



VAKOLA

PPA 1
03400 VIHTI
90-224 6211

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

VAKOLAN TUTKIMUSSELOSTUS 39

LAURI TUUNANEN - JORMA KARHUNEN

ELÄINSUOJEN ILMANVAIHDON MITOITUS

**DIMENSIONING OF VENTILATION
IN ANIMAL HOUSES**

VIHTI 1984

2. painos

ISSN 0506-3841

VAKOLAN TUTKIMUSSELOSTUS 39

LAURI TUUNANEN - JORMA KARHUNEN

**ELÄINSUOJIEN ILMANVAIHDON
MITOITUS**

**DIMENSIONING OF VENTILATION
IN ANIMAL HOUSES**

ALKULAUSE

Tällä hetkellä ei Suomessa ole maatilahallituksen rakentamisohjetta lukuunottamatta eläinsuojien ilmanvaihtoa koskevia mitoitusohjeita. Koska em. ohjeessa esiintyvät tiedot ovat varsin puutteellisia ja eroavat joissakin tapauksissa oleellisesti esimerkiksi ruotsalaisessa standardissa SS 95 10 51 esiintyvistä arvoista, katsottiin välttämättömäksi laatia uusi ilmanvaihdon mitoitusohje. Uudessa ohjeessa, joka perustuu kirjallisuustutkimukseen pyritään esittämään kaikki ilmanvaihdon mitoittamisessa tarvittavat lähtötiedot.

Maatilahallitus myönsi 1983 maatilatalouden kehittämisrahaston tutkimusvaroista 115 000 mk valtion maatalouskoneiden tutkimuslaitokselle käytettäväksi noin 1,5 vuotta kestävään tutkimukseen, jonka tarkoituksena on kerätä ilmanvaihdon suunnittelussa tarvittavat perustiedot ilmanvaihdon mitoitusohjeeksi.

Tutkimus suoritettiin kokoamalla eri maissa käytössä olevia ilmanvaihtostandardeja ja ko. alalta julkaistuja tutkimustuloksia. Näiden perusteella muodostettiin ilmanvaihdon mitoittamisessa tarvittava tiedosto.

Tutkimuksen valvojakunnan puheenjohtaja oli toiminnanjohtaja Gunnar Wickström ja jäsenenä agronomi Pekka Ahtiainen, professori Osmo Kara, vt. professori Aarne Pehkonen, insinööri Tapio Takkinen ja professori Erkki Aikäs. Tutkimuksen loppuvaiheessa insinööri Takkisen tilalle tuli rakennusmestari Juhani Halonen.

Tutkimuksen johtajana oli valtion maatalouskoneiden tutkimuslaitokselta professori Osmo Kara ja tutkijana DI Lauri Tuunanen. Tutkimusselostuksen painokuntoon saattamisessa avusti agronomi Henrik Sarin.

Valtion maatalouskoneiden tutkimuslaitos kiittää Maatalajahallitusta, tutkimuksen valvojakuntaa ja kaikkia muita tutkimukseen osallistuneita.

Vihdissä 17.12.1984

VALTION MAATALOUSKONEIDEN TUTKIMUSLAITOS

SISÄLLYSLUETTELO

ALKULAUSE	I
SISÄLLYSLUETTELO	III
TIIVISTELMÄ	VII
SAMMANFATTNING	VIII
CONCLUSIONS	IX
1. Yleistä	1
1.1 Ilmanvaihdon merkitys	1
1.1.1 Lämpötila	1
1.1.2 Ilman suhteellinen kosteus	2
1.1.3 Haitalliset kaasut	5
1.2 Lähtökohdat ja tavoitteet	9
2. Ilmastovyöhykkeet	9
3. Ilmanvaihdon mitoitusmenetelmät	11
3.1 Ilmanvaihtotarpeen laskeminen lämmönpoiston perusteella	12
3.2 Ilmanvaihtotarpeen laskeminen poistettavan vesihöyryn perusteella	13
3.3 Ilmanvaihtotarpeen laskeminen poistettavan hiilidioksidin perusteella	14
3.4 Muita ilmanvaihdon mitoitusvaihtoehtoja	15
4. Ilmanvaihtotarve	17
4.1 Eläinten lämmönkehitys	19
4.2 Ilmanvaihdon mukana poistuva lämpövirta	21
4.3 Rakenteiden läpi johtuva lämpö	22
4.4 Lämpötasapaino	25
4.5 Tasapainolämpötila	26

5.	Ilmanvaihdon soveltamisesimerkkejä erilaisissa karjarakennuksissa	26
5.1	Lihotussikala	26
5.1.1	Optimilämpötila ja kosteus	26
5.1.2	Lihotussikojen lämmönluovutus ja sikalassa muodostuva vesihöyry	31
5.1.3	Hiilidioksidinmuodostus lihotussikalassa	36
5.1.4	Lihotussikojen maksimi-ilmanvaihto	38
5.2	Porsitussikalat	40
5.2.1	Optimilämpötila ja kosteus	40
5.2.2	Joutilaan emakon ja karjun lämmönluovutus sekä sikalassa muodostuva vesihöyry	43
5.2.3	Hiilidioksidinmuodostus joutilaiden emakoiden ja karjujen osastoilla	46
5.2.4	Joutilaiden emakoiden ja karjujen maksimi-ilmanvaihtotarve	47
5.2.5	Imettävän emakon lämmönluovutus ja vesihöyrynm muodostus	48
5.2.6	Imettävän emakon hiilidioksidinmuodostus	52
5.2.7	Imettävän emakon maksimi-ilmanvaihtotarve	53
5.2.8	Pikkuporsaiden lämmönluovutus ja vesihöyrynm muodostus	54
5.2.9	Pikkuporsaiden hiilidioksidinmuodostus	57
5.2.10	Pikkuporsaiden maksimi-ilmanvaihtotarve	58

