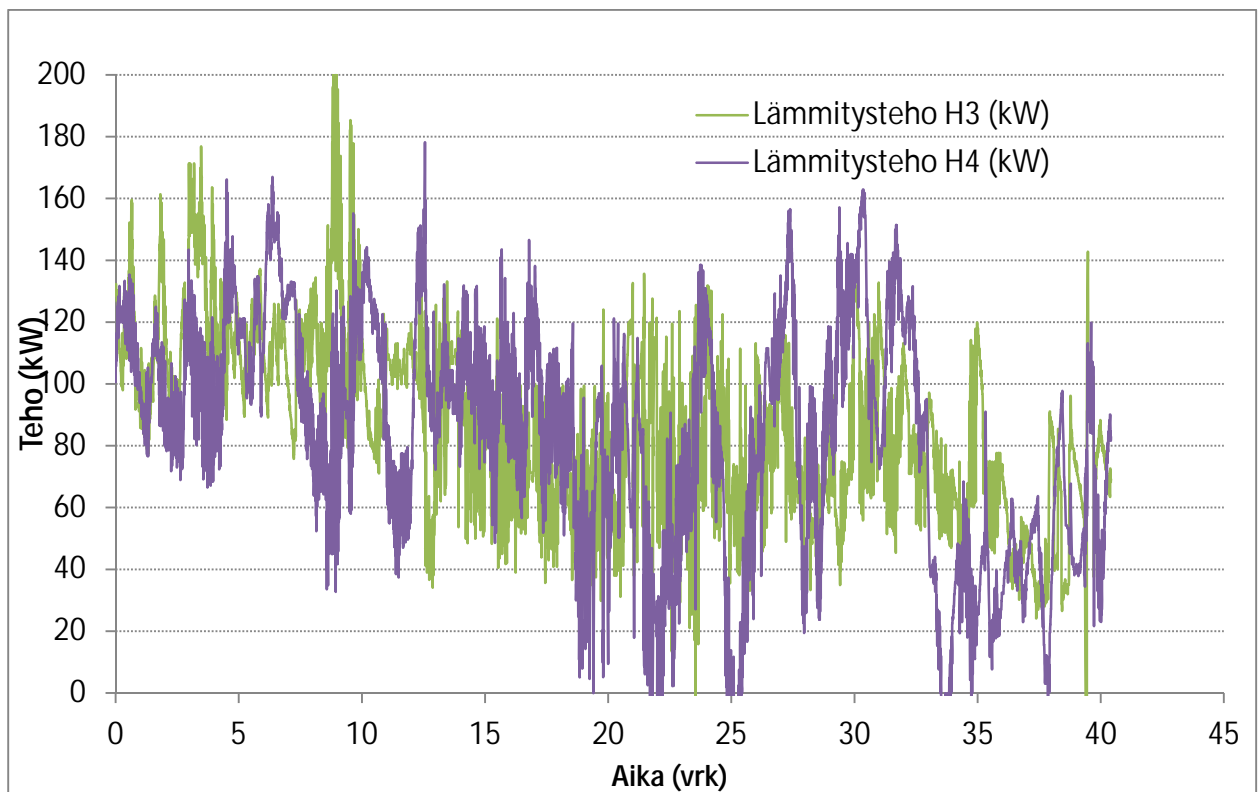
6.1.4 Lämmitysenergian mittaukset

Hallien 3 ja 4 lämmitysenergian kulutus mitattiin seuraavasti:

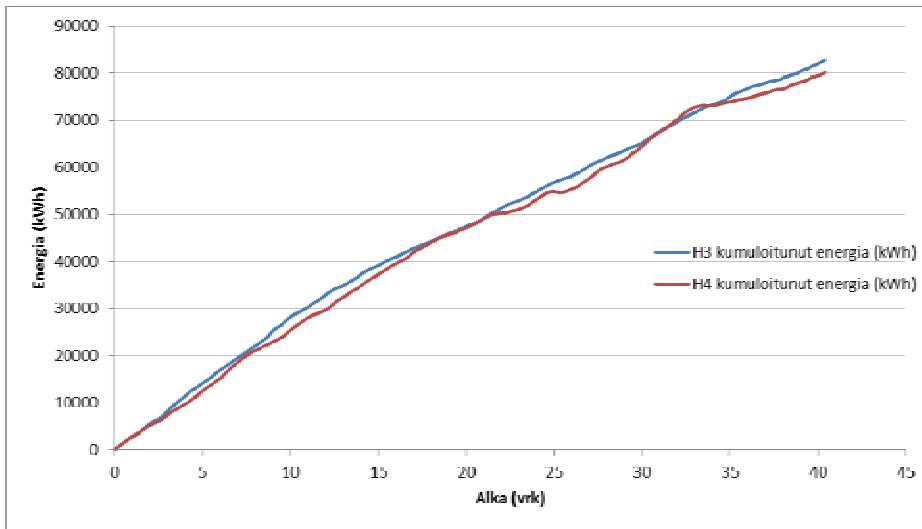
Lämpötilat mitattiin 1m päästä meno ja paluu putkesta hallin puolelta hallista 3 ja 4 Titytalk lämpötilaloggereilla. Anturit liitettiin putken pintaa ilmastointiteipillä ja eristettiin noin 20 cm matkalta Armaflex-eristeellä. Virtaus mitattiin ultraäänivirtausmittarilla putken pinnalta (mittarintyyppi: Ultrasonic flowmeter model: 994N5DM-3C1 s/n:U3617 ja mittausturiti oli Model:i 911PMS-1 s/n:U6090A/B). Mittarin ulostuloviesti talletettiin tinytalk jänniteloggeriin. Mittaustulokset on esitetty jäljempänä olevissa kuvissa.



Kuva 39. Putkien pinnoista mitatut meno- ja paluuveden lämpötilat ja hallin 3 vesivirta.



Kuva 40. Lämmitystehot jakson aikana halleissa 3 ja 4.



Kuva 41. Lämmitysenergian kulutuksen kumuloituminen jakson aikana.

6.1.5 Mittaustulosten tarkastelu

Lämpötila

Hallien sisäilman lämpötila pysyi talvella suhteellisen hyvin MMM:n suosituslämpötilan puitteissa koko kasvatuksen ajan lukuun ottamatta kasvatusjakson loppua, jolloin hallin lämpötila oli liian matala. Tähän aikaan myös ulkolämpötila oli kylmimmillään. 18.1. tapahtunut hallien lämpötilan laskeminen on ollut aika jyrkkä, jolloin hallien lämpötila on hetkessä alentunut noin 8–10 °C.

Tavoiteltu lämpötila kasvatuksen aikana alussa on 34 °C ja lopussa 21 °C. Molempien hallien lämpötila pysyi seurantajaksoilla lähes samanlaisina. Ulkolämpötila kylmeni nopeasti 26.1–27.1 noin -15 °C, jonka seurauksena hallien sisälämpötilassakin tapahtui nopea aleneminen, mutta säädöt palauttivat sisälämpötilan aika nopeasti taas optimialueelle. Tätä ei kuitenkaan tapahtunut 15.1, jolloin ulkolämpötila oli vieläkin kylmempi. Kesällä lämpötilat pysyivät aika hyvin MMM:n suosituslämpötilan puitteissa koko kasvatuksen ajan, vaikka ajanjaksoon osui myös lyhyt hellepiikki.

Suhteellinen kosteus

Hallien sisäilman suhteellinen kosteus oli talvella kasvatusaikana noin 50–95 %. Kasvatusjakson viimeisen viikon aikana suhteellinen kosteus oli ohjearvon yläpuolella. Kosteudet olivat halleissa muuten samaa luokkaa, mutta hallin 4 kosteuteen tuli jostain syystä nousupiikki ajalla 16.–19.1. Ulkolämpötila kylmeni nopeasti 26.1–27.1 noin -15 °C, jonka seurauksena hallien ilmanvaihtomäärää todennäköisesti pienennettiin, tämä näkyy hallien suhteellisen kosteuden nousupiikkinä selvästi.

Kesällä hallien sisäilman suhteellinen kosteus oli ohjearvojen puitteissa lukuun ottamatta aivan kasvatusjakson loppua, jolloin kosteus oli 85–90 % välillä.

CO₂-pitoisuus

Hallin 3 CO₂-pitoisuus ylitti talvella ohjearvon 3000 ppm 26.1 jälkeen ollen suurimman osan aikaa 3000–4000 ppm välillä. Ulkolämpötila kylmeni nopeasti 26.1–27.1 noin -15 °C, jonka seurauksena hallien ilmanvaihtomäärää todennäköisesti pienennettiin, tämä näkyy hallien CO₂-pitoisuuden nousupiikkinä selvästi. Maksimiarvo oli hetkellisesti liki 6 500 ppm, jonka jälkeen pitoisuus aleni nopeasti. Hallissa 4 ollut mittari rikkoontui heti mittauksen alussa, joten siitä ei ole mittaustuloksia.

Kesällä hallin 3 CO₂-pitoisuus ylitti ohjearvon 3000 ppm aivan kasvatusjakson lopussa ja hallin 4 CO₂-pitoisuus ylitti ohjearvon 3000 ppm aivan kasvatusjakson alussa. Muuten molempien hallien CO₂-pitoisuus pysyi selvästi ohjearvon alapuolella, josta voidaan päätellä ilmanvaihdon olleen riittävää CO₂-pitoisuuden suhteen.

7 Broilerikasvattamon ilmanvaihdon ja lämmityksen toimintalaskenta

7.1 Broilerikasvattamon ilmanvaihdon ja lämmityksen toimintalaskelmat

7.1.1 Laskelmien tarkoitus ja toteutus

Laskelmilla selvitettiin kasvatushallin ilmanvaihdon ja lämmityksen ohjaustapojen vaikutusta lämmön ja sähkön kulutukseen sekä hallin lämpötilaan, kosteuteen ja epäpuhtauspitoisuuksiin. Esitetyt tulokset koskevat kasvattamoa, jonka pinta-ala on 1600 m² ja sisätilavuus 5900 m³. Lämmöneristeenä on seinissä 140 mm mineraalivillaa ja katossa 300 mm selluvillaa. Maanvastainen lattia on eristämätön mutta kasvatusjaksolla kuivikekerros (noin 50 mm) toimii eräänlaisena eristeenä. Simulointihallin koko valittiin vastamaan web-kyselyn keskiarvoisen hallin kokoa.

Untuvikkojen määrä on 28000 ja ne kasvavat elopainoon 2,4 kg 37 vuorokaudessa. Elopainon kasvukäyrä (Kuva 42) on otettu HK Ruokatalon broileripäiväkirjasta. Kokonaispoistuma (kuolleisuus) jakson aikana on 4,5 % ja se painottuu hieman jakson alkuun.

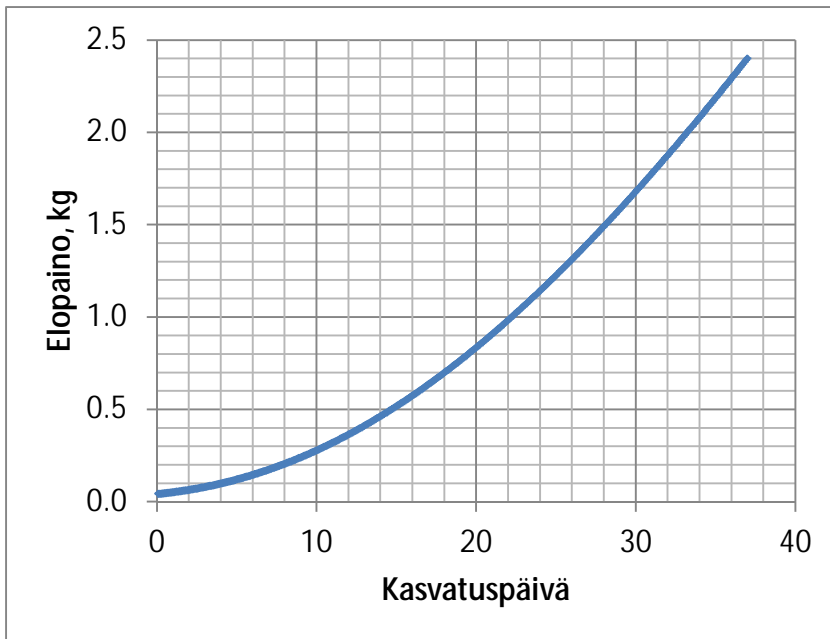
Laskenta tapahtui tunti tunnilta käyttäen säätietoina Helsinki-Vantaan tai Jyväskylän säätiedostoja, joita käytetään Suomen rakentamismääräysten mukaiseen rakennusten energiankulutuksen laskentaan Etelä- ja Keski-Suomessa, jossa suurin osa broilerituotantotiloista sijaitsee. Kasvatuksen aloituspäivämäärä on 22.12. ja kasvatusjaksot toistuvat vuoden ajan samanpituisina. Kasvatusjaksojen väliin jäi 24 tai 23 vuorokautta.

Tulokset perustuvat lämmön, kosteuden ja hiilidioksidin taseisiin, joissa otetaan huomioon myös edellisellä tuntina vallinnut lämpötila, kosteus ja pitoisuus. Laskennassa lämpö-, kosteus- ja hiilidioksiditaseet käyttäytyvät siten, että MMM:n ilmanlaatuvaatimukset täyttyvät jokaisena tuntina. Laskentaohjelmisto on kehitetty alun perin lypsykarjarakennuksille (Heimonen ym. 2012) mutta siihen on tehty broilerikasvattamoa kuvaavat muutokset Lämmön, kosteuden ja hiilidioksidin tuotot eläimistä on otettu CIGR:n uusimmista suosituksista (Pedersen&Sällvik, 2002).

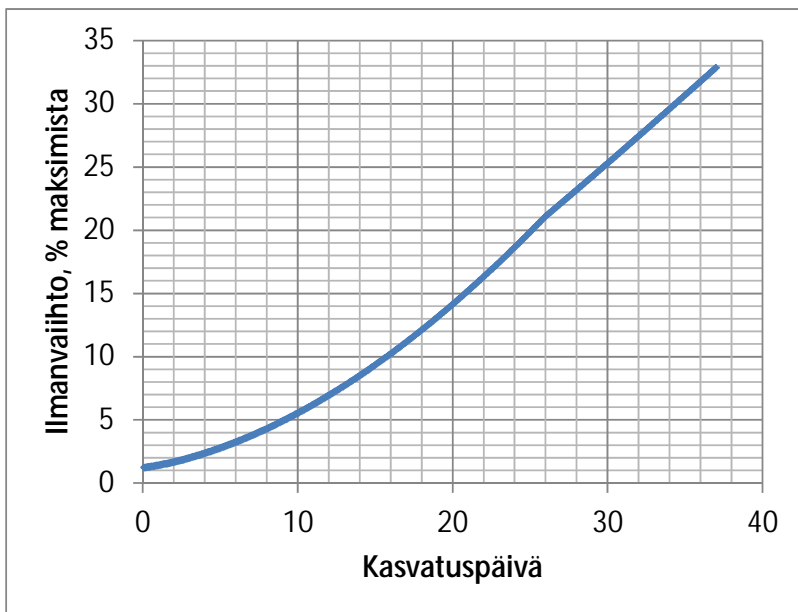
On huomattava, että lasketut lämpötilat, hiilidioksidipitoisuudet ja kosteudet koskevat ilman olosuhteita poistoilmassa. Koska ilman liikettä hallissa ei tunneta, taselaskenta ei pysty tekemään eroa olosuhteissa eläinten korkeudella ja poistoilmassa. Siksi paikalliset hiilidioksidipitoisuudet broilereiden pään tasolla voivat olla korkeammat kuin laskenta osoittaa. Samoin kosteus voi olla eläinten läheisyydessä korkeampi kuin laskennassa. Lämpötila voi olla eläinten kohdalla joko korkeampi tai matalampi kuin poistoilmassa. Ilman jakotapa vaikuttaa edellä mainittuihin seikkoihin, joten ilman jakautuminen ja sekoittuminen halliin – tulo- ja poistoreitit – on oletettu ideaalisiksi ja laitteistoriippumattomiksi. Olosuhteiden eroja poistoilmassa ja broilereiden korkeudella ei ole tiettävästi Suomessa tutkittu.

Sisälämpötilan tavoite on otettu HK Ruokatalon broileripäiväkirjasta (HK Ruokatalo). Se laskee kasvatusjakson aikana 34 asteesta 21 asteeseen. Minimi-ilmanvaihdon määrä perustuu hiilidioksidipitoisuuden maksimiarvoon 3000 ppm ja taustapitoisuuteen 400 ppm (Kuva 16). Myös elopainon kasvukäyrä on muokattu HK Ruokatalon broileripäiväkirjasta siten, että päivän 37 kohdalla elopaino on 2,4 kg.

Kuvissa 16 ja 43 on esitetty minimi-ilmanvaihto niillä kahdella tavalla, joita voidaan käyttää Fancom-ohjaustietokoneella (Fancom 2010), eli minimi-ilmanvaihto elopainon perusteella tai ilmavirran osuus prosentteina maksimiarvosta kasvatuspäivän mukaan. Maksimi-ilmanvaihto 116 000 m³/h (eli 20 vaihtoa tunnissa) vastaa kasvatusjakson lopussa ilmavirtaa 4,3 m³/h lintua kohti. Tämä ilmavirta koskee katolle ilmaa poistavia varsinaisia poistoilmapuhaltimia eikä sisällä kesäaikana käytössä olevia tunneli-ilmanvaihtopuhaltimia. Tunneli-ilmanvaihtopuhaltimien kapasiteettia ei tarkkaan tunneta mutta laskennassa on oletettu, että tunneli-ilmanvaihdon kanssa ilmanvaihto nousee arvoon 370 000 m³/h (62 vaihtoa tunnissa).



Kuva 42. Käytetty elopainon kasvukäyrä HK Ruokatalon broileripäiväkirjan mukaan.

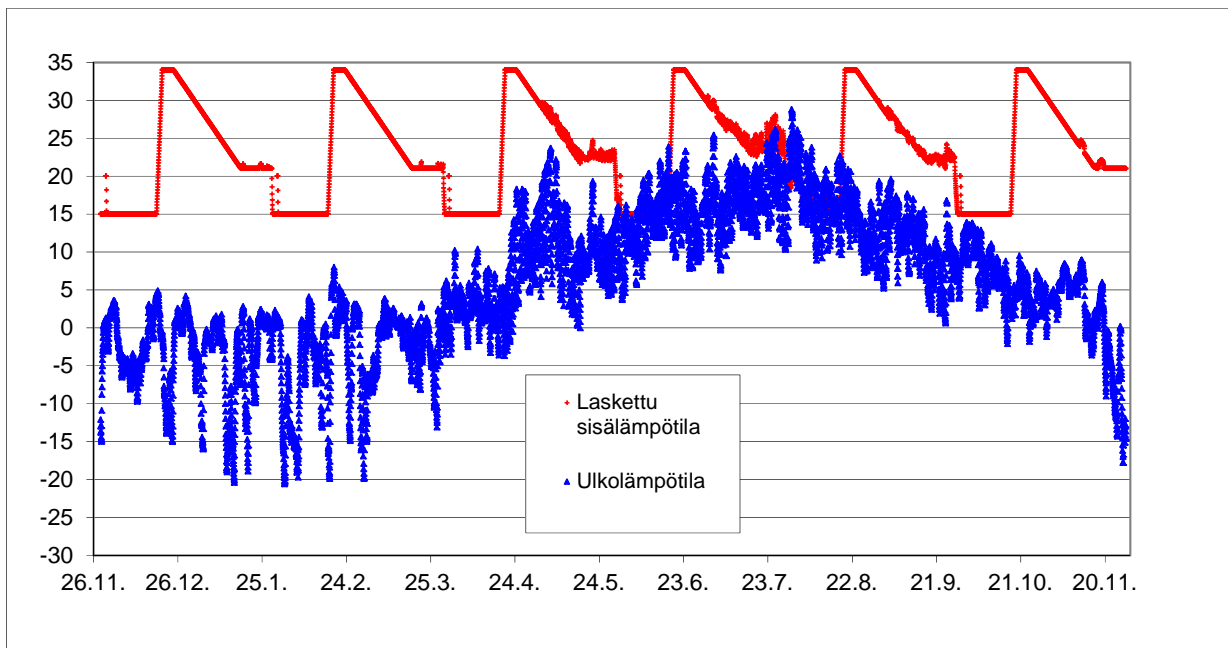


Kuva 43. Käytetty minimi-ilmanvaihto prosentteina maksimi-ilmanvaihdosta ($116\ 000\ m^3/h$) kasvatuspäivän mukaan.

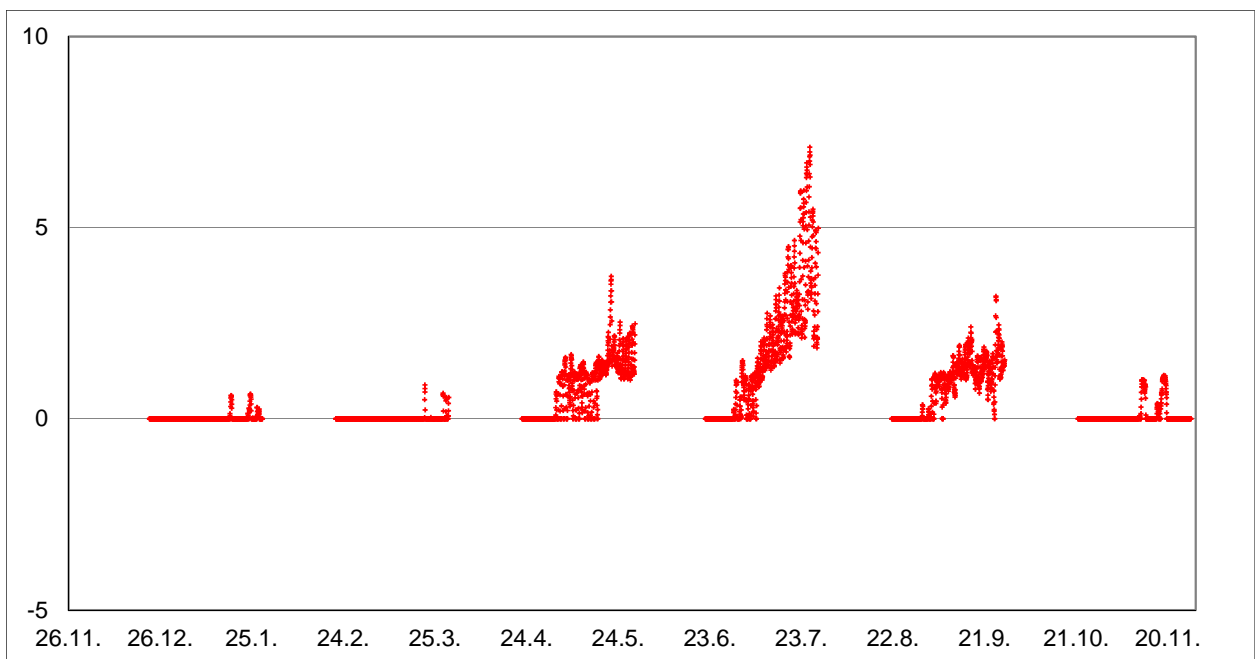
7.1.2 Toiminta perustapauksessa

Kuvassa 44 on laskettu sisälämpötila sekä ulkolämpötila jokaisena tuntina vuoden ajalta. Kasvatuserien välillä sisälämpötilan tavoitearvo on 15 astetta. Välijakson toisena päivänä halli pestään, jolloin sinne tulee lämpöä ja kosteutta. Lattialle jää pesun jälkeen 0,5 mm kerros vettä, joka kuivuu talvella nopeammin kuin kesällä, koska ulkoa tulevan korvausilman absoluuttinen kosteus on pieni. Hallin lämmitys aloitetaan neljä vuorokautta ennen untuvikkojen saapumista.