5.3	Navetta	60
5.3.1	Lypsykarjanavetan optimilämpötila ja optimaalinen suhteellinen kosteus	60
5.3.2	Lypsylehmän lämmönluovutus ja navetassa muodostuva vesihöyry	61
5.3.3	Lypsykarjanavetassa muodostuva hiilidioksidi	65
5.3.4	Lypsylehmien maksimi-ilmanvaihtotarve	67
5.3.5	Vasikoiden ja nuorkarjan optimiolosuhteet	68
5.3.6	Vasikoiden ja nuorkarjan lämmönluovutus ja navetassa muodostuva vesihöyry	69
5.3.7	Vasikoiden ja nuorkarjan hiilidioksidinmuodostus	72
5.3.8	Vasikoiden ja nuorkarjan maksimi-ilmanvaihtotarve	73
5.4	Kanala	75
5.4.1	Optimiolosuhteet broilerille	75
5.4.2	Broillereiden lämmönluovutus ja kanalassa muodostuva vesihöyry	77
5.4.3	Hiilidioksidinmuodostus broilerikanalassa	80
5.4.4	Broillereiden maksimi-ilmanvaihtotarve	82
5.4.5	Munituskanalan optimilämpötila ja optimaalinen suhteellinen kosteus	83
5.4.6	Munivien kanojen lämmönluovutus ja kanalassa muodostuva vesihöyry	84
5.4.7	Hiilidioksidinkehitys munituskanalassa	86
5.4.8	Munivien kanojen maksimi-ilmanvaihtotarve	87

5.5	Hevostalli	88
5.5.1	Optimiolosuhteet hevostallissa	88
5.5.2	Hevosen lämmönluovutus ja tallissa muodostuva vesihöyry	89
5.5.3	Hiilidioksidinmuodostus hevostallissa	90
5.5.4	Hevosen maksimi-ilmanvaihtotarve	91
5.6	Lampola	92
5.6.1	Optimiolosuhteet lampolassa	92
5.6.2	Lampaan lämmönluovutus ja lampolassa muodostuva vesihöyry	98
5.6.3	Hiilidioksidinmuodostus lampolassa	94
5.6.4	Lampaan maksimi-ilmanvaihtotarve	95
6.	Yhteenveto ilmanvaihdon mitoittamisesta eläinsuojassa	96
6.1	Mitoittavat tekijät	96
6.2	Ilmanvaihtotarpeen laskukaavat	96
6.3	Eläinten lämmönluovutuksen laskeminen	99
6.4	Rakennuksen lämpövuodot	102
6.5	Lämpötasapaino	102
6.6	Ilmanvaihdon esimerkkisarvoja	103

7. LÄHDELUETTELO

TIIVISTELMÄ

Eläinsuojan ilmanvaihdon suunnittelemisen ja ilmanvaihtolaitteiden mitoittaminen edellyttävät ilmanvaihtotarpeeseen vaikuttavien tekijöiden tuntemista. Lämmön, kosteuden ja hiilidioksidin muodostumista eläinsuojassa, sekä eri eläinlajeille ja eri ikäisille eläimille sopivia ilman lämpötiloja ja suhteellisen kosteuden arvoja selvitetään kirjallisuustutkimuksen avulla. Näiden tietojen perusteella määritetään ilmanvaihtotarpeen minimi- ja maksimi-arvot ja niitä vastaavat mitoitusolosuhteet rakennuksen sisä- ja ulkopuolella. Saadut minimi- ja maksimi-ilmanvaihtotarpeen luku-arvot ovat kauttaaltaan suurempia kuin tähän asti käytössä olleet suomalaiset mitoitusohjeet edellyttävät. Pienin mahdollinen ilmanvaihtotarve määräytyy useimmissa tapauksissa hiilidioksidin poistamistarpeen mukaan, mutta myös kosteudenpoisto asettaa omat vaatimuksensa ilmanvaihdolle. Suurimmillaan ilmanvaihtotarve on kesällä, jolloin eläinsuojassa kehittyvän lämmön poistaminen on mitoittavana tekijänä. Saatujen tulosten perusteella voidaan todeta, että pakkauskautena eläimistä vapautuva lämpö ei riitä pitämään eläinsuojan lämpötilaa riittävän korkeana ilman lisälämmitystä silloin, kun ilmanvaihto on ohjeiden mukainen. Tutkimusta tehtäessä kävi selväksi, että tuotantomenetelmillä ja ilmanvaihtoratkaisuilla sekä siisteydellä on varsin suuri vaikutus eläinsuojassa tapahtuvaan vesihöyrynmuodostukseen. Tämän vuoksi on ilmanvaihdon mitoittamisen kannalta katsottuna tärkeää selvittää Suomessa käytössä olevien tuotantomenetelmien ja ilmanvaihtoratkaisujen toimintaa ja vaikutusta ilmanvaihtoa mitoittaviin tekijöihin. Luotettaviin tuloksiin pääseminen edellyttää sitä, että mittauksia on voitava tehdä kaikkina vuorokauden aikoina ja siten, että mittaustoimenpiteet eivät vaikuta eläinten käyttäytymiseen.