Talvella sisälämpötila pysyy hyvin tavoitearvossaan mutta nousee kesällä tavoitetta korkeammaksi (Kuva 45) ja ajoittain ulkolämpötilaa korkeammaksi. Tavoitearvo ylittyy kasvatusjaksojen lopulla kun lintujen lämmöntuotto on suuri ja ulkoilmalla ei pystytä jäähdyttämään riittävästi.

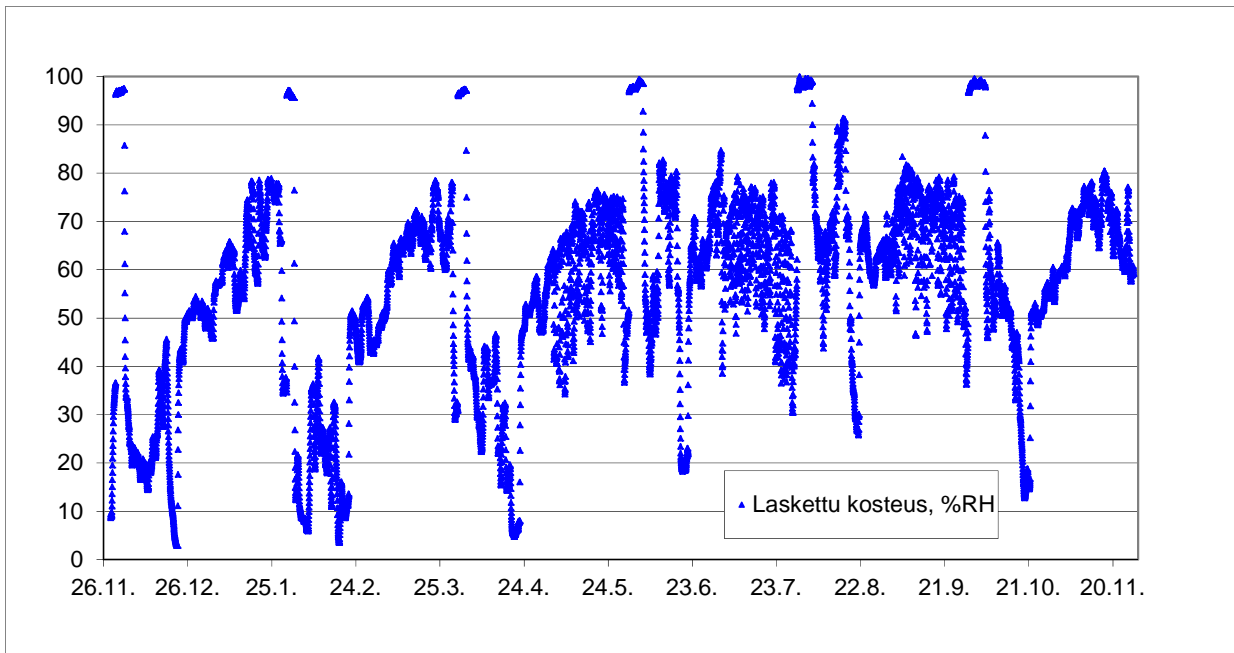


Kuva 44. Sisä- ja ulkolämpötilat kuuden kasvatuserän aikana sekä erien välillä perustapauksessa. Helsingin säätiedot.

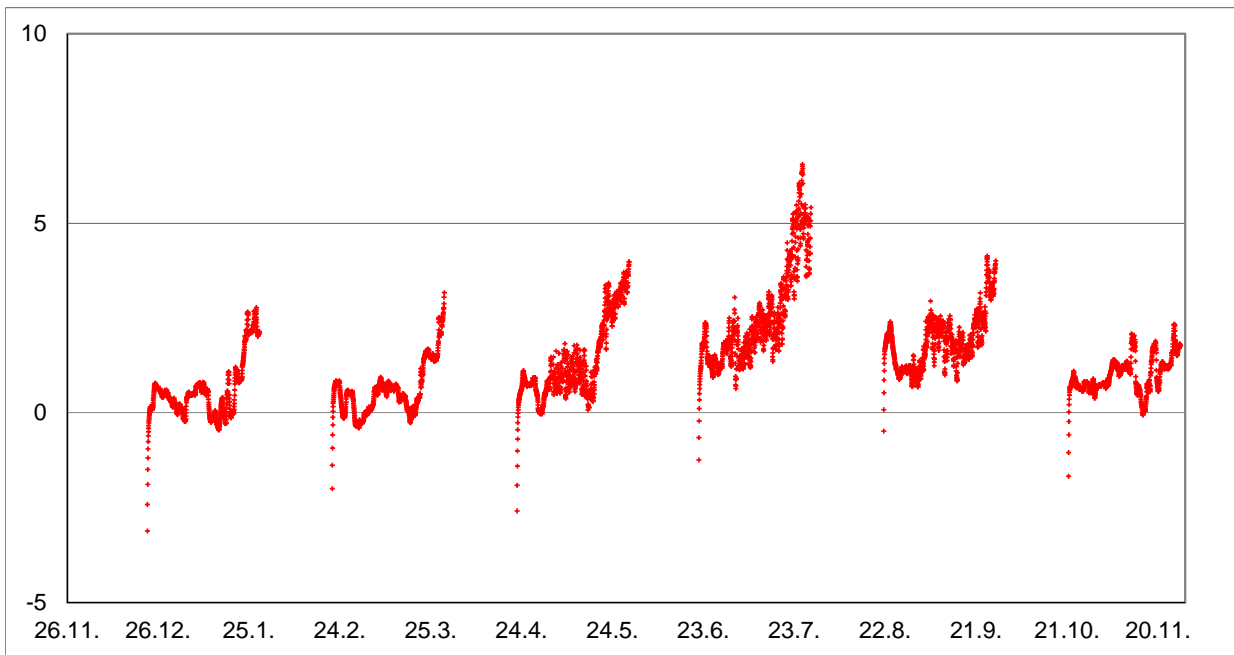


Kuva 45. Sisälämpötilan ja tavoitelämpötilan ero kuuden kasvatuserän aikana perustapauksessa.

Suhteellinen kosteus nousee kasvatusjaksojen lopulla yli 70 prosentin etenkin loppukesällä ja syksyllä (Kuva 46). Pesun aikana kosteus nousee lähes 100 prosenttiin mutta pienenee nopeasti etenkin talvella. Ennen kasvatuksen alkua halli lämmitetään 34 asteeseen ja siksi kosteus laskee hyvin pieneksi. Kuvassa 47 on yhdistetty kuvan 45 lämpötilat ja kuvan 46 kosteudet käyttäen kuvan 15 määrittämää lämpötila-kosteusindeksiä (THI). lämpötiloja ja kosteuksia käytetään jäljempänä laskentatulosten arviointiin. Kuvan mukaan kasvatusjakson alussa lämpötila voisi olla asteen verran alempi etenkin kesällä ja syksyllä korkeamman kosteuden takia. Kasvatusjakson loppupuolella lämpötilan tulisi olla 2–5 astetta alempi, etenkin kesällä ja syksyllä. Myöhemmin olevasta kuvasta 52 näkyy, että kasvattamoa lämmitetään ajoittain turhaan silloinkin kun THI-indeksi on tavoitearvossaan. Joinakin tällaisina hetkinä ilman kosteus on optimaalista korkeampi, joten ilmanvaihdon lisäys lämmitystehoa lisäämättä olisi paikallaan.

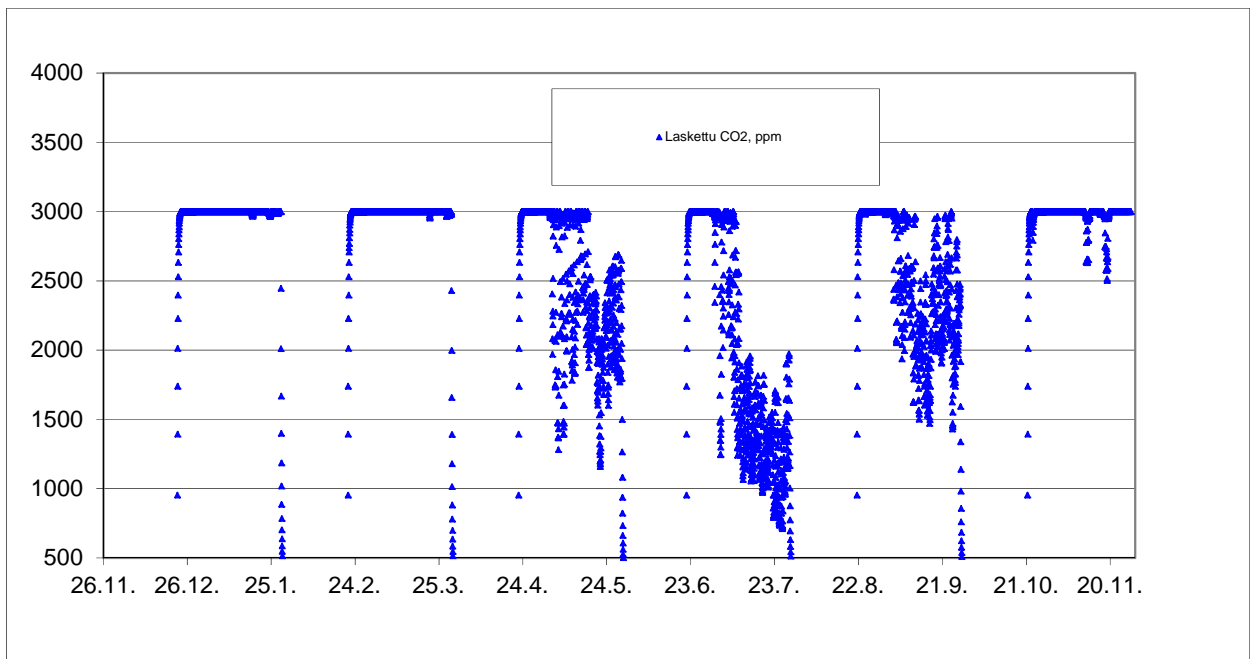


Kuva 46. Broilerikasvattamon ilman suhteellinen kosteus kuuden kasvatuserän aikana sekä niiden välillä perustapauksessa

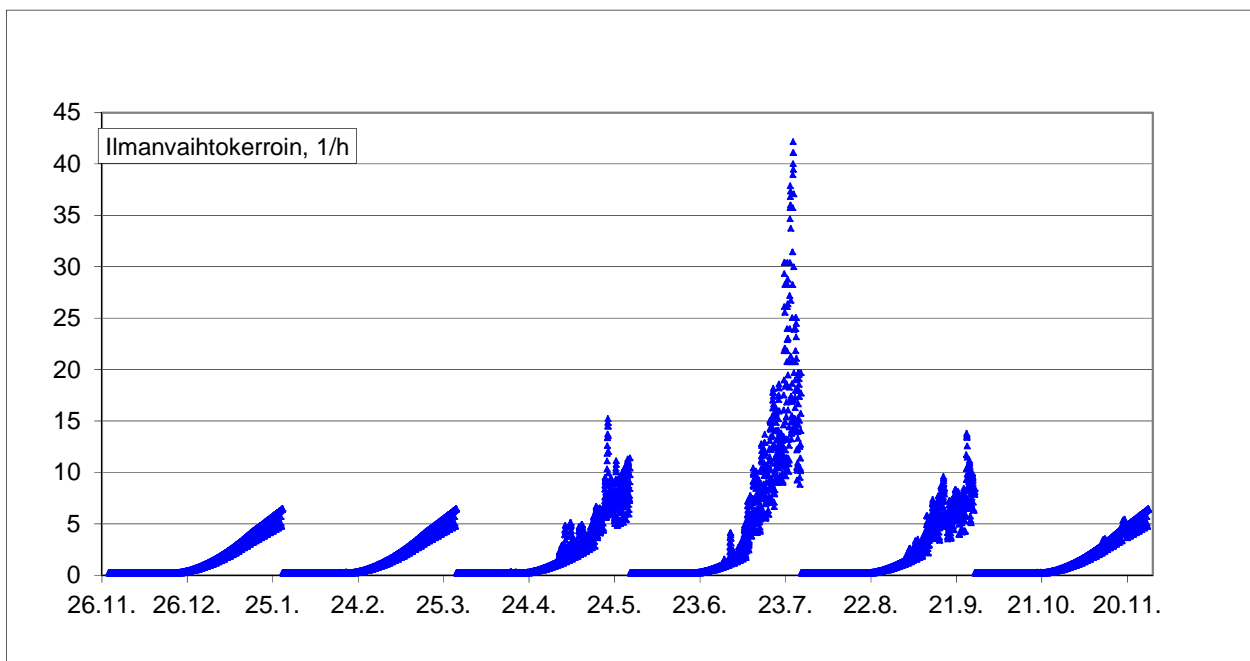


Kuva 47. Lasketun lämpötila-kosteusindeksin (THI) ero kuvan 15 määrittämään tavoitearvoon.

Hiilidioksidipitoisuus (Kuva 49) on kasvatusjaksoilla suurimman osan ajasta lähellä 3000 ppm koska ilmanvaihdon määrää ohjataan laskennassa broilereiden kasvukäyrän ja CIGR-kaavojen mukaisen lämmön ja hiilidioksidituoton mukaan. Yöllä lintujen lämmön ja hiilidioksidin tuotto pienenee noin 25 % päivän aikaisesta arvosta ja ilmanvaihtoa pienennetään vastaavasti. Hiilidioksidipitoisuus pienenee lämpimällä säällä koska silloin ilmanvaihtoa lisätään (Kuva 49) lämpötilan nousun estämiseksi.

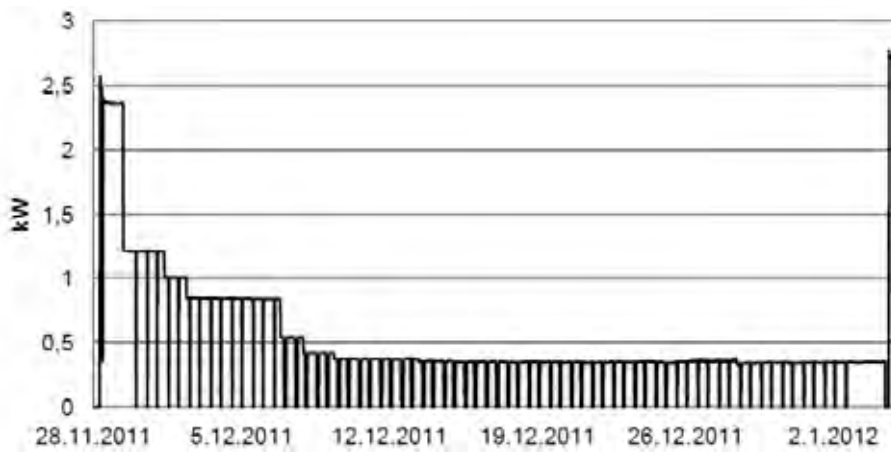


Kuva 48. Broilerikasvattamon hiilidioksidipitoisuus kasvatuserien aikana sekä niiden välillä perustapa-
uksessa. Tulos on laskennallinen ja perustuu siihen, että hiilidioksidipitoisuus ei nouse yli sallitun 3000
ppm rajan. Todellisuudessa näin voi kuitenkin tapahtua.



Kuva 49. Broilerikasvattamon ilmanvaihtokerroin. Ilmanvaihtokerroin 1 1/h vastaa ilmanvaihtoa 0,22
 m^3/h lintua kohti.

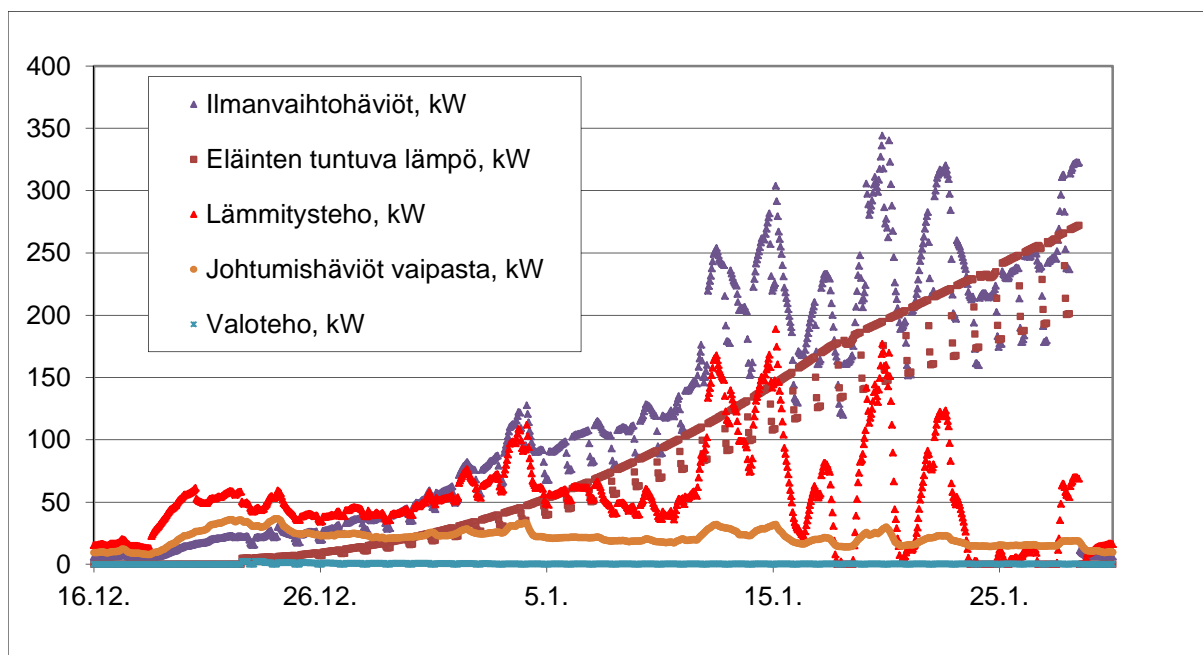
Lintujen yön pituus on kuusi tuntia yhtenä jaksena kello 21–03, jolloin valaistusta ei ole. Valoteho on ku-
van 50 mukainen.



Kuva 50. Valaistusteho pienenee portaittain kasvatusjakson aikana (Rajaniemi & Ahokas 2012).

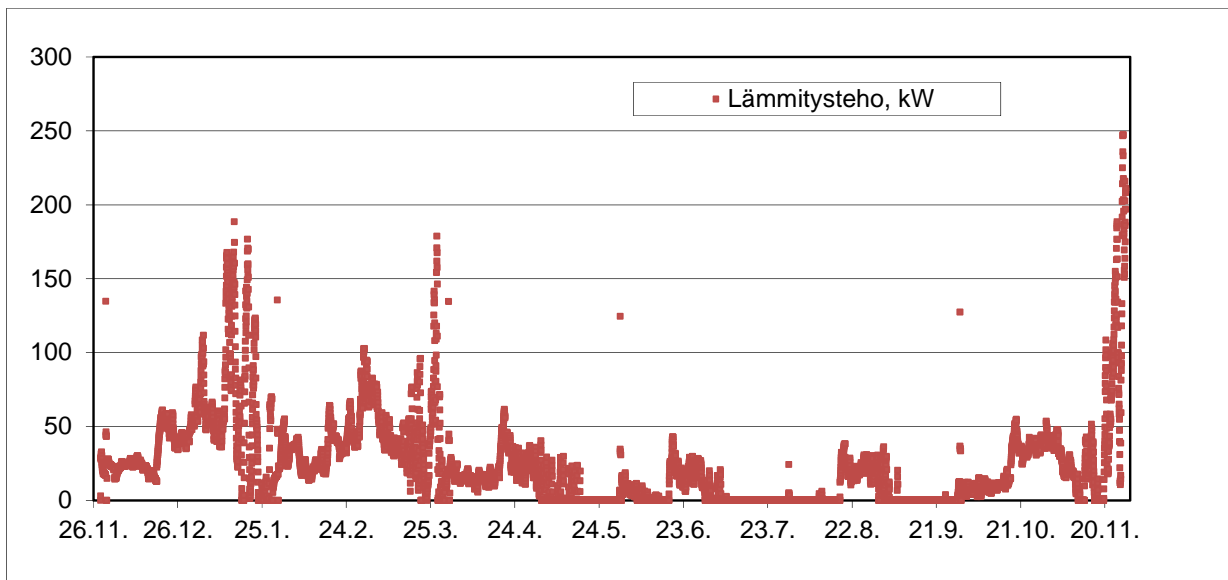
7.1.3 Lämmitystarve

Kuvasta 51 ilmenee, että ilmanvaihdon lämpöhäviö on selvästi suurin lämpöhäviön osatekijä broilerikasvatamossa. Lämmön johtuminen rakenteiden läpi on selvästi vähäisempää. Lämmityksen huipputeho osuu matalalla ulkolämpötilalla kasvatuksen loppuvaiheeseen.