SAMMANFATTNING

Planering av stallventilation och dimensionering av ventilationsapparater förutsätter att man vet vad som inverkar på ventilationsbehovet. Värmeproduktion, fuktavgivning och koldioxidproduktion i djurstallar samt optimala temperaturer och relativa fuktigheter har erhållits genom en litteraturöversikt. Minimiventilationsflöden bestäms av dessa data. Resultatet av värden av minimiventilationsbehoven är mestadels större än motsvarande värden som man har hittills använt i Finland. Minimiventilationsbehovet avgörs mestadels av koldioxidproduktionen men också fuktavgivningen ställer sina egna krav till ventilationsflödet. Ventilationsbehovet är störst om sommaren då värmeproduktionen i stallet är dimensionerande. Forskningsresultaten visar att under de kalla perioderna är djurens värmeproduktion inte tillräckligt hög utan tillsatsvärme, om ventilationsflödet är så stort som det bör vara. Under forskningen blev det klart att produktionsmetoder och ventilationssystem liksom renlighet har ganska stor inverkan på fuktavgivningen i stallar. Därför är det viktigt att klargöra hur de produktionsmetoder och ventilationssystem som används i Finland påverkar ventilationsdimensionerande faktorer. Om man vill ha goda resultat så måste man skapa ett sådant mätsystem att mätningarna kan göras dygnet runt och att mätningarna inte påverkar djuren.

CONCLUSIONS

Design of ventilation systems for poultry and livestock shelters supposes knowledge of factors effecting on ventilation requirements. Heat, moisture and carbon dioxide production in poultry and livestock shelters as well as optimum environmental conditions are clarified by literature survey. This knowledge is the basis for minimum and maximum ventilation requirements. The resulting values for minimum and maximum ventilation requirement are mostly higher than the values used in Finland today. Minimum requirements are mostly based on carbon dioxide production but also moisture production is an important dimensioning factor. Ventilation has to be highest in summertime when heat production is the dimensioning factor. The present study shows that the heat production of the animals inside a shelter is insufficient to maintain inside temperature within desired range during frost periods without additional heating if ventilation is kept on desirable level. It appeared during the study that moisture production in poultry and livestock shelters. Therefore it is important to discover the effect of production methods and ventilation systems, that are in use. For good results measuring must be so arranged that it can be done twenty-four hours a day and that it does not affect the animals.

1. Yleistä

1.1 Ilmanvaihdon merkitys

Eläinsuojan olosuhteiden merkitystä eläinten tuottavuuteen kuvaa seuraavanlainen jako, jonka mukaan eri osatekijät vaikuttavat tuotokseen seuraavasti:

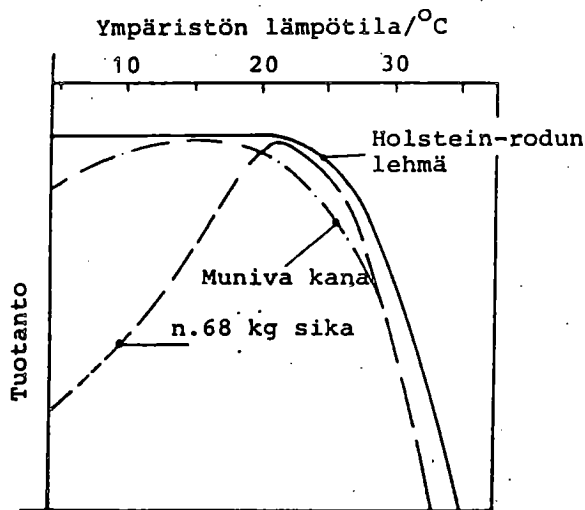
ruokinta	60%
jalostus, eläimen ikä yms.	20%
eläinsuojan ilman laatu ja hoitotottumukset	20%

Ilmanvaihdon tarkoituksena on luoda rakennukseen sellaiset olosuhteet, jottei sen sisällä oleville eläimille, siellä työskenteleville ihmisille, eikä myöskään rakennusmateriaaleille koitu kohtuutonta haittaa. Ilman lämpötilan ja suhteellisen kosteuden pitämiseksi sopivana täytyy eläinten ja laitteiden luovuttama lämpö sekä eläinten luovuttama ja kosteilta pinnoilta haihtuva kosteus poistaa. Samoin täytyy eläinsuojassa muodostuvat kaasut poistaa, jotteivät niiden pitoisuudet nouse haitallisen korkeiksi. Tämä tapahtuu ilmaa vaihtamalla. Ulkoa tuleva, poistoilmaa kylmempi, kuivempi ja vähemmän haitallisia kaasuja sisältävä ilma sitoo itseensä rakennuksessa muodostuvan lämmön, vesihöyryn ja haitalliset kaasut.