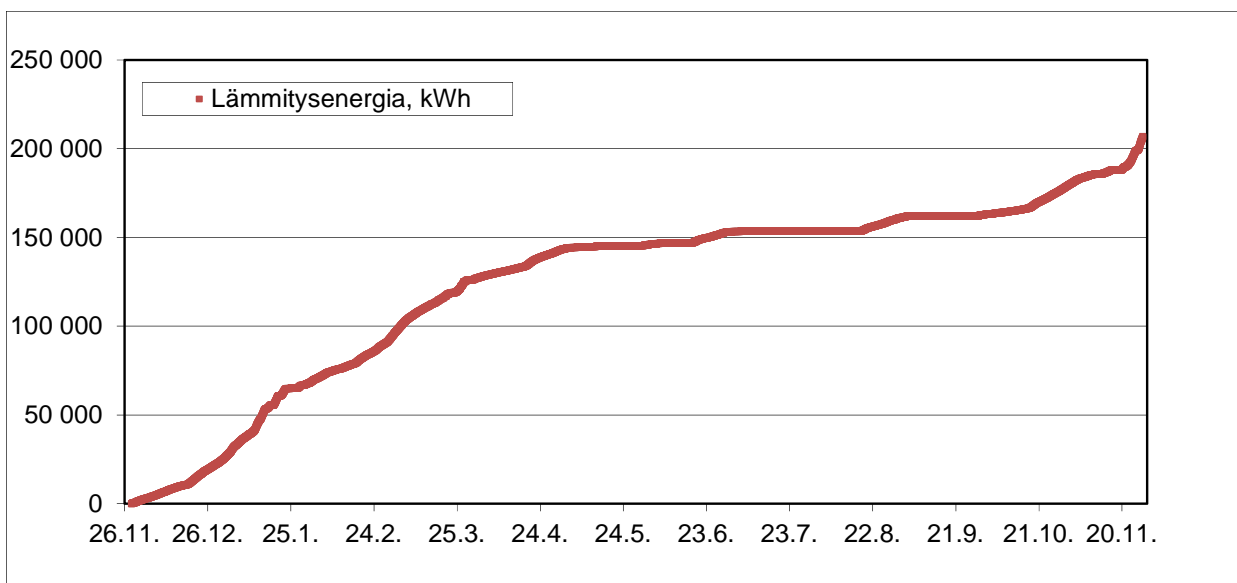
Kuva 51. Broilerihallin lämpöhäviöt, eläimistä tuleva lämpö ja tarvittava lämmitysteho kasvatuserän aikana talvella. Ulkolämpötila näkyy kuvasta 82.

Myös vuositasolla tarkastellen lämmitysteho vaihtelee jyrkästi jaksovaiheiden tarpeen mukaan ja ulkolämpötilan vaihdellessa (Kuva 52). Tässä tapauksessa vuoden maksimiteho on 250 kW mutta suuren tehon käyttöaika on hyvin lyhyt, joten osa huipputehosta kannattaa ehkä tuottaa investoinnillaan halvemmalla, mutta energialtaan kalliimmalla lämmityslaitteistolla.



Kuva 52. Broilerihallin lämmitysteho kasvatusjaksoilla sekä niiden välillä perustapauksessa.

Lämmitystehoa vastaava kumuloituva lämmitysenergia on kuvassa 53.

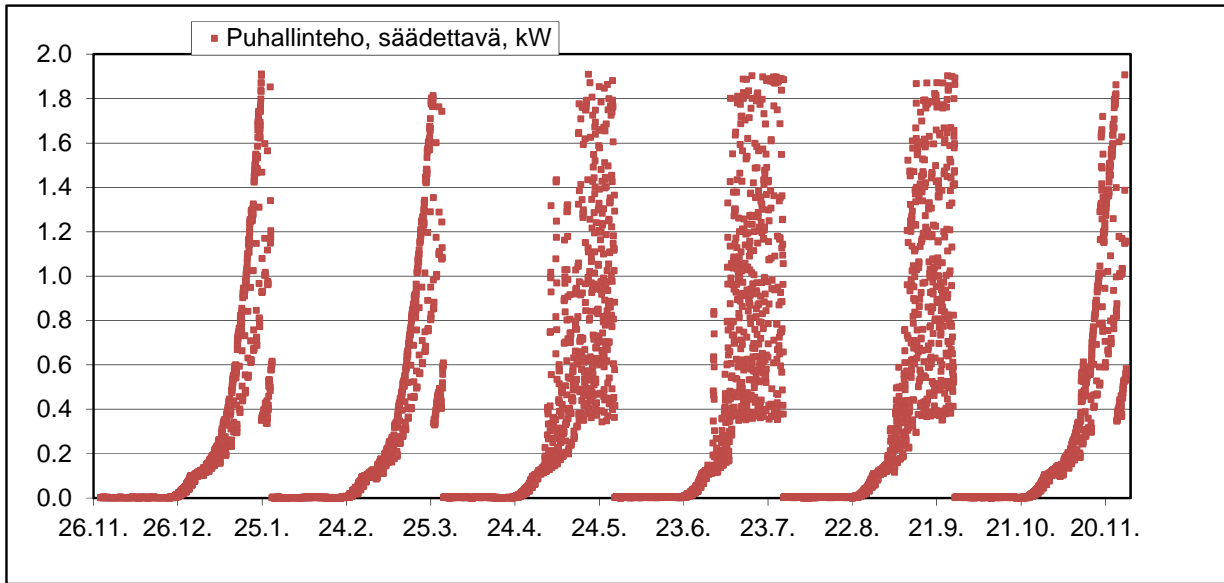


Kuva 53. Broilerihallin lämmitysenergia vuoden aikana perustapauksessa. Energiassa on mukana kuusi kasvatuserää sekä viiden välinen aika.

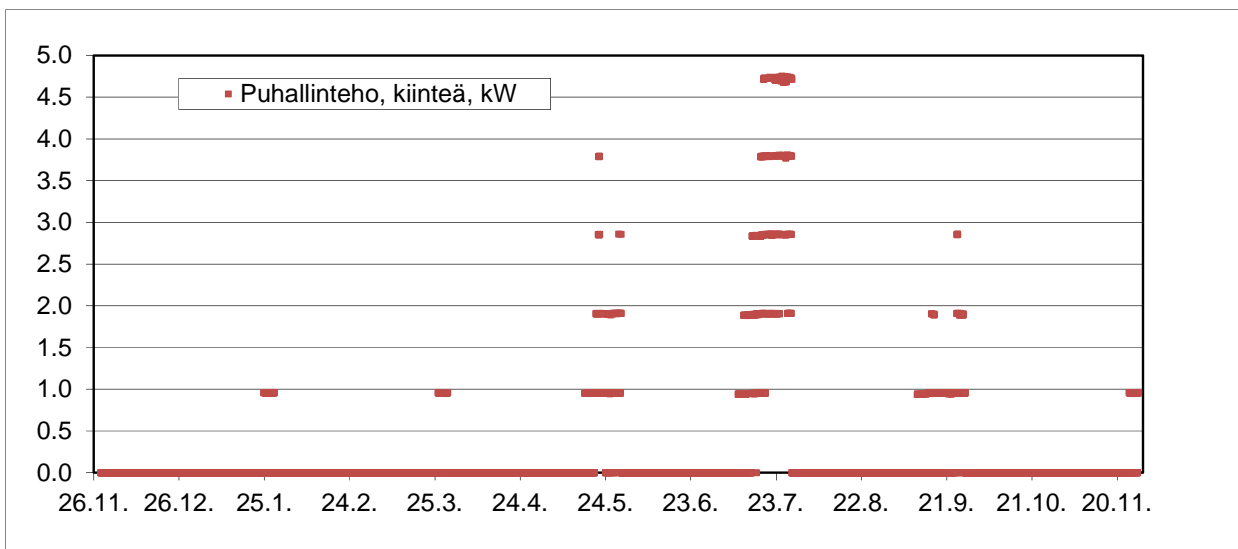
7.1.4 Puhaltimien teho ja sähköenergia

Hallin perusilmanvaihto hoidetaan katossa olevilla seitsemällä poistoilmapuhaltimella. Näistä kaksi on koko ajan samalla tavalla käynnissä ja niiden ilmavirtaa voidaan säätää pyörimisnopeutta muuttamalla teho (Kuva54). Muut viisi vakionopeudella käyvät puhaltimet käynnistyvät yksitellen kun säädettävien puhaltimien ilmavirta ei riitä (käyttö ja teho kuvassa 55). Lisäksi hallin päädyssä on neljä ns. tunnelipuhallinta, joita käytetään jäähdytykseen (käyttö ja teho kuvassa 56). Kaikkien puhaltimien tarvitsema energia on kuvassa 57. Säädettävien puhaltimien osuus vuoden puhallinenergiasta on 59 %, vakionopeuspuhaltimien osuus 37 % ja tunnelipuhaltimien osuus vain 4 %. Esimerkkivuoden aikana tunneli-ilmanvaihto on käytössä vain heinäkuussa.

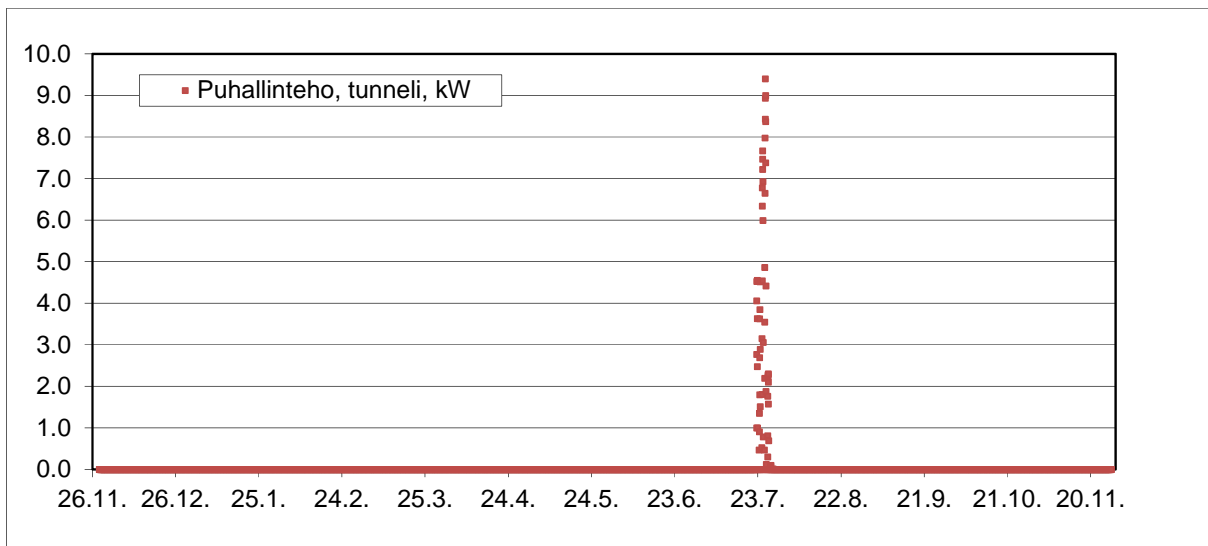
Ulkoilma tulee sisään halliin seinällä olevista säädettävistä venttiileistä. Venttiileiden avausta säädetään laskennassa siten, että hallin alipaine on 20 pascalia. Suurella tuulen nopeudella ilmanvaihto voi lisääntyä hallitsemattomasti läpituulemisen takia, jos alipaine ei ole riittävän suuri.



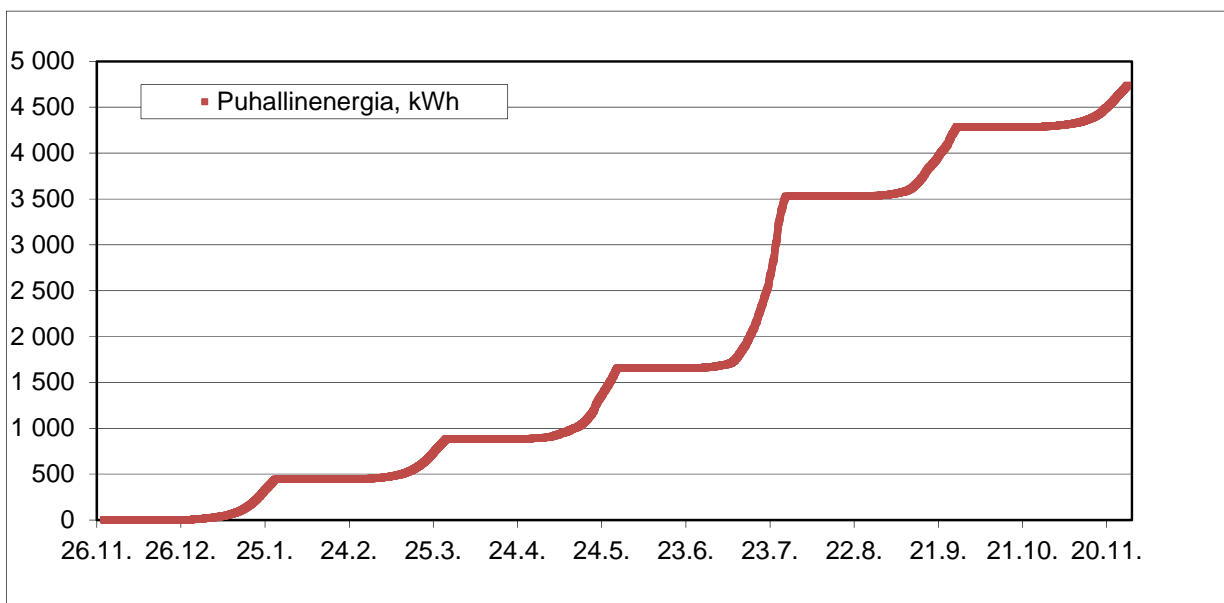
Kuva 54. Esimerkki kahden säädettävän poistoilmapuhaltimen yhteistehosta vuoden aikana.



Kuva 55. Esimerkki kiinteänopeuksisten viiden poistoilmapuhaltimien yhteistehosta vuoden aikana.



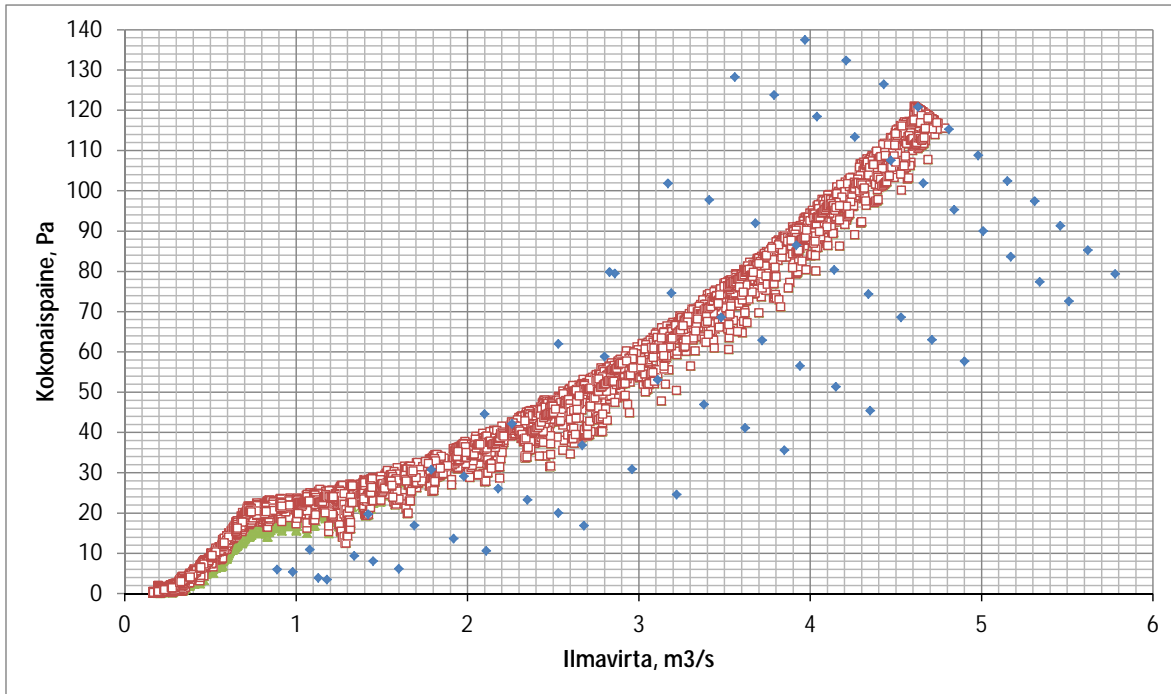
Kuva 56. Esimerkki neljän tunneli-ilmanvaihtopuhaltimien yhteistehosta vuoden aikana.



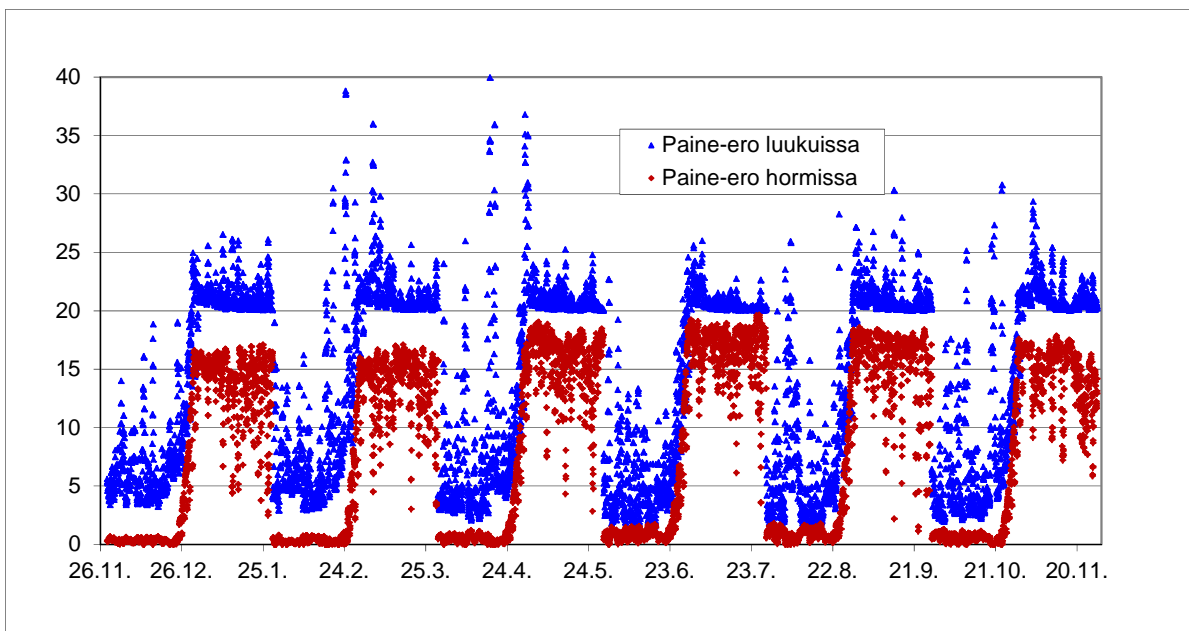
Kuva 57. Broilerihallin puhaltimien kumulatiivinen sähköenergia vuoden aikana.

Laskennassa kattopuhaltimien ominaisuudet vastaavat halkaisijaltaan 0,8 m Fancom IF80 puhallinta. Poistoilmakanavan ja sen päässä ulkona olevan sadehatun painehäviötä kuvaavalle kertavastuskertoimelle on käytetty arvoa 2. Säädettyjen puhaltimien toimintapisteet on esitetty kuvassa 58. Kuvasta näkyy, että pienillä ilmavirroilla toimintapiste on puhaltimen valmistajan ilmoittaman puhallinkartan ulkopuolella, koska rakennuksessa on haluttu pitää alipaine 20 Pa myös kasvatusjakson alun pienillä ilmavirroilla. Hyvän ilmanjaon kannalta (riittävä heitto pituus) alipaineen pitäisi olla pienillä ilmavirroilla suurimmillaan (Heimonen ym. 2009). Kuvassa 59 on laskennassa toteutunut alipaine. Kuvasta näkyy, että kasvatusjakson alun pienillä ilmavirroilla ei saavuteta tavoiteltua alipainetta. Syynä ovat rakennuksen ilmapuodot, joiden takia tuloilmaluukkuja ei voida avata ollenkaan kasvatusjakson alussa paine-eron pienentymättä edelleen. Rakennusvaipan ilmanpitävyyttä kuvaavalle ilmanvuotoluvulle on laskennassa käytetty arvoa $2 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}^2$, jota käytetään rakennusten energiankulutuksen tasealaskennassa (Ympäristöministeriö, 2011). Eräiden mittaustulosten mukaan alipaine on hyvin pieni kasvatusjakson alussa, mikä viittaa siihen, että broilerikasvattamoissa on ilmapuotoja. Toinen syy pieneen mitattuun alipaineeseen voi olla se, etteivät puhaltimet kykene tuottamaan suurta alipainetta pienillä ilmavirroilla.

Kuvassa 59 on esitetty alipaine myös poistoilmahormissa. Se on savupiippuvaikutuksen takia pienempi kuin alipaine tuloilmaluukkujen korkeudella (3 m lattiasta) silloin kun sisälämpötila on ulkolämpötilaa korkeampi. Pieni alipaine poistoilmahormissa tarkoittaa sitä, että poistoilmanvaihto toimii lähes painovoimaisesti ja siksi lasketut puhallintehot kasvatusjakson alussa (Kuva 54) ovat hyvin pieniä. Käytännössä saattaa olla niin, etteivät puhaltimet pysty täysin hyödyntämään painovoiman avustusta siinä määrin kuin kuvassa 54 on laskettu mutta se on kuitenkin mahdollista, mikäli puhallin on tätä silmälläpitäen suunniteltu.



Kuva 58. Säädetävien puhaltimien (Fancam IF80) toimintakartta (siniset pisteet) ja puhaltimen toimintapisteet laskennassa (punaiset pisteet). Puhallinteho on laskettu kartan ulkopuolisille toimintapisteille vihreään käyrän mukaan. Kuvasta näkyy myös, että puhaltimen suurimmalla pyörimisnopeudella saavutetaan näissä käyttöoloissa ilmavirta $4,6 \text{ m}^3/\text{s}$ ($16600 \text{ m}^3/\text{h}$.)