1.1.1 Lämpötila

Eläinsuojassa tyypillisesti vallitsevien lämpötilojen vaikutus ihmisen viihtyvyyteen on hyvin pieni. Poikkeuksena voidaan mainita sellaiset tehtävät, joissa joudutaan työskentelemään paljain, märin käsin suhteellisen alhaisissa, noin 10°C lämpötiloissa. Tällainen työ on esimerkiksi lypsämisen yhteydessä tapahtuva vetimien

pesu. Sen sijaan lämpötilan vaikutus eläimiin on varsin suuri. Kuten kuvasta 1 /2/ voidaan päätellä on kullekin eläinlajille olemassa optimaalinen lämpötila-alue, jolla kunkin lajin tuotos on suurimmillaan. Eklund /3/ esittää muniville kanoille sopivimmaksi lämpötila-alueeksi häkki-kanalassa 17...20°C. Hän toteaa myös: "Tiedetään, että jopa 5°C:ssa munintaa voi tapahtua, mutta silloin rehua kuluu enemmän, koska kanat käyttävät sen energian lämmönlähteenä. Yli 20°C:n lämpötilassa kanat joutuvat helposti "lämpöstressin" alaisiksi ja munivat heikommin tai sortuvat "kannibalismiin"."

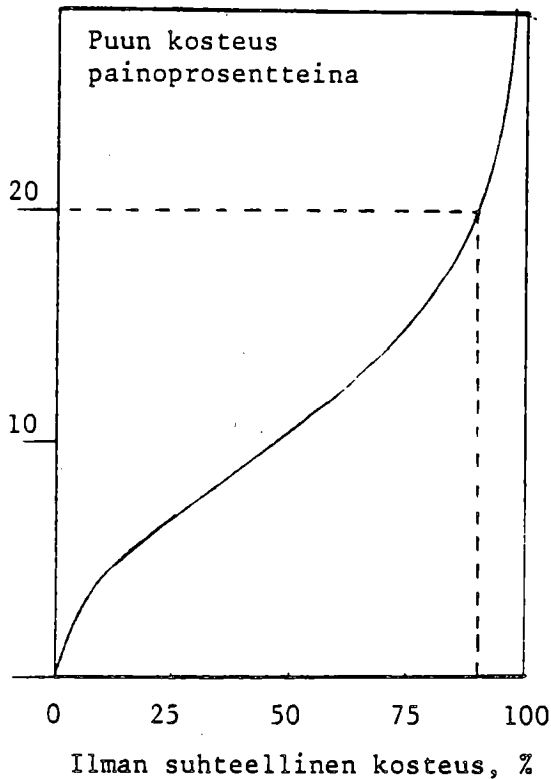


Kuva 1. Lämpötilan vaikutus eläinten tuotokseen /2/

1.1.2 Ilman suhteellinen kosteus

Ilman suhteellinen kosteus määritellään vesihöyryn osapaineen suhteena osapaineen maksimiarvoon samassa lämpötilassa /4/. Yhtä hyvin voitaisiin puhua kyllästysasteesta, jolla tarkoitetaan ilman vesisisällön suhdetta maksimivesisisältöön samassa lämpötilassa /4/. Molemmat edellämainitut ovat lämpötilasta riippuvaisia. Ilmaa lämmitettäessä ja absoluuttisen kosteuden pysyessä vakiona ilman suhteellinen kosteus pienenee. Tämä johtuu siitä, että ilman vedensitomiskyky kasvaa lämpötilan kohotessa.

Jos ilmanvaihto on liian pieni syntyy tilanne, jossa vettä höyrystyy ilmaan enemmän kuin sitä poistuu ulosmenevän ilman mukana. Tyypillinen esimerkki tällaisesta tilanteesta on kylmä talvipäivä. Tällöin ilmanvaihto on hyvin pieni huoneilman lämpötilan laskemisen estämiseksi. Jos kosteuden poistamiseksi tarvittavaa ilmanvaihtoa ei voida ylläpitää huoneilman suhteellinen kosteus alkaa kasvaa. Suhteellisen kosteuden kasvaessa liian suureksi alkaa rakennuksessa oleville kylmille pinnoille tiivistyä vettä. Yli 85%:n suhteellinen kosteus aiheuttaa yleensä tiivistymisongelmia, mutta kokemuksen mukaan esim. ikkunoihin ja ikkunan puitteisiin tiivistyy kosteutta jo alhaisemmillaakin ilman suhteellisen kosteuden arvoilla. Vaikka tiivistymistä ei tapahtuisikaan saattaa rakenteille aiheutua haittaa korkean suhteellisen kosteuden takia. Kuvassa 2 /6/ on esitetty puun kosteuden riippuvuus ilman suhteellisesta kosteudesta. Jos ilman suhteellinen kosteus on viikkoja yli 80% nousee puun kosteus yli 20%:in pelkästään puun ilmasta sitoman kosteu-



Kuva 2. Puun kosteuden riippuvuus ilman suhteellisesta kosteudesta /6/.

den takia. Tämän lisäksi tulee vielä tiivistyminen kylmille pinnoille. Kun puun kosteus nousee noin 20%:iin alkaa lahottajasierien rihmasto kasvaa. Se tuhoaa vähitellen puupohjaisen rakenteen jos sienille otolliset olosuhteet jatkuvat riittävän kauan. Myös fenoliliimatun koivu- vanerin, kosteuden kestävästi liimatun lastulevyn ja puo- likovan kuitulevyn lahoaminen alkaa kun niiden kosteus on noin 20% /7/. Pinnoittaminen lisää levyjen lahonkestä- vyyttä, mutta pinnoitteeseen tulevat naarmut ja halkea- mat pienentävät siitä saatavaa hyötyä.

Eläimille ei suurellakaan ilman suhteellisella kosteudel- la ole havaittu olevan haittaa. Ainoastaan korkeissa läm- pötiloissa suuri suhteellinen kosteus vaikeuttaa eläin- ten lämmönpoistoa ja sillä tavoin huonontaa ruokahalua ja alentaa tuotosta. Eräissä kokeissa Holstein-rotuisen lehmän maidontuotos oli optimiolosuhteiden maidontuotok- seen verrattuna kolme prosenttia huonompi, kun ilman läm- pötila oli 29°C ja suhteellinen kosteus 44%. Ilman lämpö- tilan ollessa 29°C, mutta suhteellisen kosteuden 90% mai- dontuotos huononi 44% optimiolosuhteiden maidontuotok- seen verrattuna. Ruskea Sveitsiläinen -rotuisen lehmän maidontuotokset olivat vastaavissa oloissa 2% ja 17% optimiolosuhteiden maidontuotosta huonompia /8/. Ko- lähteen mukaan optimilämpötila on 4...24°C ja tällä alueella ilman suhteellisella kosteudella ei ole merki- tystä. Liian alhaisen ilman suhteellisen kosteuden hait- toina voidaan mainita ilman korkea pölypitoisuus ja esi- merkiksi sioilla nahan kuivuminen ja hilseily. Suuri pölypitoisuus vaikuttaa haitallisesti hengityselimiin ja saattaa lisätä hengityselinten sairauksia.

1.1.3 Haitalliset kaasut

Yleisimpiä kotieläinrakennuksen ilmassa esiintyviä kaasuja ja hapen ja typen lisäksi ovat hiilidioksidi (CO₂), ammoniakki (NH₃), rikkivety (H₂S) ja metaani (CH₄). Jos rakennuksen lämmittimien palamiskaasut johdetaan suoraan eläintilaan voi ilmassa olla myös hiilimonoksidia (CO). Taulukossa 1 on esitetty Työsuojeluhallituksen turvallisuustiedote 3:ssa, Työpaikan ilman epäpuhtaudet /10/, olevat haitallisiksi tunnetut pitoisuudet (HTP), TGL 29084:n /20/ mukaiset maksimipitoisuudet haitallisille aineille (MSK) sekä DIN 18910:n /21/ mukaiset maksimipitoisuudet työpaikalla (MAK). Sekä HTP, että MSK ovat työsuojeluun liittyviä ihmisiä koskevia pitoisuusarvoja ja pätevät siten työpaikkoihin yleensä. MAK sen sijaan koskee nimenomaan eläinsuojia ja siinä pyritään ottamaan myös eläinten vaatimukset huomioon.

Taulukko 1. Raja-arvoja kaasupitoisuuksille

Kaasu	HTP _{8h} l/m ³	HTP _{15min} l/m ³	MSK l/m ³	MAK l/m ³
Ammoniakki	0.025	0.040	0.030	0.050
Hiilidioksidi	5.0	5.0	3.5	(3.5)
Hiilimonoksidi	0.05	0.075	-	-
Metaani	-	-	-	-
Rikkivety	0.010	0.15	0.005	0.10

HTP_{8h} haitalliseksi tunnettu pitoisuus, kun vaikutusaika on 8 h

HTP_{15min} haitalliseksi tunnettu pitoisuus, kun vaikutusaika on 15 min

Seuraavassa em. kaasujen tärkeimpiä ominaisuuksia Kallelan mukaan /53/.

Hiilidioksidi (CO₂)

Hiilidioksidi, jonka molekyylipaino on 44, on ilmaa raskaampi, hajuton, mauton ja veteen liukeneva kaasu. Hiilidioksidin haitalliseksi katsottavan pitoisuuden suuruudesta ei olla tutkijoiden keskuudessa yksimielisiä. Tanskalaisten ja ruotsalaisten ilmanvaihtonormien mukaan CO₂-pitoisuuksiin ei tarvitse kiinnittää erityistä huomiota, koska jo vesihöyryn poistamiseksi tarvittava minimi-ilmanvaihtokin riittää estämään kaasupitoisuuksien nousun haitalliseksi katsottavalle tasolle. DDR:n eläinsuojien ilmanvaihtonormi ilmoittaa suurimmaksi sallituksi pitoisuudeksi eläinsuojissa 3.5 l/m³ kaikille muille eläimille paitsi alle neljän viikon ikäisille kananpojille, joille suurin sallittu CO₂ -pitoisuus on 2.5 l/m³. Hiilidioksidia erittyy huoneilmaan pääasiassa eläinten uloshengitysilmosta, lannasta ja virtsasta.