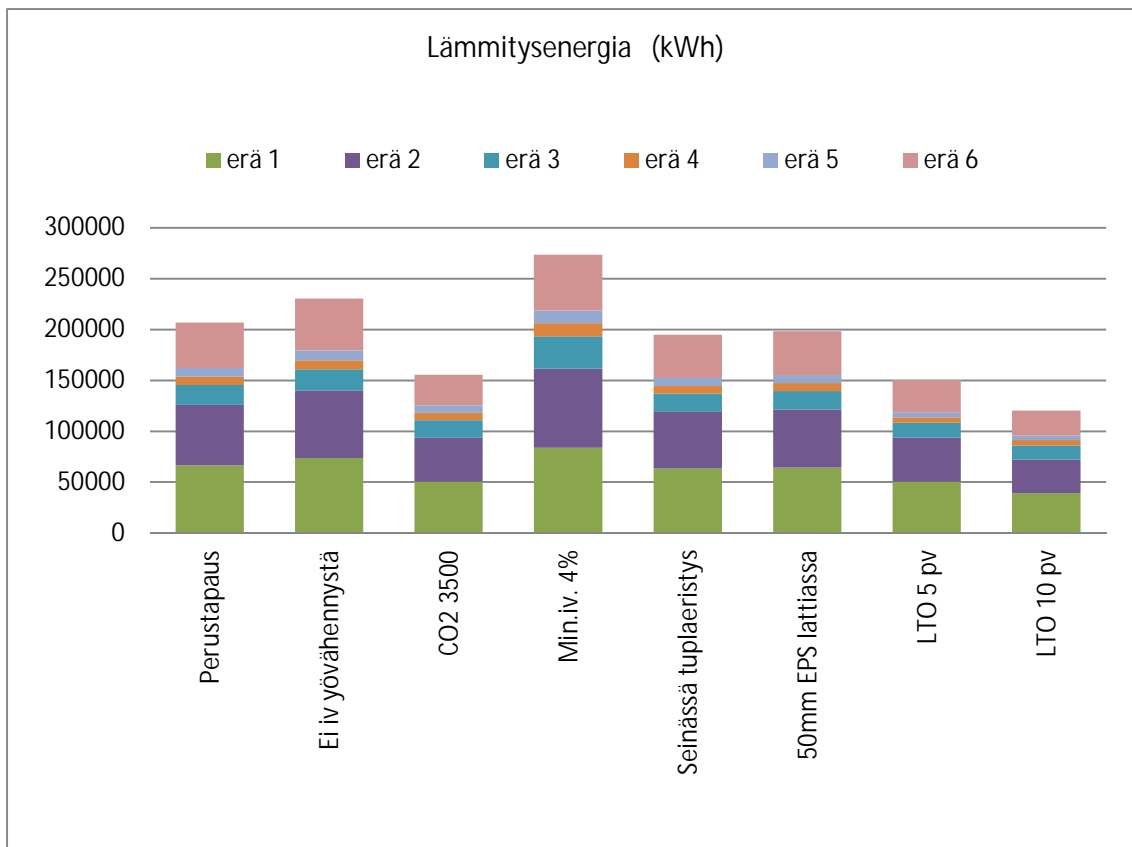
Kuva 59. Alipaine (Pa) tuloilmaluukuissa ja poistoilmahormissa perustilanteessa. Tavoitealipaine luukuissa on 20 Pa.

7.1.5 Ilmanvaihdon ja rakenteiden vaikutus energiakulutukseen

Ilmanvaihdon tekniikalla ja käytöllä on suuri vaikutus broilerikasvattamon energiankulutukseen, kuten kuvasta 51 ilmenee. Ilmanvaihdon ja rakenteiden erilaisia ominaisuuksia kuvaamaan kohdehalliin simuloitiin perustapaukseen lisättyinä seitsemän uutta toiminnallista muuttujaa. Muuttujat on listattu taulukossa 1.

Taulukko 1. Ilmanvaihto ja rakenteet kuvissa esitetyissä laskentatapauksessa.

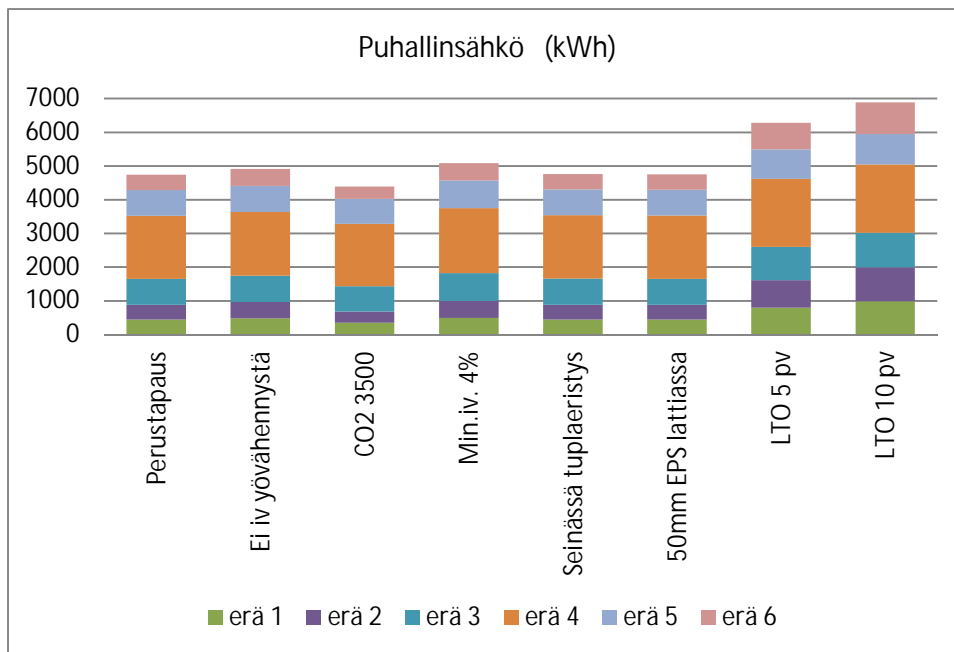
Laskentatapaus	Muutos perustapaukseen verrattuna
Perustapaus	Kasvattamoa 1600 m ² , sisätilavuus 5900 m ³ . Lämmöneristeenä seinissä 140 mm mineraalivillaa ja katossa 300 mm selluvillaa. Maanvastainen lattia on eristämätön, kasvatusjaksolla kuivikekerros (noin 50 mm). Untuvikkojen määrä 28000, kasvavat elopainoon 2,4 kg 37 vuorokaudessa. Kokonaispoistuma jakson aikana on 4,5 %. Ilmanvaihtoa vähennetään yöllä lintujen vähentyneitä aktiiviteettia vastaten 25 %)
Ei iv yövähennystä	Ilmanvaihtoa ei vähennetä yöllä
CO2 3500	Hiilidioksidin tavoitetaso 3000 ppm annetaan nousta tasoon 3500 ppm
Min.iv. 4%	Ilmanvaihto on aina vähintään 4 % kapasiteetista, myös erien välillä. Perustapauksessa minimi on 1,2 % vastaten untuvikkojen ilmanvaihdon tarvetta.
Seinässä tuplaeristys	Seinien lämmöneristystä parannetaan: 140 mm sijaan 280 mm mineraalivillaa
50mm EPS lattiassa	50 mm EPS-eriste koko lattian alueella, perustapauksessa eriste on vain reuna-alueella
LTO 5 pv	Ilmanvaihdossa lämmön talteenotto-laite, jonka lämpötilahyötysuhde on 70 %. Sen ilmavirta riittää 5 ensimmäisen kasvatuspäivän minimi-ilmavirtaan, sen jälkeen tarvitaan lisäksi poistoilmapuhaltimia
LTO 10 pv	Sama kuin edellä, mutta kapasiteetti riittää 10 ensimmäiseen kasvatuspäivään



Kuva 60. Ilmanvaihtotavan ja rakenteiden vaikutus koko vuoden sekä kasvatuserien lämmitysenergian kulutukseen. Helsingin säätiedot.

Taulukko 2. Vuotuisen lämmitysenergian muutos perustapaukseen verrattuna taulukon 1 tapauksissa.

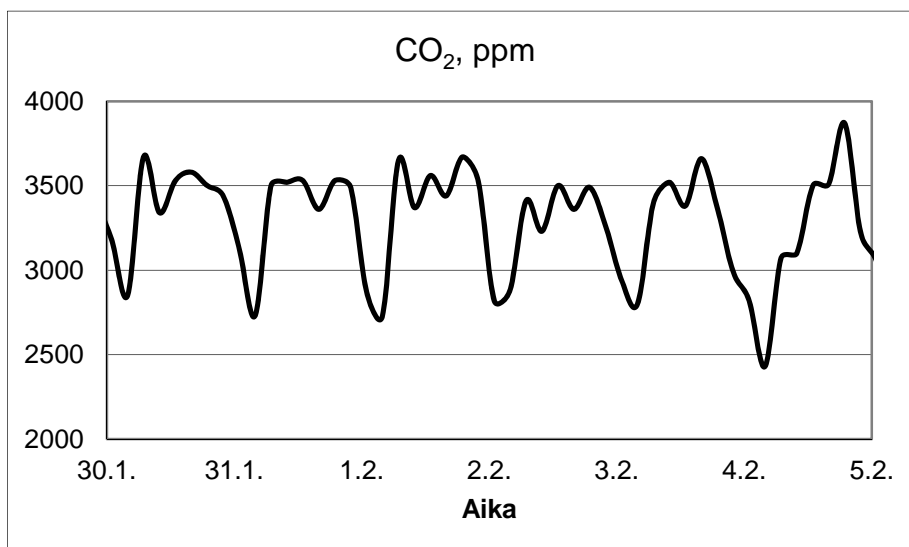
Laskentatapaus	Lämmitysenergian muutos perustapaukseen verrattuna, kWh	Lämmitysenergian muutos perustapaukseen verrattuna, %
Perustapaus	0	0
Ei iv yövähenystä	23000	11
CO2 3500	-52000	-25
Min.iv. 4%	66000	32
Seinässä tuplaeristys	-12000	-6
50mm EPS lattiassa	-9000	-4
LTO 5 pv	-57000	-27
LTO 10 pv	-87000	-42



Kuva 61. Ilmanvaihtotavan ja rakenteiden vaikutus koko vuoden sekä kasvatuserien puhallinsähkön kulu-
tukseen. Helsingin säätiedot.

7.1.6 Ilmanvaihdon, rakenteiden ja maantieteellisen sijainnin vaikutus

Kuvasta 62 sekä taulukosta 2 voidaan tehdä päätelmiä, jonka mukaan ilmanvaihdon vähennys yöllä alen-
tuvaa lintujen aktiviteettia vastaavaksi vähentää vuotuista lämmitysenergian kulutusta noin 23000 kWh.
Ilmanvaihdon vähentämisellä on myönteinen vaikutus myös ilman kosteuteen (Kuva 46) kasvatusjakson
alkupuolen talviöinä, jolloin kosteus voi olla liian pieni myös lintujen lämmön tunteen kannalta. Aktivi-
teetin vähentymisestä ei löytynyt kirjallisuudesta tietoja. Laskemissa käytetty 25 % aktiviteetin vähene-
minen perustuu tässä projektissa mitattuun hiilidioksidipitoisuuden laskuun talviöinä, kun ilmanvaihtoa ei
pienennetty (Kuva 62).



Kuva 62. Viikon aikana mitatun hiilidioksidipitoisuuden perusteella hiilidioksidin tuotto pieneni yöllä
koekohteessa noin 25 % vaikka ilmanvaihtoa ei pienennetty yöllä.

Hiilidioksidin tavoitetason nosto eläinsuojelulain vaatimusta 3000 ppm korkeammaksi arvoon 3500 ppm
pienentää lämmitysenergian kulutusta perustapaukseen verrattuna (Kuva 60 sekä taulukko 2) peräti 25 %.

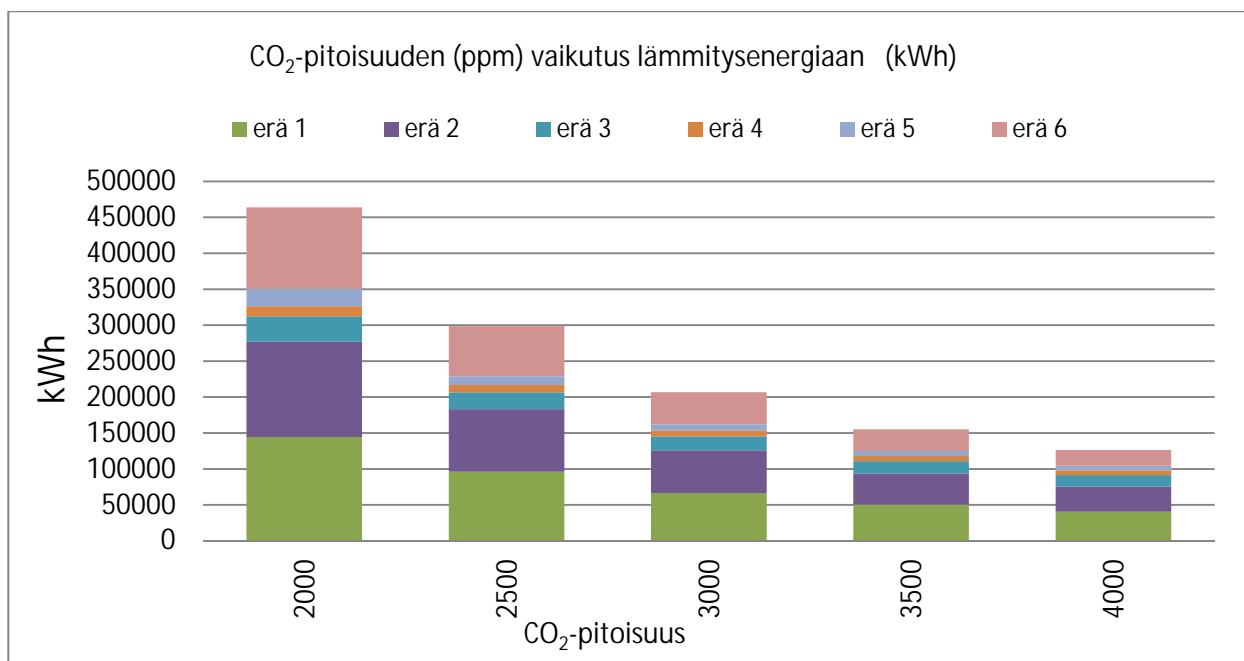
vaikka ilmanvaihtomäärä pienenee vain 16 %. Tämä johtuu siitä, että ilmanvaihdon lämpöhäviö on broilerikasvattamossa hallitseva ja sen pienentyessä lintujen lämmöntuotto riittää kattamaan suuremman osan lämmitysenergian tarpeesta. Tässä kohden on kuitenkin muistettava, että 3000 ppm:n rajaa ei saa ylittää.

Edellä on todettu, että ilmanvaihdon määrällä on suuri vaikutus hallin lämmitysenergiankulutukseen. Siksi tässä kappaleessa verrataan vielä minimi-ilmanvaihdon vaikutusta rakenteiden lämmöneristystason vaikutukseen sekä hallin sijaintipaikan ilmastoon vaikutukseen. Laskennassa on käytetty Helsingin ja Jyväskylän sää tietoja. Hallin lämmöneristysten kolme vaihtoehtoa ovat taulukossa 3.

Taulukko 3. Broilerihallin lämmöneristysten vaihtoehdot laskennassa

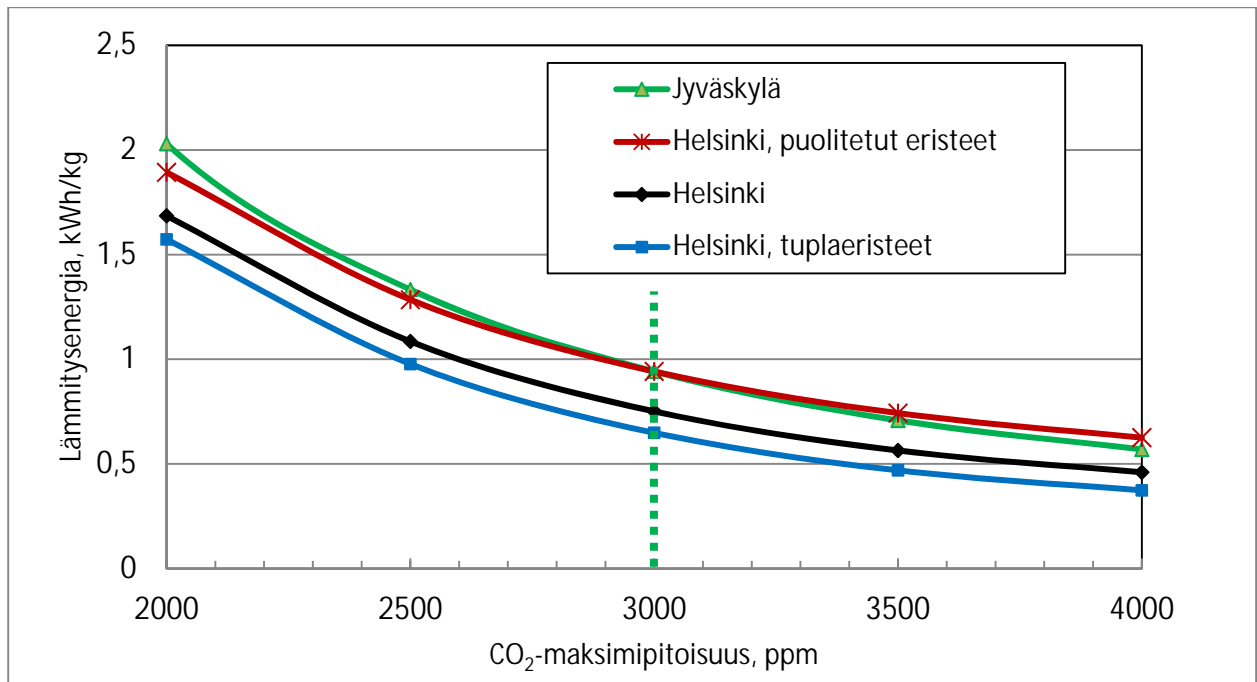
Laskentatapa	Seinäeristeen (mineraalivilla) paksuus, mm	Yläpohjaeristeen (puhallusvilla) paksuus, mm
Perustapaus	140	300
Tuplaeristys	280	600
Puolitettu eristys	70	150

Minimi-ilmanvaihdon määrää kuvataan hiilidioksidin maksimipitoisuudella. Esimerkiksi 3000 ppm maksimipitoisuus tarkoittaa sitä, että minimi-ilmanvaihto on kuvan 16 CIGR-käyrän mukainen. Vastaavasti 2700 ppm maksimipitoisuudella minimi-ilmanvaihto on 13 % suurempi (ilmavirtasuhde $(3000-400)/(2700-400)$) ja 3500 ppm pitoisuudella 16 % pienempi. Kuvan 63 mukaan hiilidioksidin maksimipitoisuudella eli ilmanvaihdon minimiasetuksella on suuri vaikutus lämmitysenergian kulutukseen.



Kuva 63. Kasvatusjaksojen ja koko vuoden lämmitysenergian kulutus minimi-ilmanvaihtoasetuksen eli maksi-CO₂ pitoisuuden (ppm) muuttuessa. Helsingin sää ja perustasoinen lämmöneristys.

Kuvan 64 tulokset koskevat koko vuoden lämmitysenergian kulutusta teuraspainokiloa kohti. Teuraspainoksi on oletettu 71,5 % elopainosta 2,4 kg. Kuvan mukaan esimerkiksi maksimipitoisuuden alentaminen 3000 ppm:stä 2700 ppm:ään lisää lämmitysenergian kulutusta yhtä paljon kuin seinien ja yläpohjan lämmöneristyksen puolitus. Yhtä suuren eron aiheuttaa myös muutos Helsingin ilmastosta Jyväskylän ilmastoon. Jyväskylän ilmastossa saadaan sama energiankulutus kuin Helsingin ilmastossa, jos maksimipitoisuus.

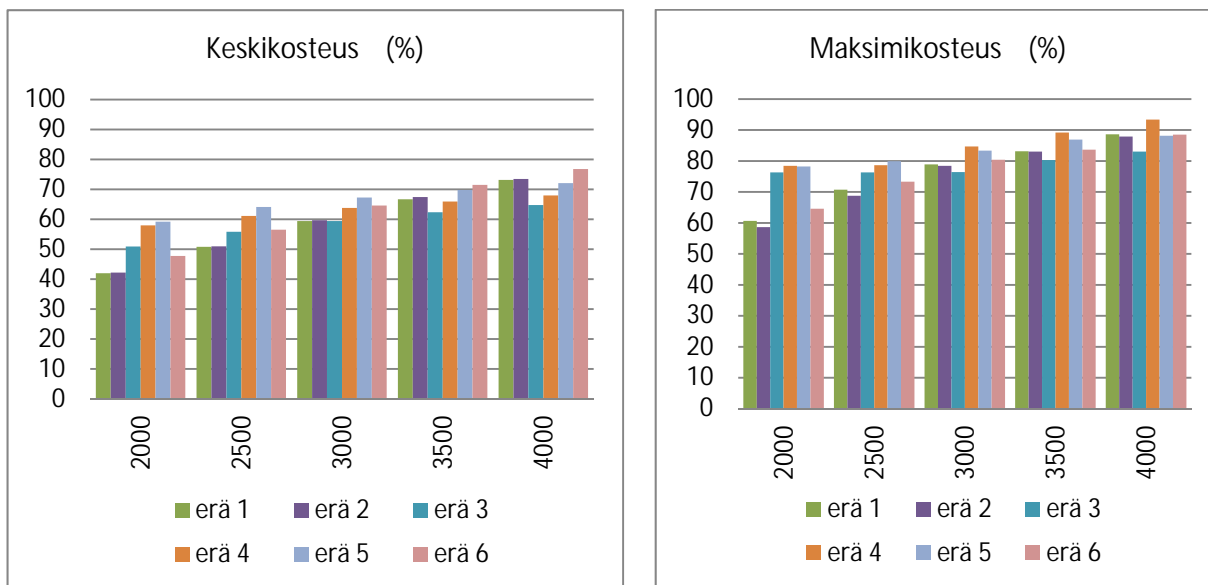


Kuva 64. Broilerihallin vuotuinen lämmitysenergian kulutus teuraspainokiloa kohden minimi-ilmanvaihdon asetusarvon eli maksimi-CO₂-pitoisuuden muuttuessa. Neljä eri käyrää kuvaavat eri lämmöneristystasoja Helsingin tai Jyväskylän ilmastossa. Kulutus koskee kuutta kasvatusjaksoa sekä niiden välistä aikaa. Kun hiilidioksidin suurin sallittu maksimipitoisuus on 3000 ppm, Helsingin sääolosuhteissa energian kulutus on 0,75 kWh/kg ja Jyväskylän sääolosuhteissa noin 0,9 kWh/kg. Rakennuksen eristystason kasvattaminen 100 %:lla (tuplaeristeet) laskevat energian kulutusta vain hieman.

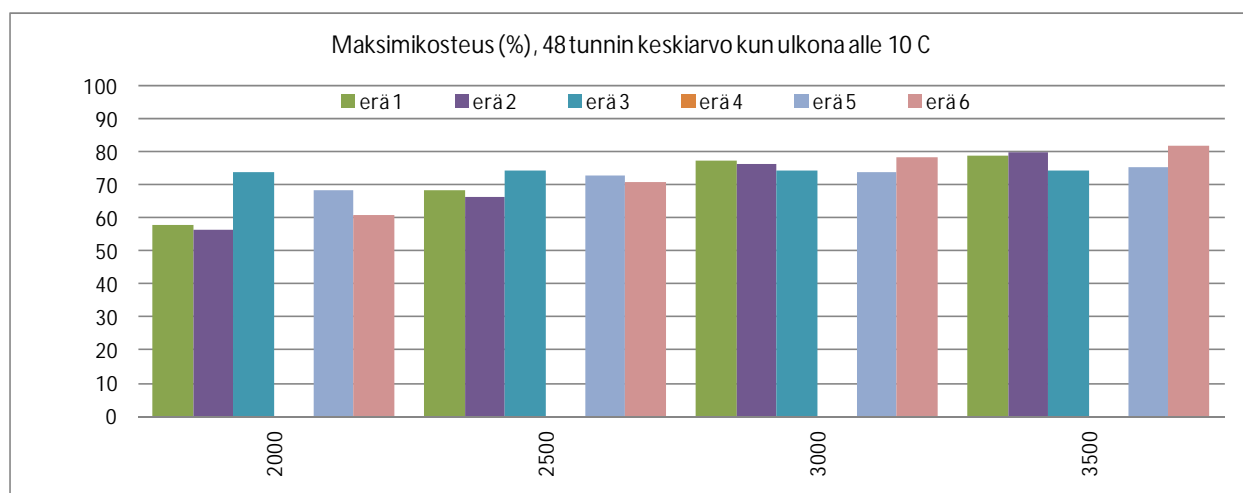
Minimi-ilmanvirran oikea asettaminen ja hiilidioksidipitoisuuden seuranta mittaamalla on äärimmäisen tärkeää lämmitysenergian kulutuksen kannalta. Jos 3000 ppm maksimipitoisuus johtaa Helsingin sääoloissa lämmitysenergian kulutukseen 0,75 kWh/kg, pitoisuuden tavoitearvon pudotus 2500 ppm:ään nostaa lämmitysenergian kulutuksen arvoon 1,1 kWh/kg (+ 44 %). Vastaava vuotuinen energiankulutuksen lisäys 275 tonnin vuosituotannolla on 92 MWh, joka maksaa 5400 € vuoden 2013 alun kaukolämmön keskihinnalla 60 €/MWh.

Suomalaisissa broilerihalleissa mitatut lämmitysenergian kulutukset teuraspainoa kohti ovat olleet luokkaa 1,3 kWh/kg (Rajaniemi & Ahokas 2012) eli suurempia kuin kuvaan 64 lasketut kulutukset pitoisuudella 3000 ppm (0,75 kWh/kg Helsingin ilmastossa ja 0,95 kWh/kg Jyväskylän ilmastossa). Koska ilmanvaihdolla on suurin osuus energiankulutuksessa, on todennäköistä, että pitoisuudet käytännön broilerihallien poistoilmassa ovat olleet pienempiä kuin kuvassa 64. Tähän voi taas olla kaksi syytä. Ensinnäkin pitoisuuksia ei seurata halleissa kovin tarkkaan ja siksi minimi-ilmanvaihdon asetukset ohjaustietokoneella voivat poiketa paljonkin optimaalisesta. Toiseksi tämän tutkimuksen laskentamalli ei tee eroa pitoisuuksissa poistoilmassa ja broilereiden korkeudella. Ilmanjaon toimivuudesta riippuen pitoisuus voi olla poistoilmassa esimerkiksi 2500 ppm vaikka se on broilereiden läheisyydessä 3000 ppm. Pitoisuus poistoilmassa 2500 ppm on kuitenkin energiankulutuksen kannalta määräävä. Ilmanvaihtoteknisessä mielessä tällöin on kyse ilmanvaihdon oikosulusta, missä osa tuloilmavirtauksesta poistuu hallista sekoittumatta täysin tilan ilmapainaan.

Minimi-ilmanvaihdon pienentäminen lisää ilman keskimääräistä kosteutta etenkin talvijaksoilla (Kuva 65). Myös maksimikosteudet jaksojen aikana kasvavat. Kuvasta 66 näkyy, että eläinsuojelulainsäädännön maksimikosteus 48 tunnin aikana talvella (70 %) ylittyy 3000 ppm:ää vastaavalla minimi-ilmanvaihdolla mutta ei juurikaan 2500 ppm:n ilmanvaihdolla, mikä puoltaisi 2500 ppm:n mukaista minimi-ilmanvaihtoa. On kuitenkin huomattava, että tässä tehty kosteuden laskenta perustuu tanskalaisissa broilerihalleissa mitattuihin (Pedersen & Thomsen 2000) kosteustuottoihin. Kosteuden tuotto voi vaihdella suu-
restikin eri halleissa riippuen esimerkiksi kuivikkeesta. Siksi sekä ilman kosteutta sekä ilman hiilidioksidipitoisuutta on syytä seurata mittaamalla ja asettaa ilmanvaihto siten, että sekä hiilidioksidipitoisuus ja kosteus ovat oikealla alueella.



Kuva 65. Keskimääräinen ja maksimikosteus kuuden kasvatuserän aikana minimi-ilmanvaihtoasetuksen eli maksimi-CO₂-pitoisuuden muuttuessa.



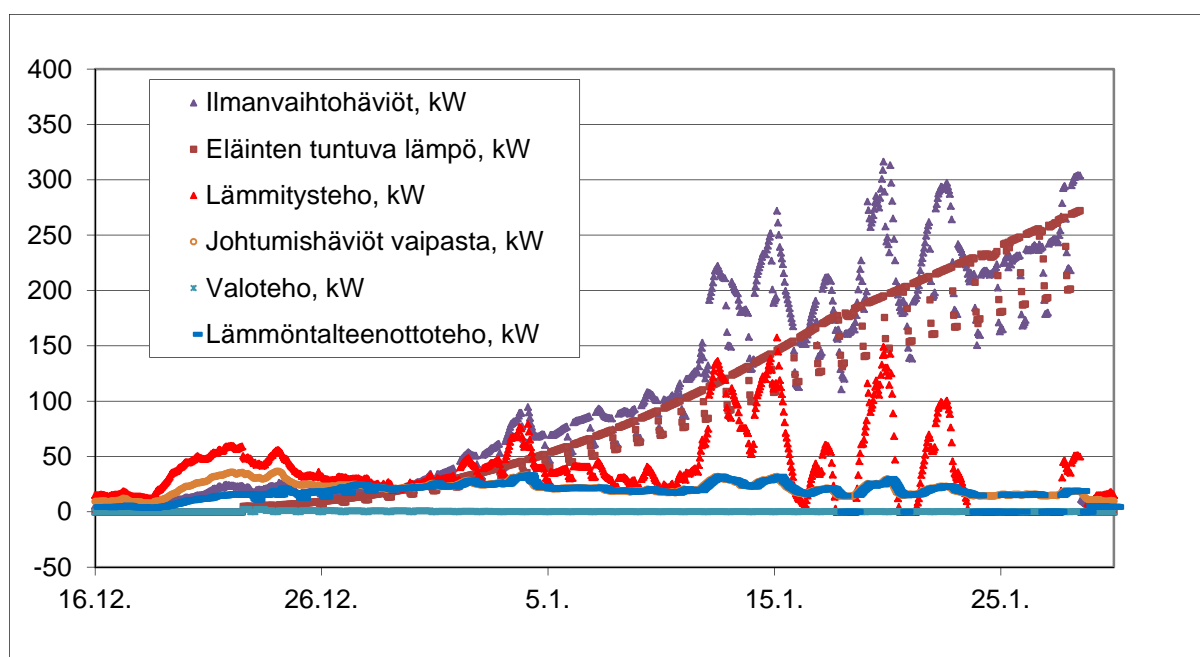
Kuva 66. Maksimikosteus eri CO₂-pitoisuuksille 48 tunnin keskiarvona, kun ulkona on alle +10 °C. Kuvasta havaitaan, että 4-erä puuttuu, mikä johtuu siitä, että kesän aikana ulkoilma ei juurikaan laske alle +10 °C:n.

7.1.7 Rakenteiden eristyksen vaikutus

Ulkoseinän eristyspaksuuden lisäys kaksinkertaiseksi 280 millimetriin vähentää vuotuista lämmitysenergian kulutusta 12 000 kWh eli 6 % perustapaukseen verrattuna (Kuva 60 sekä taulukko 2). Sama vaikutus olisi katon lämpöeristyskerroksen lisäyksellä 300 millimetristä 470 millimetriin. Koko lattian eristäminen 50 mm solumuovieristeellä vähentää kulutusta 9 000 kWh eli 4 % perustapaukseen verrattuna.

7.1.8 Ilmanvaihdon lämmön talteenoton vaikutus

Ilmanvaihtoilman lämmön talteen otto hyötysuhteella 70 % vähentää vuotuista lämmitysenergian kulutusta 57 000 kWh eli 27 % perustapaukseen verrattuna (Kuva 60 sekä taulukko 2). Tällöin lämmön talteenotokoneet on mitoitettu siten, että niiden ilmavirta riittää kasvatuspäivän 5 minimi-ilmavirtaan saakka. Lämmön talteenotolla takaisin saatu lämmitysteho (Kuva 67) vastaa suunnilleen rakennusvaipan johtumislämpöhäviötä silloin, kun lämmön talteenotokoneiden koko ilmavirtakapasiteetti on käytössä eli viidennen kasvatuspäivän jälkeen.



Kuva 67. Broilerihallin lämpöhäviöt, linnuista ja poistoilman lämmön talteenotosta tuleva lämpö ja tarvittava lämmitysteho kasvatuserän aikana talvella. Lämmön talteenotto on mitoitettu viiden päivän minimi-ilmanvaihtoa vastaavaksi. Ulkolämpötila näkyy kuvasta 82.

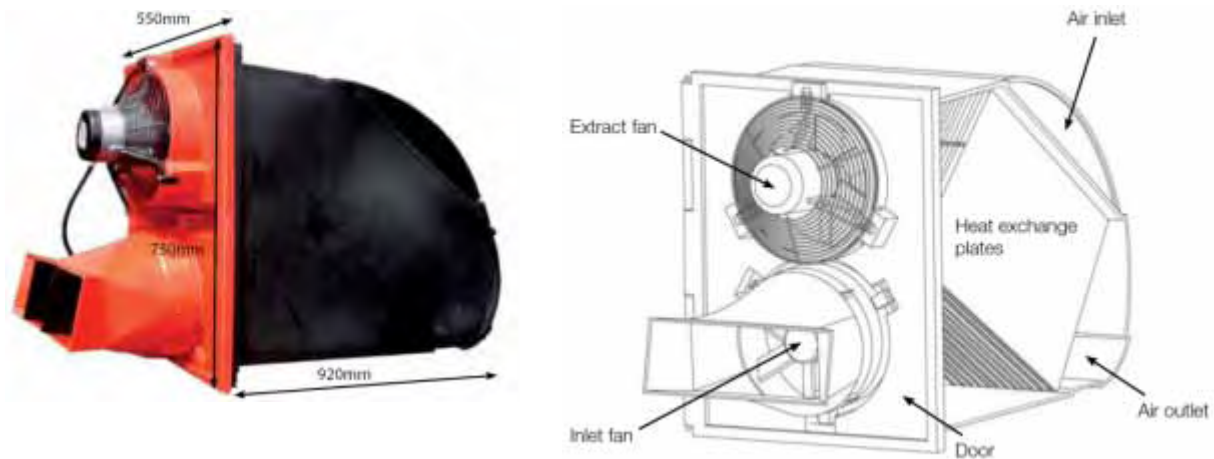
Jos lämmön talteenottolaitteet mitoitetaan 10 päivän minimi-ilmanvaihtoa vastaavasti, lämmitysenergian kulutus vähenee 42 %. Tähän tarvitaan kaksinkertainen määrä lämmön talteenotokoneita. Markkinoilla olevat koneet (Kuva 68 ja Kuva 69) ovat seinälle asennettavia ja niiden lisäksi tarvitaan normaalit poistoilmapuhaltimet katolle.

Lämmön talteenotokoneet lisäävät puhallinsähkön kulutusta. Kuvaan 61 lasketut sähköenergian kulutukset perustuvat arvioon koska laitevalmistajilta ei ole saatu tarpeeksi tarkkoja tietoja laitteiden ilmavirroista ja puhallintehoista.

Suomalaisilla broileritiloilla ongelmana on ollut lämmön talteenoton lämmönsiirtimien jäätyminen. Lämmönsiirtimet pitäisikin suunnitella ja mitoittaa suomalaiseen ilmastoon sopivaksi. Jäätymisherkkyteen vaikuttavia tekijöitä ovat lämmönsiirtimen konstruktio, lämpötilahyötysuhde, ulkolämpötila, poistoilman lämpötila sekä sisäilman kosteus. Matala lämmönsiirtimen hyötysuhde sekä hyvin kostea poistoilma vähentävät jäätymisherkkyttä.



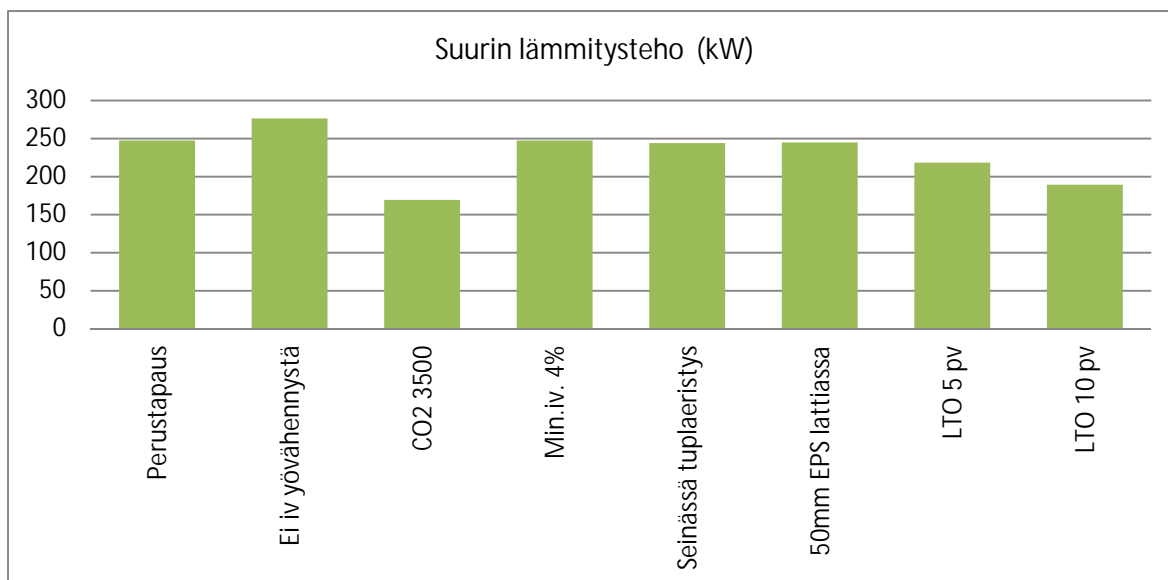
Kuva 68. Esimerkki broilerikasvattamon lämmön talteenottokoneesta (Skov). Laitteen ristivirtalämmönsiirrin on polypropyleeniä ja kuori lasikuitua. Valmistaja ilmoittaa laitteen riittävän 10 000 broilerille. Hallin puolella tuloilman suuntaus on säädettävissä.



Kuva 69. Esimerkki broilerikasvattamon lämmöntalteenottokoneesta (Climate Controls). Valmistaja ilmoittaa laitteen hyötysuhteeksi 70 % ja puhallintehoksi 200 W. Suositellaan puhdistusta kahdesti viikossa ja kondenssiveden keräämistä.

7.1.9 Suurin lämmitysteho

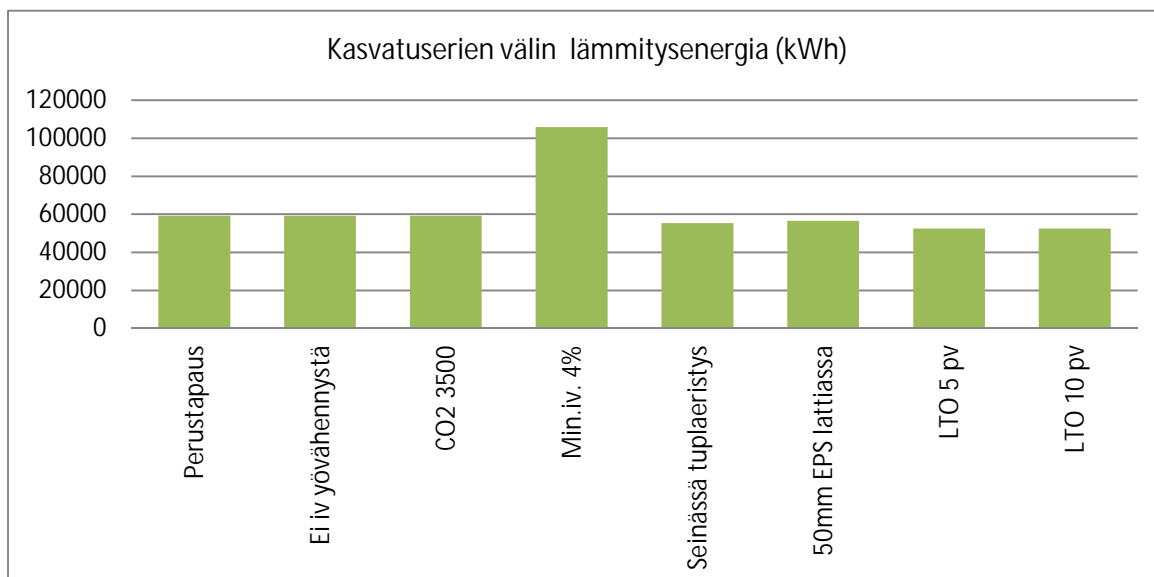
Suurimman lämmitystehon tarve (Kuva 70) ja perustapauksen osalta (Kuva 52) riippuu lähinnä ilmanvaihdon määrästä ja miten se ajoittuu ulkolämpötilaan nähden.



Kuva 70. Suurin lämmitystehon tarve vuoden aikana eri laskentatilanteissa. Lämmön talteenotolle laske-
tut lämmitystehtot voivat olla liian pieniä, koska huippupakkasilla laitteen jäätymissuojausautomaattikka
voi pienentää talteen saatavaa tehoa, riippuen laitteen ominaisuuksista. Helsingin säätiedot.

7.1.10 Kasvatusjaksojen välien lämmitysteho

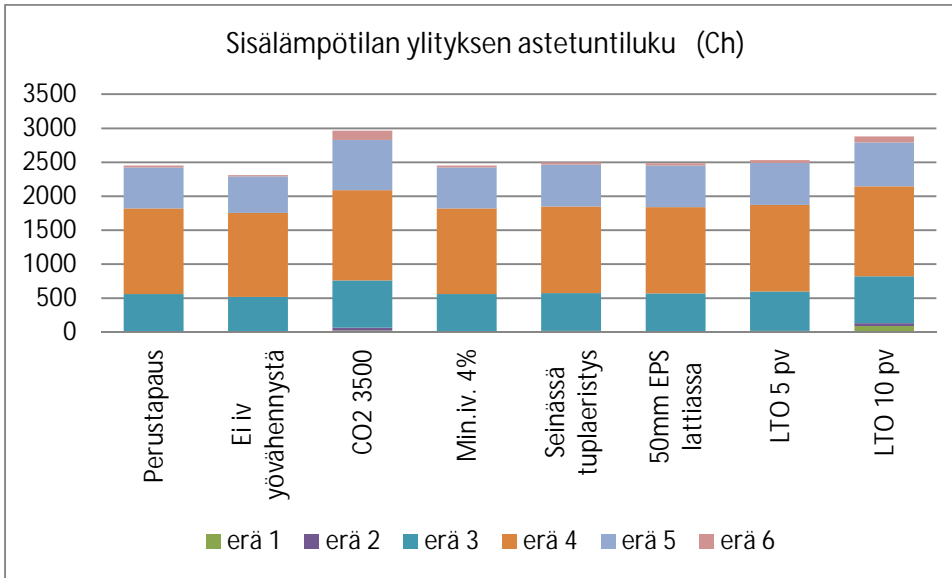
Kasvatusjaksojen välillä kuluu perustapauksessa 59 000 kWh lämmitysenergiaa mikä on 29 % kokonais-
lämmitysenergiasta. Lämmitysenergia (Kuva 71) riippuu halutusta lämpötilasta. Laskennassa on oletettu,
että lämpötila pidetään muuten 15 asteessa mutta kolme päivään ennen uuden erän tuloa hallia aletaan
lämmittää 34 asteen lämpötilaan. Ilmanvaihto on tällöin yhtä suurta kuin ensimmäisenä kasvatuspäivänä
(1,2 % maksimista), lukuun ottamatta tilannetta ”Min.iv 4%”, jossa ilmanvaihto on aina vähintään 4 %
maksimista. Välijakson lämmitysenergia sisältyy kuvassa 70 seuraavan jakson lämmitysenergiiaan



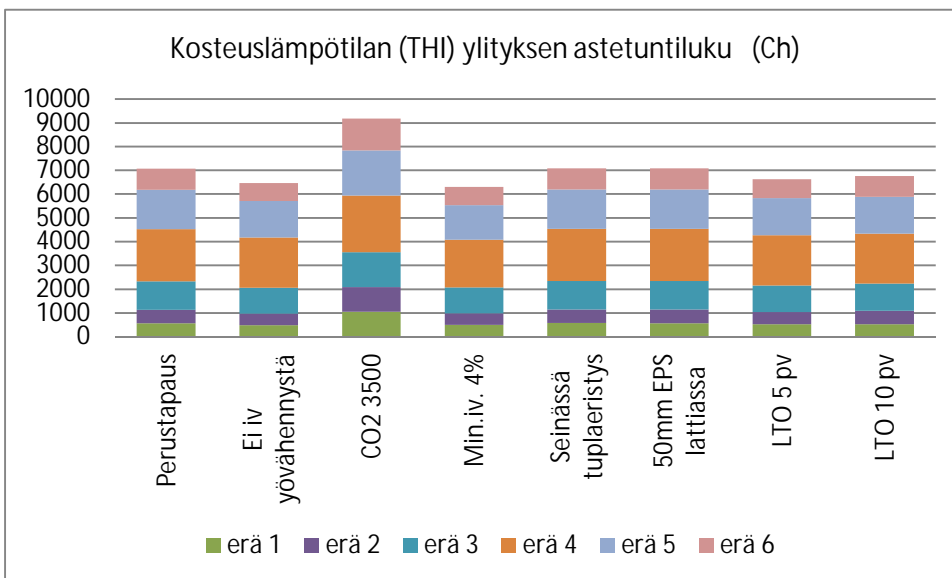
Kuva 71. Lämmitysenergian kulutus kasvatuserien välillä vuoden aikana. Helsingin säätiedot.