Ammoniakki (NH₃)

Ammoniakki, jonka molekyylipaino on 17, on ilmaa kevyempi, voimakashajuinen, helposti veteen liukeneva kaasu. Sitä erittyy eläinten lannasta ja virtsasta sekä jossain määrin likaisista eläimistä ja kuivikkeista. Suuret NH₃-pitoisuudet ärsyttävät limakalvoja ja aiheuttavat muutoksia varsinkin hengitysteiden limakalvoissa saattaen ne erilaisille tulehduksilla alttiiksi. Kohonnut ammoniakkipitoisuus saattaa vähentää ruokahalua ja hidastaa eläinten kasvua. Ammoniakin haitallisen pitoisuuden suuruudesta on ristiriitaisia tietoja, mutta yleisesti voidaan sanoa, että suuretkaan ammoniakkipitoisuudet eivät aiheuta varsinaisia sairauksia. Kuitenkin on voitu todeta keskimääräistä korkeamman, mutta sallituissa rajoissa olevan NH₃ -pitoisuuden lisäävän hengitystieinfektioita lannanpoiston aikana ja sen jälkeen. Joissakin tapauksissa on eläinten vastustuskyky alentunut suurehkojen NH₃-pitoisuuksien seurauksena.

Rikkivety (H_2S)

Rikkivety, jonka molekyylipaino on 34, on ilmaa raskaampi, voimakkaasti mädälle kananmunalle haiseva, veteen liukeneva kaasu. Rikkivetyä muodostuu hapettomissa olosuhteissa lietelannassa. Liian korkeita rikkivetypitoisuuksia esiintyy lähes poikkeuksetta vain lietelantasäiliöiden ja -kanavien tyhjentämisen yhteydessä, jolloin pitoisuudet voivat hetkellisesti nousta tappaviksi. Rikkivedyn myrkyllisyys perustuu soluhengitystä lamauttavaan vaikutukseen. Sen lisäksi kaasu ärsyttää silmien ja hengityselimien limakalvoja sekä hermostoa ja aiheuttaa päänsärkyä, sekavuutta ja kiihtymistä.

Metaani (CH_4)

Metaani, jonka molekyylipaino on 16, on ilmaa kevyempi, hajuton ja huonosti veteen liukeneva kaasu. Metaania kehittyy eniten, eli noin 55...56 tilavuusprosenttia eläinsuojassa kehittyvien kaasujen kokonaismäärästä. Sillä ei kuitenkaan ole havaittu olevan merkitystä sairauden aiheuttajana.

Hiilimonoksidi (CO)

Hiilimonoksidi, jonka molekyylipaino on 28, on hiukan ilmaa kevyempi hajuton kaasu. Hiilimonoksidia syntyy epätäydellisen palamisen seurauksena. Se on erittäin myrkyllinen, hapen vaihdunnan veressä lukitseva kaasu. Myrkytysoireita ovat hengenahdistus, huimaus ja päänsärky.

Kaasujen yhteisvaikutus

Haitallisten kaasujen yhteisvaikutuksesta saadut tutkimustulokset ovat ristiriitaisia. Kallelan mukaan /53/ laboratorio-olosuhteissa ei ole voitu todeta suurienkaan ammoniakki- ja rikkivetypitoisuuksien vaikuttaneen eläimiin. Samassa lähteessä mainitaan toisaalta, että epäsuotuisissa olosuhteissa jo eläinsuojissa normaalisti valitsevat ammoniakki- ja hiilidioksidipitoisuudet alentavat eläinten tuotantoa ja huonontavat niiden terveydentilaa. Kalichin ja Schuhn tutkimusten mukaan lihotus-
siat kasvoivat 17,5% hitaammin ja ne kuluttivat lisäkasvukiloa kohti 13,1% enemmän rehua kuin optimiolosuhteissa ammoniakkipitoisuuden ollessa 0,05 l/m³ ja hiilivety-
pitoisuuden ollessa 0,01 l/m³ (em. pitoisuudet DIN 18910 standardissa ilmoitettuja suurimpia sallittuja arvoja) /14/.

Lähteessä /10/ on haitallisten aineiden yhteisvaikutus huomioitu siten, että kaasujen haitalliseksi tunnettu pitoisuus katsotaan ylittyneen, jos

$$\sum_i \frac{c_i}{HTP_i} > 1$$

jossa c_i aineen i mitattu pitoisuus, l/m³
 HTP_i aineen i haitalliseksi tunnettu pitoisuus, l/m³

Eläinsuojissa syntyviä kaasuja, hiilimonoksidia lukuunottamatta, voidaan kutsua yhteisnimellä lantakaasut. Lantakaasut voivat aiheuttaa sekä akuutteja että kroonisia myrkytyksiä. Akuutit myrkytykset muistuttavat puhtaan rikkivedyn aiheuttamia tapauksia ja tapahtuvat useimmiten lietelantakanavia tai -säiliöitä tyhjennettäessä. Tyypillisiä kroonisen myrkytyksen oireita ovat lehmissä

sorkkamuutokset. Sarveisaine muuttuu pehmeäksi ja kumi-
maiseksi. Jaloissa esiintyy arkuutta ja sorkkien tuleh-
dukset ovat yleisiä. Pikkuvasikoilla näkyvänä oireena on
ripuli. Lievissä myrkytystapauksissa kaasuvyöhykkeessä
olevien eläinten karvapeite on poikkeuksellisen kiillo-
ton.