7.1.11 Kuumuuden vaikutus sisälämpötilaan ja suhteelliseen kosteuteen

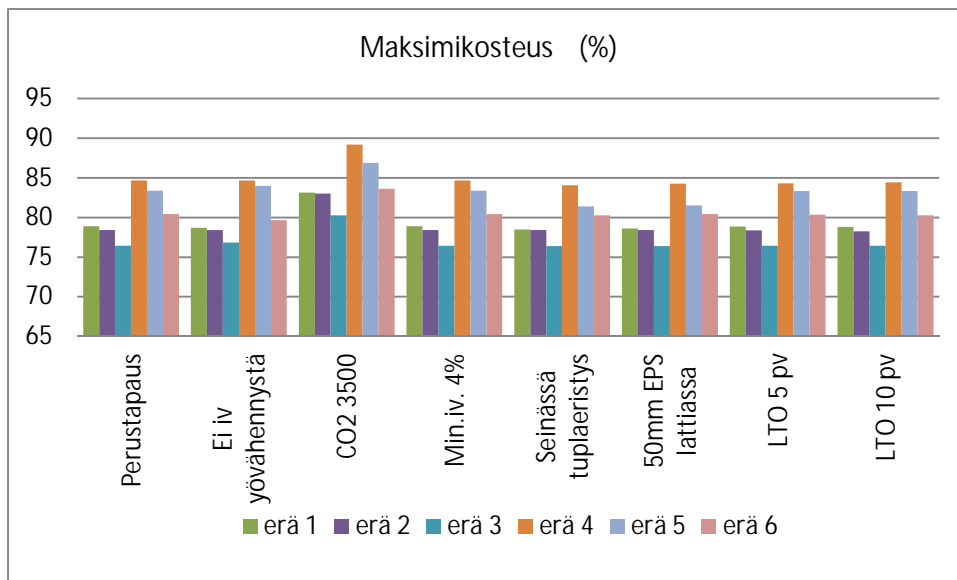
Kuvaan 72 on laskettu niiden tuntien painotettu lukumäärä, jolloin sisälämpötila ylittää asetusarvon. Esimerkiksi sellainen tunti, jonka aikana lämpötilatavoite ylittyy 5 asteella, lisää 5 astetuntia kyseiseen lukuun. Kun kasvatusaikoja on vuodessa 5325, vastaa esimerkiksi astetuntiluku 2664 puolen asteen tavoitteen ylitystä keskimäärin. Suuria eroja ei eri laskentatapauksien välillä ole. Vastaava ylitys lämpötila-kosteusindeksille THI on kuvassa 73. Ylitys on suurin tilanteessa, jossa hiilidioksidipitoisuuden tavoitearvo on 3500 ppm. Tässä tilanteessa myös ilman kosteus on suurin (Kuva 74). Maksimi-ilmanvaihto on eri laskentatapauksissa sama, kuva 75.



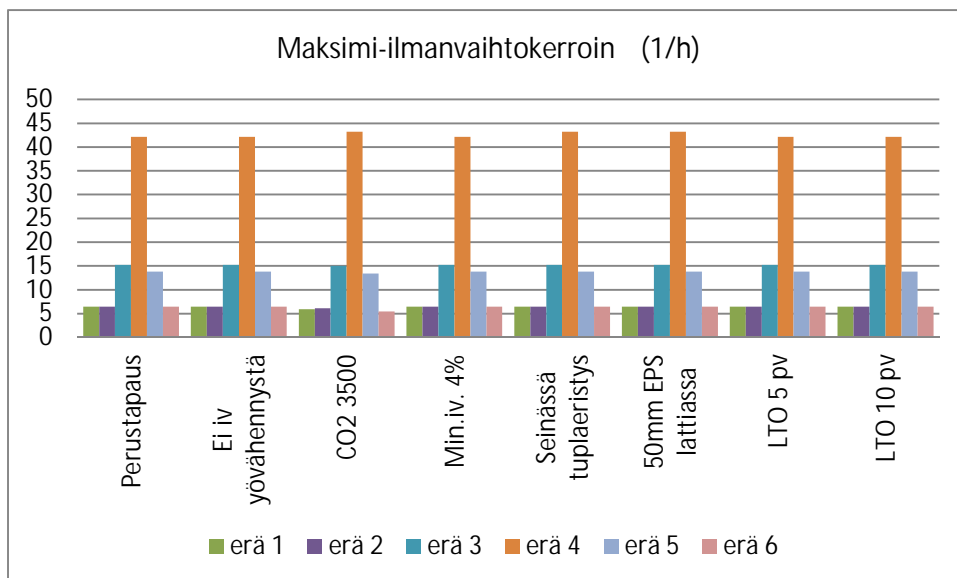
Kuva 72. Sisälämpötilatavoitteen ylityksen astetuntiluku kasvatusjaksojen aikana.



Kuva 73. Lämpötila-kosteusindeksin (THI) ylityksen astetuntiluku kasvatusjaksojen aikana.



Kuva 74. Ilman suurin suhteellinen kosteus kasvatuserittäin eri laskeutusmenetelmissä.



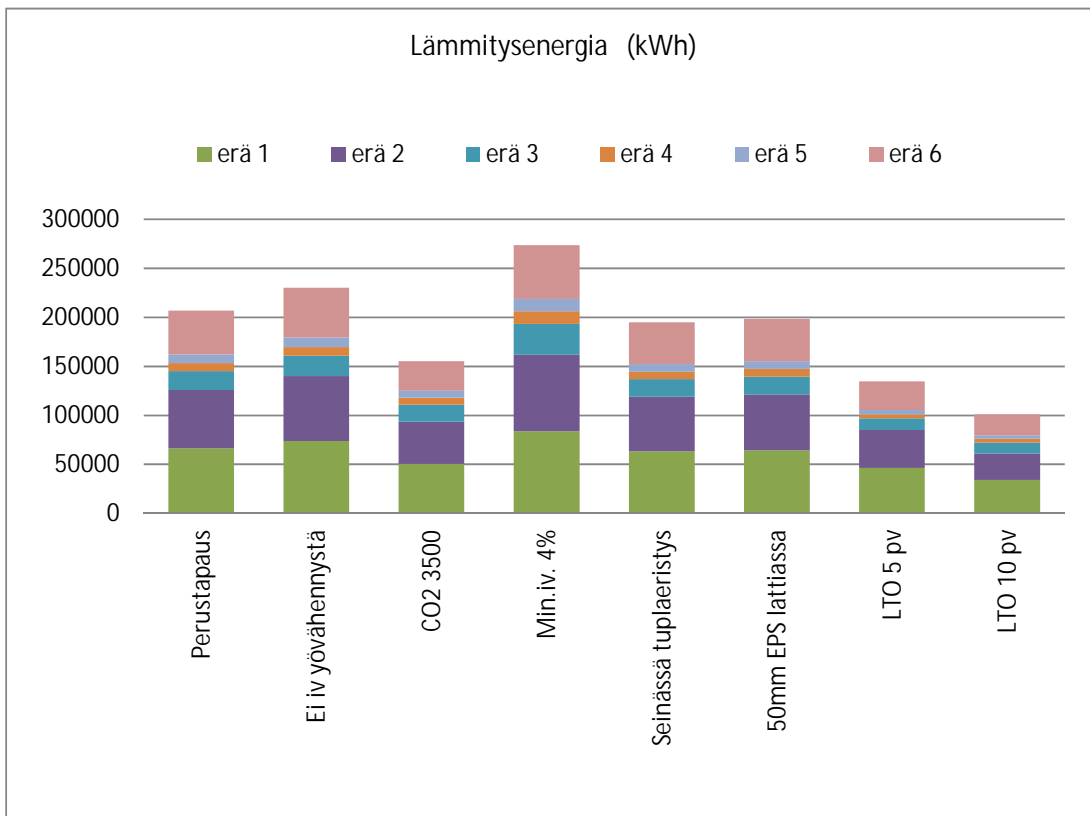
Kuva 75. Kasvatuserien suurin ilmanvaihto eri laskeutusmenetelmissä.

7.1.12 Rakennuksen tiiviiden vaikutus

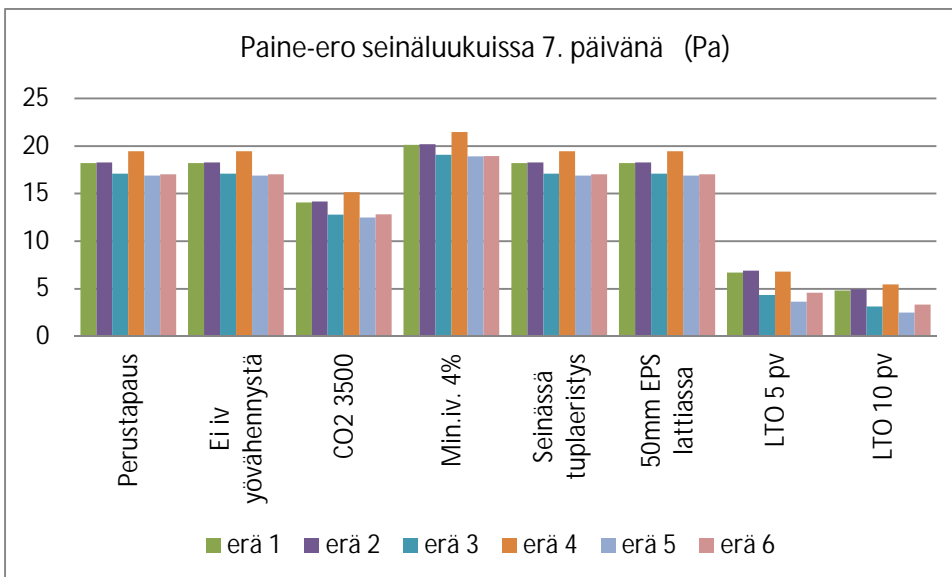
Rakennuksen tiiviiden parantaminen pienentää lämmitysenergian kulutusta vain niissä laskeutusmenetelmissä, joissa on poistoilman lämmön talteenotto. Pienennys on 10 % pienemmällä ilmavirtamitoituksella (5 vuorokauden ilmavirta) ja 16 % suuremmalla ilmavirtamitoituksella (Kuva 76). Rakennuksen alipaine pienenee lämmön talteenottoa käytettäessä (Kuva 77), jolloin tuulisella säällä tapahtuu rakennuksen läpi tuulemista. Alipaine saadaan suuremmaksi tiiviimmässä rakennuksessa (Kuva 78), jolloin läpituuleminen ja samalla lämmitysenergian kulutus pienenee. Lämmön talteenottoa käytettäessä on siis syytä huolehtia siitä, ettei rakennukseen jää ilmuotoja. Todennäköisimpiä ilmuotoja ovat sulku- ja säätöpellit tunneli-ilmanvaihdossa sekä tuloilmaluukuissa. Myös rakennuspaikan tuulisuudella on merkitystä läpituulemiseen, esitetyt tulokset koskevat suhteellisen avointa maaseutu-ympäristöä.

Hyvä rakennuksen tiiviyden helpottaa ilmanvaihdon hallintaa myös poistoilmanvaihtojärjestelmässä. Perustapauksen tiivystasolla tavoitealipainetta 20 Pa ei saavuteta vielä seitsemännen päivän ilmanvaihtomäärällä (Kuva 77), joten tuloilmaluukun heittäminen jää ensimmäisenä kasvatusviikkona vajaaksi. Ensimmäisenä kasvatusviikkona vajaaksi jää ensimmäisenä kasvatusviikkona vajaaksi.

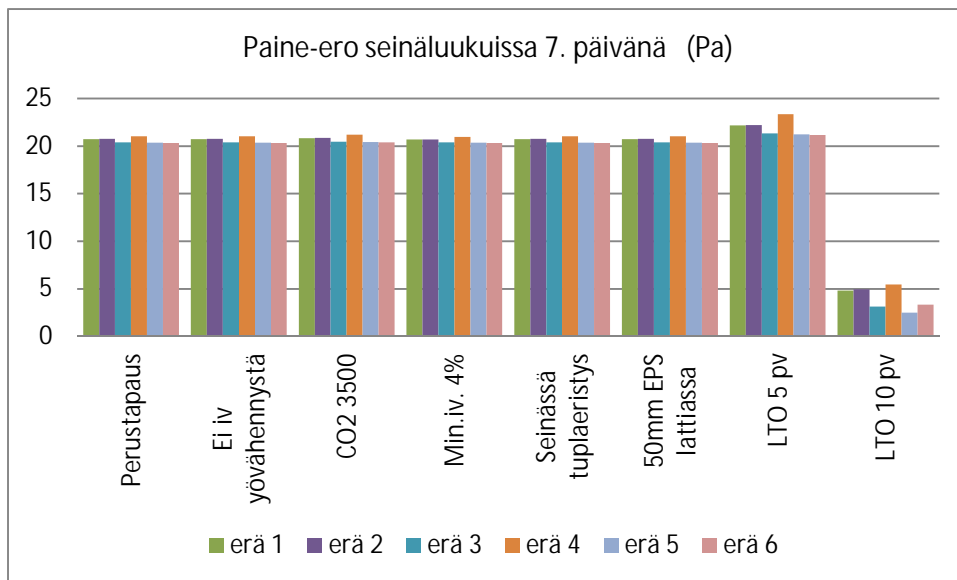
mäisinä päivinä tuloilmaluukkuja joudutaan pitämään kiinni ja tuloilma tulee halliin hallitsemattomasti satunnaisten ilmapuotokohtien kautta.



Kuva 76. Lämmitysenergian kulutus kun rakennuksen tiiviyttä on parannettu perustapaukseen verrattuna siten, että ilmapuotojen määrä on 20 % perustapauksen ilmapuodoista.



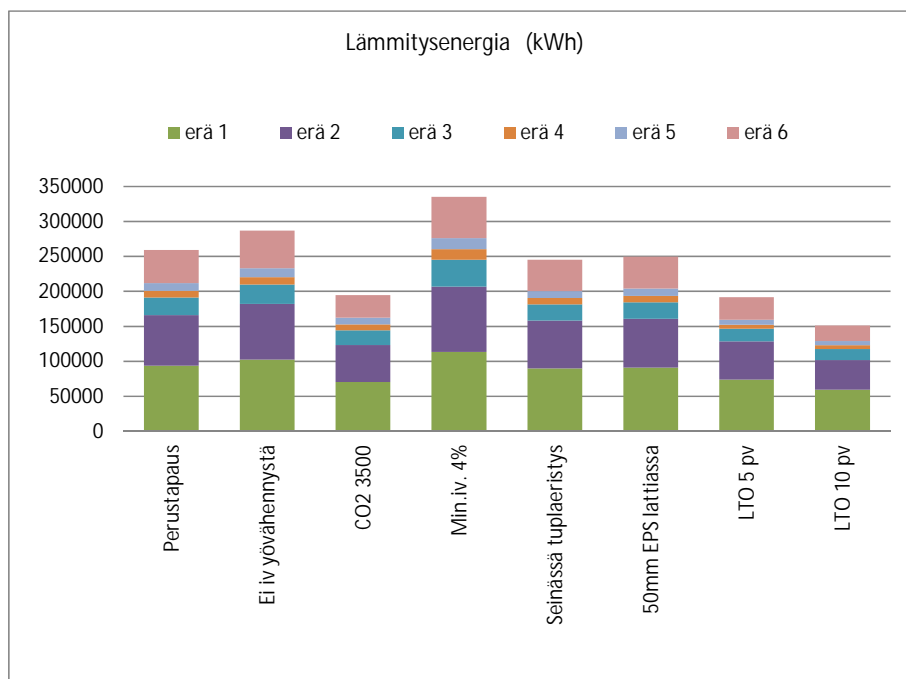
Kuva 77. Alipaine tuloilmaluukkujen korkeudella perustapauksessa.



Kuva 78. Alipaine tuloilmaluukkujen korkeudella kun rakennuksen tiiviyyttä on parannettu perustapaukseen verrattuna siten, että ilmavuotojen määrä on 20 % perustapauksen ilmavuodoista.

7.1.13 Sijaintipaikkakunnan (ilmastotyyppin) vaikutus

Perustapauksen lämmitysenergian kulutus on Jyväskylän säätiedoilla laskettuna (Kuva 79) 25 % suurempi kuin Helsingin säätiedoilla, vaikka vuoden keskilämpötila Jyväskylässä on vain 2,1 astetta alempi kuin Helsingissä. Tämä johtuu siitä, että lintujen lämmöntuotto riittää kattamaan Jyväskylän sääoloissa pienemmän osan lämmitysenergian tarpeesta. Muissa laskentatapauksissa lämmitysenergia on 23–28 % suurempi Jyväskylän kuin Helsingin ilmastossa.



Kuva 79. Ilmanvaihtotavan ja rakenteiden vaikutus koko vuoden sekä kasvatuserien lämmitysenergian kulutukseen. Jyväskylän säätiedot.

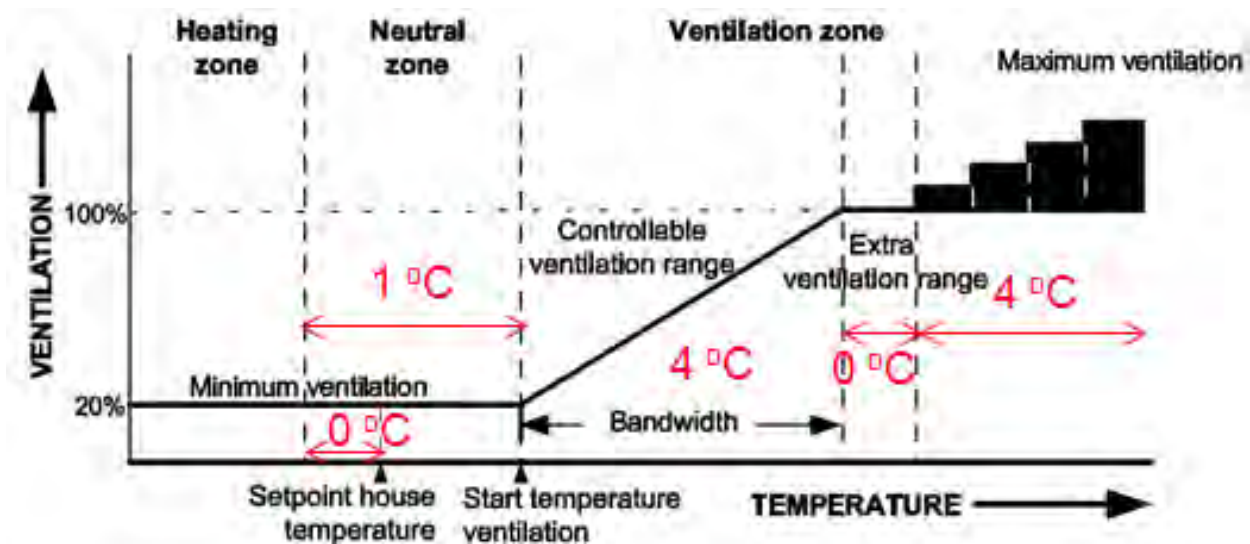
7.2 Ilmanvaihdon ja lämpötilan ohjaustapojen hienosäätö

7.2.1 Säästöparametrit

Edellä olevissa laskelmissa ilmanvaihdon ja lämmityksen säätöparametrit ovat kuvan 80 mukaiset. Minimi-ilmanvaihto määräytyy lintujen määrän ja painon perusteella siten, että lintujen laskennallinen hiilidioksidin tuotto johtaa CO₂-pitoisuuteen 3 000 ppm. Minimi-ilmanvaihto nousee kasvatusjakson aikana arvosta 1430 m³/h (ilmanvaihtokerroin 0,24 vaihtoa tunnissa) arvoon 38300 m³/h (ilmanvaihtokerroin 6,5 vaihtoa tunnissa).