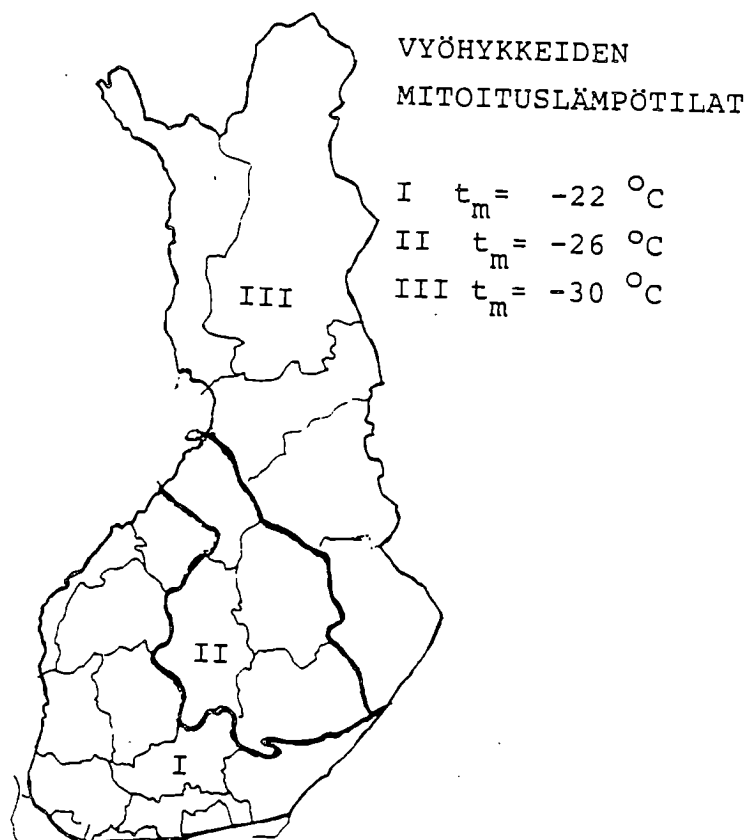
1.2 Lähtökohdat ja tavoitteet

Tällä hetkellä ei Suomessa ole maatilahallituksen raken-
tamisohjetta lukuunottamatta eläinsuojien ilmanvaihtoa
koskevia mitoitusohjeita. Koska em. ohjeessa esiintyvät
tiedot ovat varsin puutteellisia ja eroavat joissakin
tapauksissa oleellisesti esimerkiksi ruotsalaisessa stan-
dardissa SS 95 10 51 esiintyvistä arvoista, katsottiin
välttämättömäksi laatia uusi ilmanvaihdon mitoitusohjel-
ma. Uudessa ohjeessa, joka perustuu kirjallisuustutkimuk-
seen pyritään esittämään kaikki ilmanvaihdon mitoittami-
sessa tarvittavat lähtötiedot. Samojen tietojen avulla
voidaan selvittää myös se, millainen on laskettavana ole-
van rakennuksen lisälämmitystarve.

Lämmitystarpeen avulla voidaan määrittää tarvittavien
lämmityslaitteiden suuruus ja välttytään siten yli- tai
alimitoitukselta. Lämmitystarpeen avulla voidaan selvit-
tää myös erilaisten lämmöntalteenottolaitteiden hyödylli-
syyttä.

2. Ilmastovyöhykkeet

Maatilahallituksen rakentamisohjeissa /53/ maa on jaettu
maatalouspiireittäin kolmeen lämpötilavyöhykkeeseen.
Jakoperusteena on ollut päivälämpötilan keskiarvo, joka
alitetaan 5...7 päivänä vuodessa. Ruotsalaisessa standar-
dissa SS 95 10 51 mitoituslämpötilaksi on valittu kylmim-
män 7-vuorokautisen jakson keskilämpötila. Tällaisia jak-