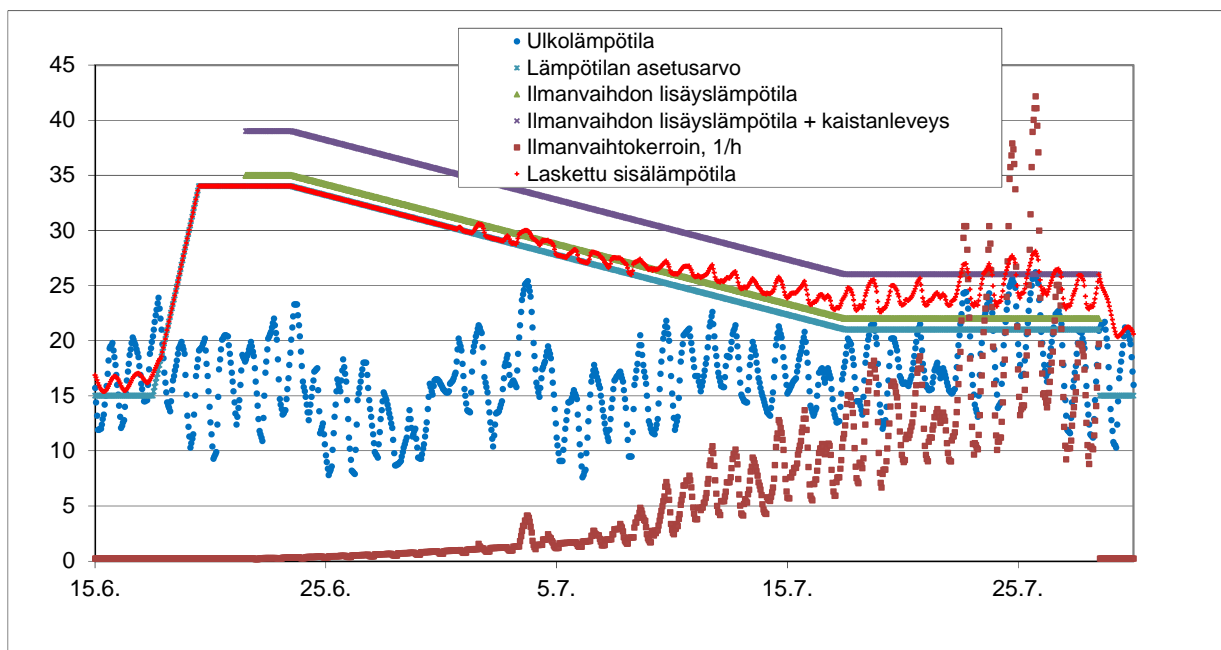
Katolla olevien poistoilmapuhaltimien suurin kapasiteetti on 116 000 m³/h (20 vaihtoa tunnissa). Tämä vastaa kuvassa 80 100% ilmanvaihtoa. Tunneli-ilmanvaihtopuhaltimien kanssa maksimi-ilmanvaihto (kuvassa 80 Maximum ventilation) ilmanvaihto nousee vielä arvoon 370 000 m³/h (62 vaihtoa tunnissa).

Lämmitys alkaa kun lämpötila laskee alle tavoitelämpötilan (Setpoint), joka on HK Ruokatalon broileripäiväkirjan mukainen. Ilmanvaihto alkaa lisääntyä yhtä astetta tavoitelämpötilaa korkeammassa lämpötilassa (Start temp. ventilation) ja lisääntyy maksimiarvoonsa 4 astetta ylempänä (kaistanleveys eli Bandwidth = 4 °C). Tunneli-ilmanvaihto alkaa lisätä ilmanvaihtoa heti kun lämpötila nousee vielä korkeammaksi (5 astetta tavoitelämpötilaa korkeammassa lämpötilassa). Hallin alipaineen tavoitearvo on 20 Pa.

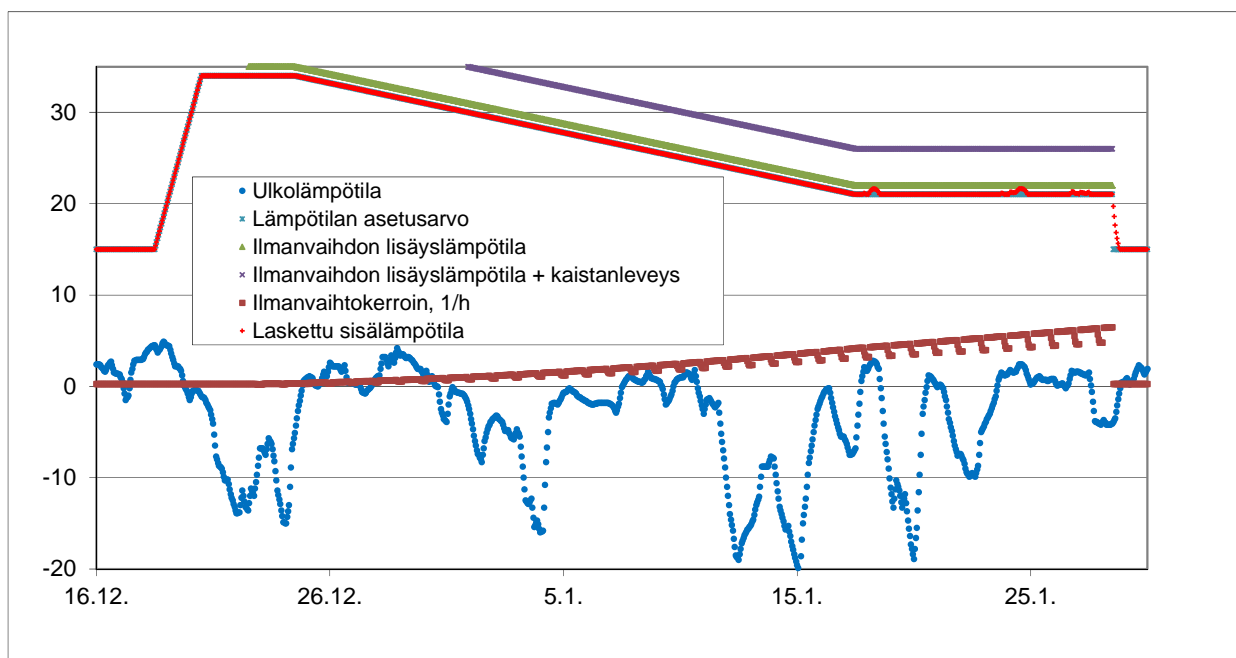


Kuva 80. Periaate lämpötilan ohjaukselle lämmityksen ja ilmanvaihdon avulla (Fancom). Punaisella merkityt arvot ovat käytössä edellä olevissa laskelmissa.

Kuvissa 81 ja 82 ja on esitetty säätöparametrien ja ilmanvaihdon muutokset kesä- ja talvijaksoilla perustapauksessa.



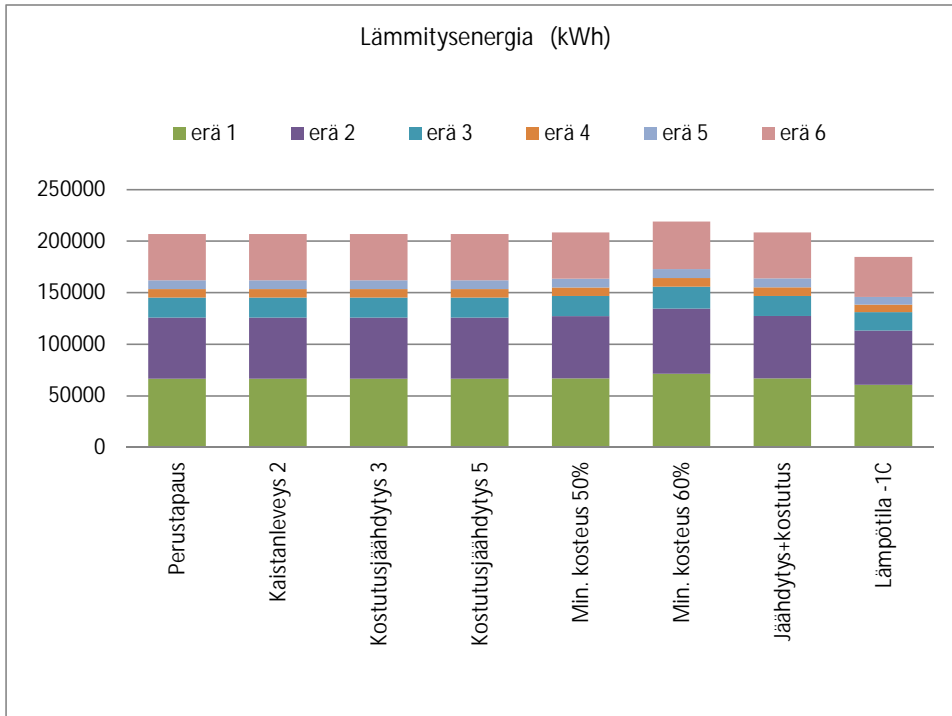
Kuva 81. Ilmanvaihdon ja lämmityksen säätöparametrien muuttuminen kasvatusjakson aikana ja toteutuva ilmanvaihto kesäjaksolla. T_{set} on sisälämpötilan asetusarvo, $T_{lisaiv,min}$ on lisäilmanvaihdon aloituslämpötilä ja $T_{lisaiv,max}$ on lisäilmanvaihdon lopetuslämpötilä. Tämän lämpötilan yläpuolella alkaa tunneli-ilmanvaihto.



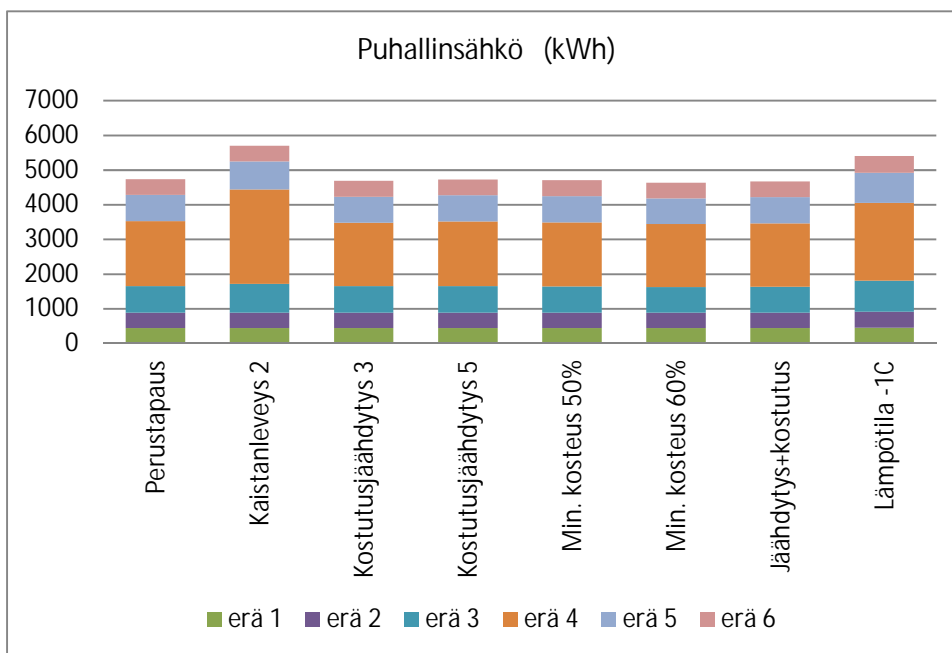
Kuva 82. Ilmanvaihdon ja lämmityksen säätöparametrien muuttuminen kasvatusjakson aikana ja toteutuva ilmanvaihto talvijaksolla. T_{set} on sisälämpötilan asetusarvo.

7.2.2 Säättöapojen vaikutus energiankulutukseen ja olosuhteisiin

Ilmanvaihdon, jäähdytyksen ja lämmityksen ohjauksen vaikutus energiankulutukseen on kuvassa 83. Perustapaus on sama kuin edellä. Muut tapaukset on selitetty taulukossa 4.



Kuva 83. Ilmanvaihdon ja lämpötilan ohjauksen vaikutus koko vuoden sekä kasvatuserien lämmitysenergian kulutukseen. Helsingin säätiedot.



Kuva 84. Ilmanvaihdon ja lämpötilan ohjauksen vaikutus koko vuoden sekä kasvatuserien puhallinsähkön kulutukseen.

Taulukko 4. Ilmanvaihdon, lämmityksen ja jäähdytykset ohjaustavat esitetyissä laskentatapauksessa.

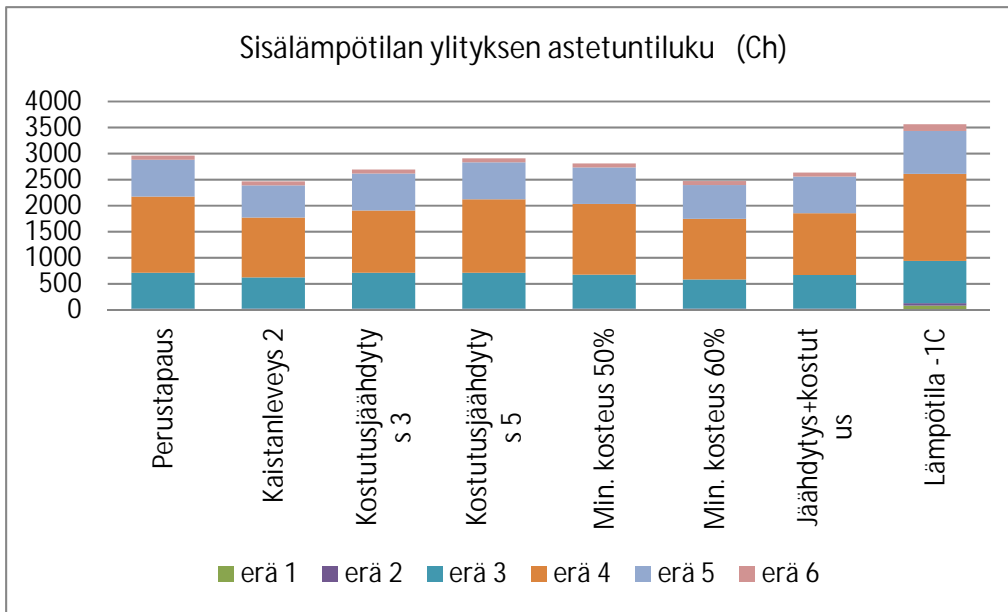
<i>Laskentatapaus</i>	<i>Muutos perustapaukseen verrattuna</i>
Perustapaus	Perustapaus. Ilmanvaihtoa vähennetään yöllä lintujen vähentyneitä aktiiviteettejä vastaten 25 %
Kaistanleveys 2	Kaistanleveys 2 astetta sekä normaali-ilmanvaihdossa että tunneli-ilmanvaihdossa
Kostutusjäähdytys 3	Kostutusjäähdytys, joka alkaa 3 astetta tavoitetta korkeammassa lämpötilassa
Kostutusjäähdytys 5	Kostutusjäähdytys, joka alkaa 5 astetta tavoitetta korkeammassa lämpötilassa
Min. kosteus 50%	Ilmaa kostutetaan, jos kosteus alle 50 %
Min. kosteus 60%	Ilmaa kostutetaan, jos kosteus alle 60 %
Jäähdytys+kostutus	Kostutusjäähdytys, joka alkaa 3 astetta tavoitetta korkeammassa lämpötilassa. Ilmaa kostutetaan, jos kosteus alle 50 %
Lämpötila -1°C	Lämpötilan asetusarvo yhtä astetta alempi

Taulukko 5. Vuotuisen lämmitysenergian muutos perustapaukseen verrattuna taulukon 3 tapauksissa.

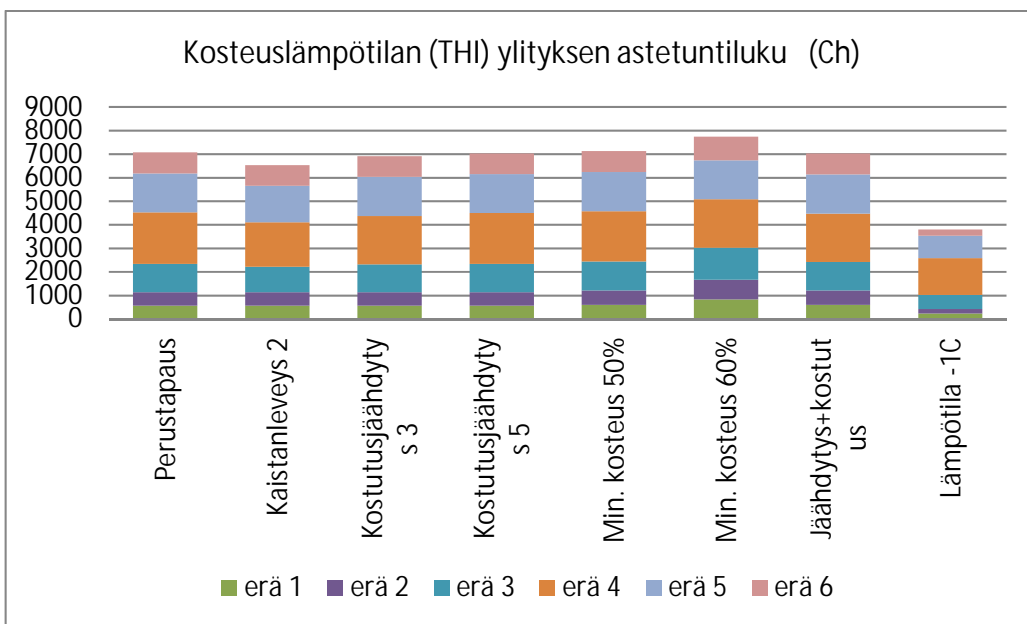
<i>Laskentatapaus</i>	<i>Lämmitysenergian muutos perustapaukseen verrattuna, kWh</i>	<i>Lämmitysenergian muutos perustapaukseen verrattuna, %</i>
Perustapaus	0	0
Kaistanleveys 2	0	0
Kostutusjäähdytys 3	0	0
Kostutusjäähdytys 5	0	0
Min. kosteus 50%	+1000	+1
Min. kosteus 60%	+12000	+6
Jäähdytys+kostutus	+1000	+1
Sisälämpötilan lasku -1°C	-23000	-11

7.2.3 Vaikutus sisälämpötilaan ja kosteuteen

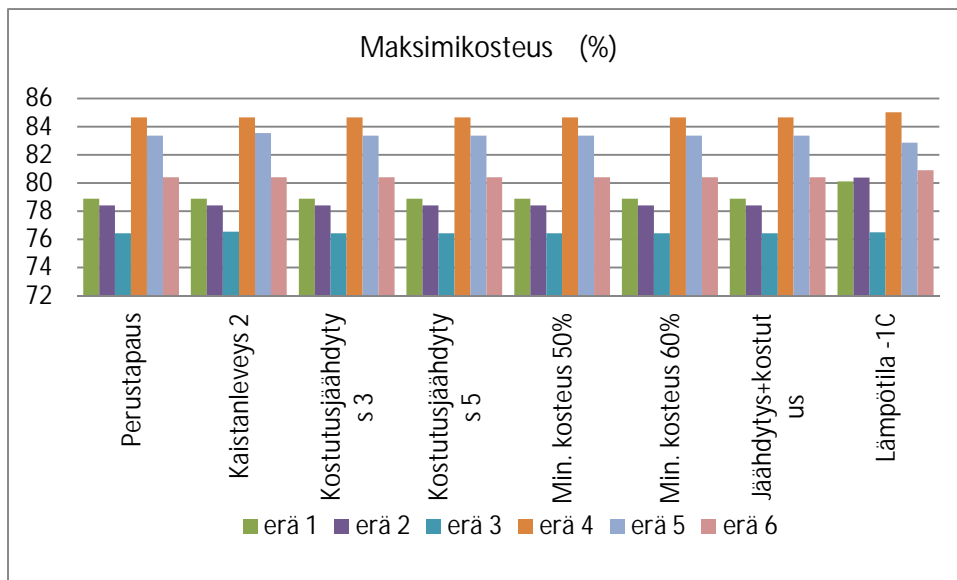
Kuvaan 85 on laskettu niiden tuntien painotettu lukumäärä, jolloin sisälämpötila ylittää asetusarvon. Esimerkiksi sellainen tunti, jonka aikana lämpötilatavoite ylittyy 5 asteella, lisää 5 astetuntia kyseiseen lukuun. Kun kasvatustunteja on vuodessa 5325, vastaa esimerkiksi astetuntiluku 2664 puolen asteen tavoitteen ylitystä keskimäärin. Suuria eroja ei eri laskentatapausten välillä ole. Vastaava ylitys lämpötila-kosteusindeksille THI on kuvassa 86. Ylitys on suurin tilanteessa, jossa hiilidioksidipitoisuuden tavoitearvo on 3500 ppm. Tässä tilanteessa myös ilman kosteus on suurin (Kuva 74).



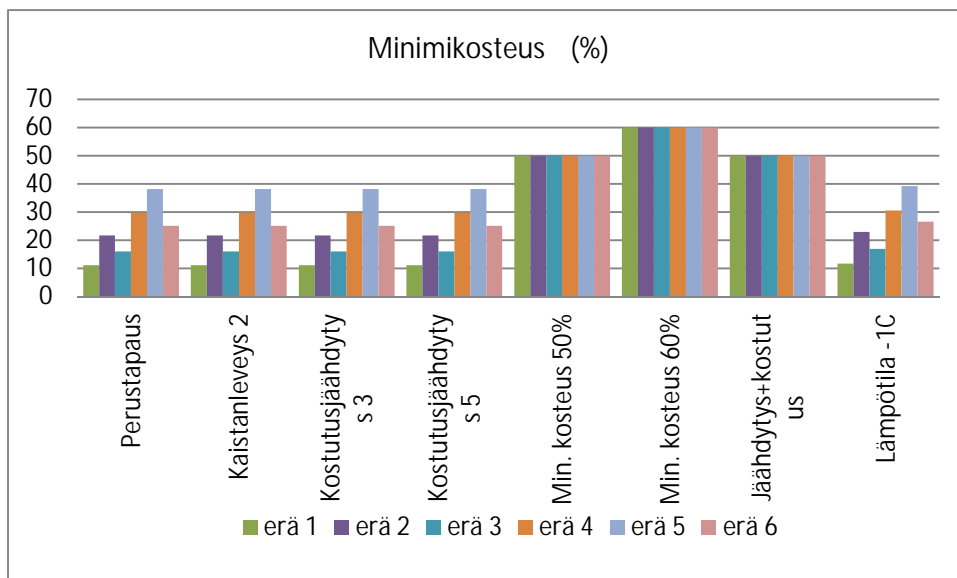
Kuva 85. Sisälämpötilatavoitteen ylityksen astetuntiluku kasvatusjaksojen aikana.



Kuva 86. Lämpötila-kosteusindeksin (THI) ylityksen astetuntiluku kasvatusjaksojen aikana.



Kuva 87. Ilman suurin suhteellinen kosteus kasvatuserittäin eri laskeutusmenetelmissä.



Kuva 88. Ilman pienin suhteellinen kosteus kasvatuserittäin eri laskeutusmenetelmissä.

8 Yhteenveto ja johtopäätökset

8.1.1 Yleistä tulosten tulkinnasta

Aluksi on korostettava, että edellisissä luvuissa esitetyt tulokset perustuvat simulaatiolaskentaan. Simulaatiossa tietokoneohjelma vakioi kasvattamon lämpötila-, kosteus- ja kaasutaseet niin, että eläinsuojelulain ja -asetuksen olosuhdevaatimus, ideaalikasvatustilanne, toteutuu kaikissa kasvatusjakson tunneissa. Tällaisessa tilanteessa minimi-ilmavirtojen asetukset onnistuvat kesällä ja talvella, ilmanvaihdon yövähennys on käytössä, ilmanjaon tehokkuus on hyvä ja lämmityksen säätö toimii hyvin. Simulaatiolaskentaan verrattuna todelliset kulutukset voivat olla suurempia ja ne vaihtelevat tiloittain ja paikkakunnittain. Laskelmien päätarkoituksena on ollutkin selvittää eri tekijöiden vaikutusta kulutukseen ja sisäolosuhteisiin. Laskennan antamia suuntaviivoja voi hyödyntää toimivissa kasvattamoissa asetuksia varioimalla eli toimivinta yhdistelmää kokeillen.

8.1.2 Broilerikasvattamosta yleisesti

Broilerikana on sademetsien asukista pitkälle jalostettu tuotantoeläin, joka vaatii oman fysiologiansa mukaiset kasvatusolosuhteet. Broilerikana kasvaa keinoympäristössä, jossa vuorokauden pituus ja lämpöolosuhteet ovat kasvatusvaiheen mukaisesti vakioituja. Keski-Eurooppaan verrattuna erityisiä haasteita Suomen tuotanto-olosuhteisiin aiheuttavat vuodenaikojen vaihtelut pakkas- ja hellejaksoineen. Näiden vaikutus kumuloituu lämmitys- ja sähköenergian kulutukseen.

Suomalaisten kasvatushallien koko on kasvanut vuosikymmenten saatossa, mutta kasvulle on nähtävissä vakiintuneet rajat. Ne muodostuvat yhtäältä tuotantotekniikasta ja toisaalta voimassa olevista palomääräyksistä. Hallin sopiva toiminnallinen leveysmitta muodostuu broileripöimurin toimintasäteestä, joka on noin 20 m. Tämä mitta on sopii myös ilmanvaihtotekniikkaan, koska ilmavirtojen jako rakennukseen voidaan järjestää toimivaksi. Tunneli-ilmanvaihdossa kapea runko on virtausteknisesti toimivampi kuin leveä runko. P3-paloluokan rakennuksen suurin osastokoko on 2000 m². Tästä syntyy tavanomaisesti hallin päämitat: pituus 100 m kun toimiva leveys on 20 m. Hallien korkeudet ovat ajan saatossa kasvaneet. Nykyään tavanomainen korkeus on 3,6–4 m. Hallien sisäkatot ovat pääsääntöisesti vaakasuoria, mutta myös vinolaipioiset ratkaisut voisivat tulla kyseeseen. Hallien poikkileikkausgeometriaan liittyy broilereiden kannalta perusongelma, jossa lämmin ilma nousee katon rajaan ja hiilidioksidi pysyy lattian rajassa. Ilman vaihtamisen lisäksi ilmaa voidaan myös sekoittaa.

8.1.3 Suhteellinen kosteus – suurin haaste

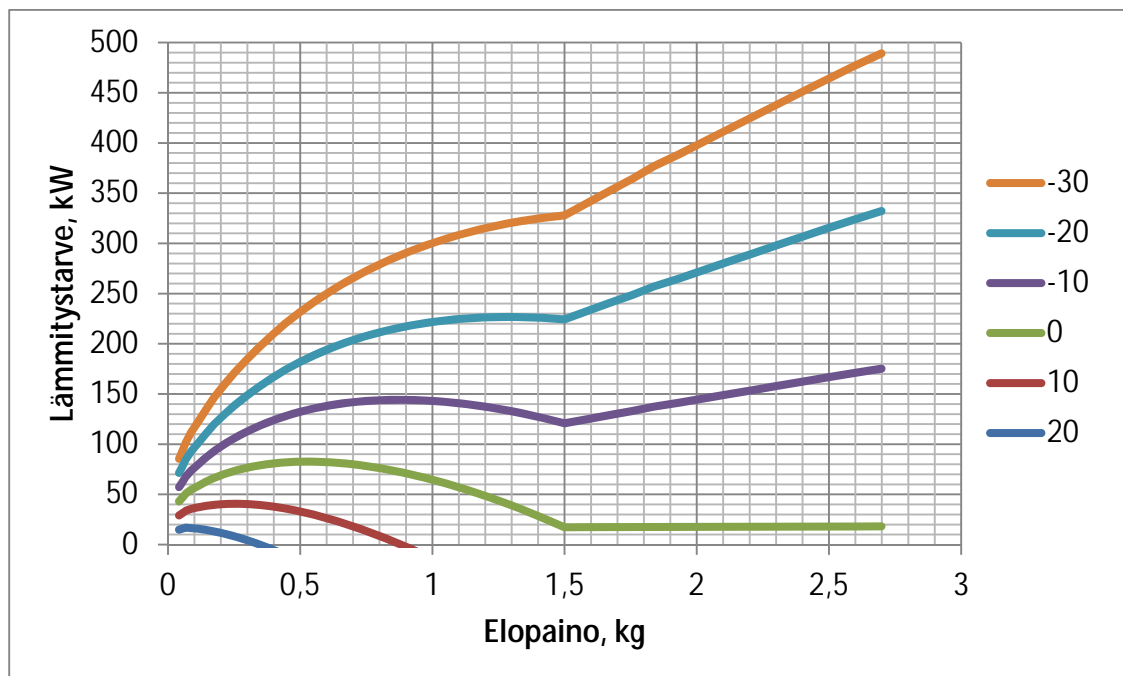
Tutkimuksen web-kyselyssä ja simulaatiolaskennoissa tuli selväksi, että suhteellinen kosteus vaikuttaa eniten halliolosuhteisiin ja sitä kautta pehkun kuntoon, joka taas vaikuttaa jalkapohjien terveyteen. Kosteus syntyy suurimmaksi osaksi lintujen omasta metaboliasta, mutta myös juomanippojen tekninen kunto ja lintujen juomatavat vaikuttavat pehkuun ajautuvan veden määrään. Pehkun kuntoon voi vaikuttaa myös riittämätön esilämmitys, koska kylmän betonilattian ja pehkun rajapintaan voi muodostua kondenssivettä.

8.1.4 Tuotantotilan maantieteellinen sijainti

Tutkimuksen simulaatiolaskennoissa yhdeksi energiakulutukseen oleellisesti vaikuttavaksi tekijäksi osoitettiin kasvatushallin maantieteellinen sijainti. Simuloinneissa käytettiin Helsingin ja Jyväskylän säätietoja. Yllättävä tulos oli se, että Jyväskylän säätiedoilla laskettuna hallin lämmitystarve oli 25 % suurempi kuin Helsingin säätiedoilla, vaikka vuoden keskilämpötila Jyväskylässä on vain 2,1 astetta alempi kuin Helsingissä. Tämä johtuu siitä, että lintujen lämmöntuotto riittää kattamaan Jyväskylän sääoloissa pienemmän osan lämmitysenergian tarpeesta. Muilla varioiduilla simulointitapauksilla (taulukko 2) lämmitysenergian tarve Jyväskylässä oli 23–28 % suurempi kuin Helsingin ilmastossa. Tämä selittää osaltaan, miksi broilerituotanto on sijoittunut Lounaiseen Suomeen. Kääntäen ilmaistuna mantereisessa ilmastossa (Kainuu tai Lappi) energian kulutus olisi turhan suurta, jos tuotantopaikkakunnan voi valita lounaisrannikolta.

8.1.5 Lämmön tuotto

Broilerikanan tuottamasta kokonaislämmöstä karkeasti puolet on sitoutuneena vesihöyryyn ja sen poistamiseen tarvitaan ilmanvaihtoa. Toinen puoli on tuntuva lämpöä, joka lämmittää sisätilaa ja johtuu ilmanvaihdon lisäksi rakenteiden läpi ulos. Ilmaa pitää vaihtaa kasvatusjakson alkupuolella vähemmän ja lopussa enemmän. Lisäksi kesäolosuhteissa ilmaa pitää vaihtaa runsaasti. Näiden lisäksi hallia pitää lämmittää



Kuva 89. 28000 broilerin hallin lämmitystarve eri ulkolämpötiloilla. Seinien eristeenä on 140 mm mineraalivillaa ja yläpohjan eristeenä 300 mm puhallusvillaa (johtumislämpöhäviö 750 W/K).

8.1.6 Kasvatushallin energiankulutus ja sen säästöpotentiaali

Kasvatushallin energiakulutus muodostuu lämmitysenergiasta, ilmanvaihdon puhaltimien, valaistuksen sekä ruokintalaitteiden tarvitsemasta sähköenergiasta. Linnut tuottavat lämpöä, joka lisääntyy kasvatusjakson loppua kohden ja siten korvaa osittain lisälämmön tarvetta.

Laskelmien kohteena olleessa 1600 m² hallissa kului lämmitys- ja sähköenergiaa yhteensä 206 MWh vuodessa. Kun hallissa kasvatettiin 6 x 28000 lintua, energiakulutus oli noin 0,75 kWh teuraspainokiloa kohden. Rehun energiasisältö ei ole mukana tässä luvussa.

Lämmitysenergiaa säästyy eniten, jos CO₂-pitoisuus nousee 3500 ppm:ään. Se on lainsäädännön vastaisista, ja käytännössä tilanne heikentää lintujen hyvinvointia. Raja-arvosta kohonnut CO₂-pitoisuus rasittaa sydämen toimintaa ja vaikuttaa siten kasvuun. Saman verran saa säästöä, jos käytössä on lämmön talteenottolaitteisto. Markkinoilla olevien laitteiden kapasiteetti riittää kuitenkin vain 5–10 ensimmäisen kasvatuspäivän tarpeisiin, jonka jälkeen niiden kapasiteetti häviää kokonaan. Lämmön talteenottolaitteistot lisäksi kasvattavat sähköenergian tarvetta perustapaukseen verrattuna noin 30–40 %. Energian säästöön voi vaikuttaa myös kasvatuserien välisen ilmanvaihdon optimoinnilla.

Yllättävä tulos oli se, että vaipan, seinien, katon tai lattian, lisäeristys toi vain marginaalisia hyötyjä energiakulutuskuluihin. Rakennusta ei siis kannata ylieristää. Lattian eristyksestä saatetaan saavuttaa se hyöty, että esilämmityksessä lattia lämpenee riittävästi ja pehkun alle ei jää potentiaalisia kondenssipintoja.

Vaipan tiiveydellä on merkitystä energian säästön kannalta. Tiiviyn parantaminen pienentää lämmitysenergian kulutusta kun käytössä on poistoilman lämmön talteenotto. Pienennys on 10 % pienemmällä ilmavirtamitoituksella (5 vuorokauden ilmavirta) ja 16 % suuremmalla ilmavirtamitoituksella. Lämmön talteenottoa käytettäessä on syytä huolehtia siitä, ettei rakennukseen jää ilmavuotoja. Hyvä rakennuksen tiiviyys helpottaa ilmanvaihdon hallintaa myös poistoilmanvaihtojärjestelmässä. Normaalilla tiiviystasolla tavoitealipainetta 20 Pa ei saavuteta vielä seitsemännen päivän ilmanvaihtomäärällä, joten tuloilmasuihkun heittopituus jää ensimmäisenä kasvatusviikkona vajaaksi. Ensimmäisinä päivinä tuloilmaluukkuja joudutaan pitämään kiinni ja tuloilma tulee halliin hallitsemattomasti satunnaisten ilmavuotokohtien kautta.

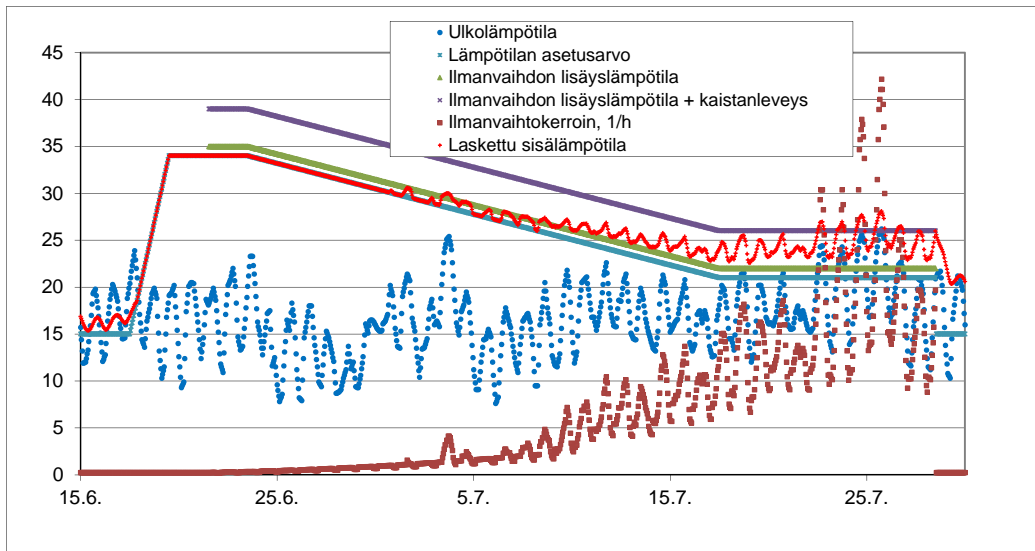
Hallin suunnittelussa kannattaa kiinnittää huomiota lämmitysratkaisun valintaan. Suurin hetkellinen lämmitysteho tarvitaan 1., 2. ja 6. kasvatusjaksoilla, kun kovat pakkaset osuvat kasvatusjaksojen loppupäähän. Suurimmat hetkelliset tehot ovat lyhytaikaisia energiapiikkejä. Lämmityskattilan tehoa ei välttämättä kannata mitoittaa suurimman tehotarpeen mukaan. Pienemmällä kattilalla voidaan hoitaa pääosa lämmitystarpeesta ja huipputehot voitaisiin tuottaa pienemmällä, mutta kalliimman energian lähteillä.

8.1.7 Ilmanvaihdon hienosäätö

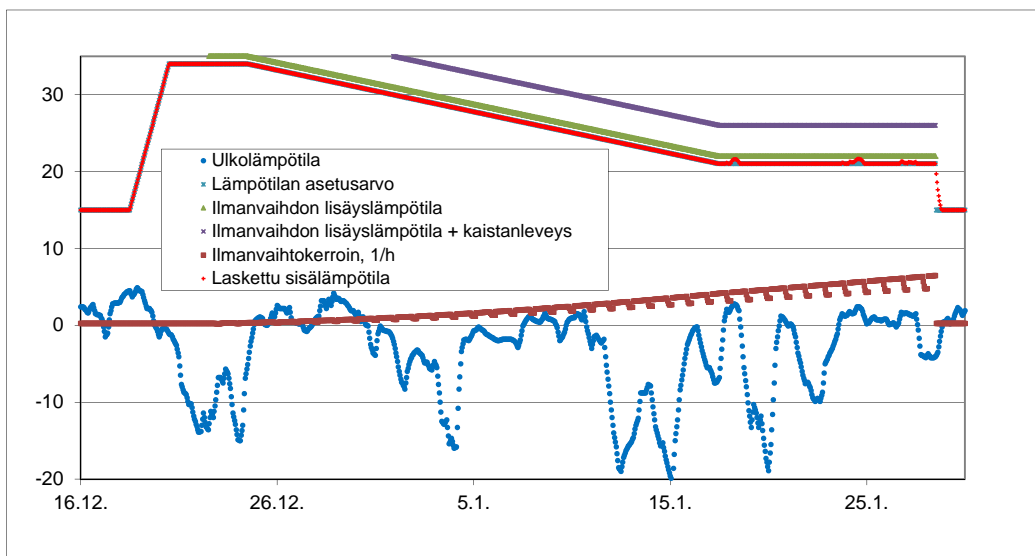
Broilerituotantohallin olosuhteisiin voidaan vaikuttaa edellä kuvatuilla vaihtoehtovalinnoilla. Lisäksi on huomattava, että kirjallisuuden perusteella eri broilerikanaroduilla on hieman toisistaan poikkeavat kasvatusjaksojen lämpötila-kosteuskäyrät. Suomessa tähän seikkaan ei tarvitse kiinnittää huomiota, kun kaikki kanat ovat samaa rotua.

Hienosäätö syntyy ilmanvaihtokoneen toimintaparametrien optimoiduilla asetuksilla. Ilmanvaihdon ohjauksessa voidaan erottaa vähintään talvi- ja kesäasetukset. Ohjaustietokoneen ohjelmoitavuus sisältää mm. seuraavia ominaisuuksia:

- Tavallisimmat ohjaustavat (lämpötilan ja kasvatuspäivän/painon perusteella):
 - o minimi-ilmanvaihto, maksimi-ilmanvaihto
 - o lämmitys
 - o sumutusjäähdytys
 - o sumutus kosteuden nostamiseksi
- Hienosäätö muiden suureiden perusteella:
 - o valaistus (yökäyttö)
 - o kosteus
 - o CO₂
 - o NH₃
 - o ulkolämpötila
 - o tuuli (myrsky)
- Mahdolliset muut säätötavat:
 - o eläinten käyttäytymisen perusteella (videoseuranta)
 - o ennakoiva lämpöolojen säätö (yöjäähdytys päivää varten)
 - o sääennusteisiin perustuva säätö
- Hälytykset



Kuva 90. Halli-ilmanvaihdon kesäasetusten luomat olosuhteet.



Kuva 91. Halli-ilmanvaihdon talviasetusten luomat olosuhteet.

8.1.8 Lisätutkimustarpeet

Tämän hankkeen tulokset on saatu laskennallisesti. Käytännön kasvatusilanteissa olosuhteet saattavat vaihdella. Lasketut lämpötilat, hiilidioksidipitoisuudet ja kosteudet koskevat ilman olosuhteita vain poistoilmassa. Koska ilman liikettä hallissa ei tunneta tarkasti, taselaskenta ei pysty tekemään eroa olosuhteissa eläinten korkeudella ja poistoilmassa. Siksi paikalliset hiilidioksidipitoisuudet broilereiden pään tasolla voivat olla korkeammat kuin laskenta osoittaa. Samoin kosteus voi olla eläinten läheisyydessä korkeampi kuin laskennassa. Lämpötila voi olla kasvatuksen eri vaiheissa ja vuodenaikoina eläinten kohdalla joko korkeampi tai matalampi kuin poistoilmassa. Ilman jakotapa vaikuttaa edellä mainittuihin seikkoihin, joten ilman jakautumista ja sekoittumista halliin eri ilmajakotekniikoilla tulisi tutkia lisää, koska sillä on suuri merkitys energian kulutukseen ja broilierien hyvinvointiin.

Suomalaisilla broileritiloilla ongelmana on ollut lämmön talteenoton lämmönsiirtimien jäätyminen. Lämmönsiirtimet pitäisikin suunnitella ja mitoittaa suomalaiseen ilmastoon sopivaksi. Jäätymisherkkyteen vaikuttavia tekijöitä ovat lämmönsiirtimen konstruktio, lämpötilahyötysuhde, ulkolämpötila, poistoilman lämpötila sekä sisäilman kosteus. Matala lämmönsiirtimen hyötysuhde sekä hyvin kostea poistoilma vähentävät jäätymisherkkyttä. Lämmönsiirintekniikkaa tulisi sekä tutkia, kehittää ja kokeilla käytännön tiloilla.

9 Kirjallisuus

- Aviagen, 2009. Ross broiler management manual.
- Chepete, H.J., E. Chimbombi, and R. Tsheko. 2005. Production performance and temperature humidity index of Cobb 500 broilers reared in open-sided naturally ventilated houses in Botswana. In *Livestock Environment VII: Proceedings of the Seventh International Symposium*, 524-535. St. Joseph, Mich.: ASABE.
- Cobb-Vantress, 2012. COBB broiler management guide
- Fancom, 2013. Fan IF80 (200-240V 50-60Hz) tuotetiedot, 4 s.
- Fancom, 2010. F38 user manual, version C1.
- Hahn, G. L., T. L. Mader, and R. A. Eigenberg. 2003. Perspectives on development of thermal indices for animal studies and management. In *Proc. Symp. Interactions between Climate and Animal Production*, 31-44. Published as EAAP Technical Series No. 7.
- Hubbard. Broiler management guide. viitattu internetissä 30.8.2013
<http://www.hubbardbreeders.com/broilermanagementguide.php>
- Heimonen, I., Heikkinen, J., Laamanen, J., Kivinen, T. 2012. Lypsykarjapihatton luonnollinen ilmanvaihto. <http://www.vtt.fi/inf/pdf/technology/2012/t71.pdf>.
- Maa- ja metsätalousministeriö, 2002. Maa- ja metsätalousministeriön rakentamismääräykset ja -ohjeet: Liite 10: MMM-RMO C2.2, Maatalouden tuotantorakennusten lämpöhuolto ja huoneilmasto.
- Mitchell, M.A., Kettlewell, P.J. 2004. The poultry transport thermal environment – matching "onboard" conditions to the birds physiological requirements. *Proc.Aust.Poult.Sym.* 2004.
- 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.
- Poulsen, H. , Pedersen, S. 2005. Ventilation, isolering og opvarmning. *Klimateknik Landbrugsforslaget*. ISBN 8774709240. 152 s.
- Purswell, J.L., Iii, W.D, Olanrewaju, H.A., Davis, J.D., Xin, H., Gates, R.S. 2012. Effect of Temperature-Humidity Index on Live Performance in Broiler Chickens Grown From 49 To 63 Days of Age. ASABE Conference Presentation, Paper No. ILES12-0265.
- Rajaniemi, M., Ahokas, J. 2012. A case study of energy consumption measurement system in broiler production. *Agronomy Research Biosystem Engineering Special Issue 1*, 195–204, 2012
- Ympäristöministeriö, 2011. D5 Suomen rakentamismääräyskokoelma, Rakennusten energiatehokkuus, Määräykset ja ohjeet 2012, Ympäristöministeriö.
- Tao, X. and H. Xin. 2003. Acute synergistic effects of air temperature, humidity, and velocity on homeostasis of market-size broilers. *Trans. ASAE* 46(2): 491–497.
- Yli-Soini, P. 2011. Broileridirektiivistä selviämisen käsikirja. *Suomen siipikarja* 2/11, s. 44–47.

MTT TEKEE TIETEESTÄ ELINVOIMAA

MTT RAPORTTI 112

www.mtt.fi/julkaisut

MTT Raportti -verkkójulkaisusarjassa julkaistaan maatalous- ja elintarviketutkimusta sekä maatalouden ympäristötutkimusta käsitteleviä tutkimusraportteja. Lukijoille tarjotaan tietoa MTT:n kaikilta tutkimusaloilta eli biologiasta, teknologiasta ja taloudesta.

MTT, 31600 Jokioinen.