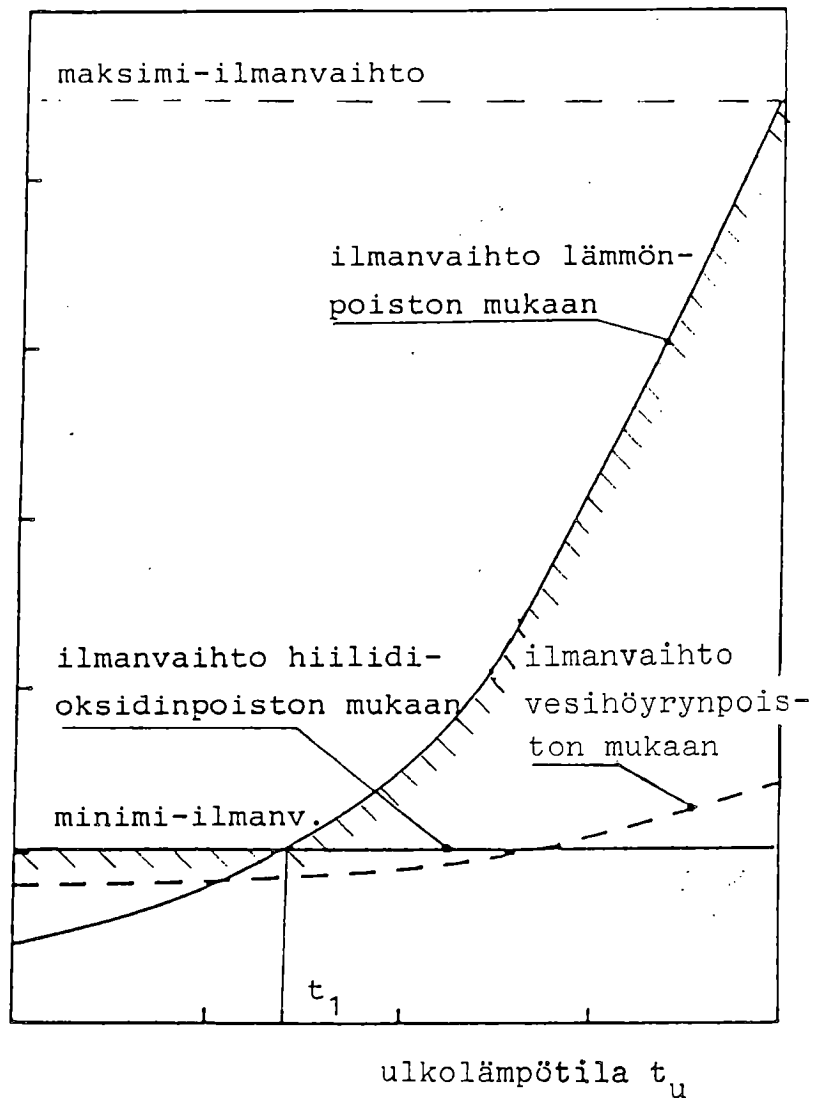


Kuva 3. Maatilahallituksen rakentamishjeissa esitetty mitoituslämpötilajako

soja on Ruotsissa keskimäärin kaksi viidessä vuodessa. USA:n maatalousrakentamisessa käytetään mitoitusarvona lämpötilaa, joka on ylitettynä 97,5% vuodesta /11/ ja Tanskassa lämpötilaa, joka alitetaan keskimäärin seitsemän vuorokauden ajan vuodessa /12/.

3. Ilmanvaihdon mitoitusmenetelmät

Kuten jo aikaisemmin mainittiin ilmanvaihdon tehtävänä on poistaa rakennuksessa kehittyvä lämpö, vesihöyry ja haitalliset kaasut. Vallitsevista olosuhteista riippuen joku näistä kolmesta määrää pienimmän mahdollisen ilmanvaihdon suuruuden. Kun ulkona on kova pakkanen mitoittavana tekijänä on yleensä joko vesihöyryn tai haitallisten kaasujen poistaminen. Kesällä mitoitus sen sijaan perustuu lähes poikkeuksetta ylimääräisen lämmön poistoon.



Kuva 4. Ilmanvaihtotarpeen riippuvuus ulkolämpötilasta

Ilmanvaihtotarve on periaatteessa kuvan 4 esittämällä tavalla riippuvainen ulkoilman lämpötilasta. Liikalämmön, vesihöyryn ja hiilidioksidin poistamiseksi tarvittavien ilmavirtojen välinen suuruussuhde ei tietenkään ole välttämättä kuvan esittämän mukainen, mutta kunkin kolmen erillinen riippuvuus ilman lämpötilasta pitää kutsuakin paikkansa. Kuvasta voidaan nähdä, että ulkolämpötilan noustessa liikalämmön poistamiseksi tarvittava ilmavirta kasvaa kaikkein nopeimmin. Jostakin lämpötilasta lähtien se tulee määrääväksi (tässä tapauksessa ulkolämpötilasta $t_u = t_1$ lähtien).

3.1 Ilmanvaihtotarpeen laskeminen lämmönpoiston perusteella

Kun ulko- ja sisälämpötila, ilman suhteellinen kosteus, rakennuksessa tapahtuva lämmönkehitys sekä rakenteiden läpi vuotava lämpö tunnetaan, voidaan liikalämmön poistamiseksi tarvittava ilmavirta \dot{V}_1 ratkaista kaavan (1) avulla.

$$\dot{V}_1 = \frac{3.6\phi_{1v}}{\rho_s c_p (t_s - t_u)} \quad (1)$$

jossa	\dot{V}_1	ilmavirta, m^3/h
	ϕ_{1v}	ilmanvaihdon mukana poistuva vapaa lämpö, W
	ρ_s	ilman tiheys sisäilman lämpötilassa, kg kuivaa ilmaa/ m^3
	c_p	ilman ominaislämpö, $c_p = 1.006 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C}$
	t_s	sisälämpötila, $^\circ\text{C}$
	t_u	ulkolämpötila, $^\circ\text{C}$

3.2 Ilmanvaihtotarpeen laskeminen poistettavan vesihöyryn perusteella

Rakennuksessa kehittyvän vesihöyryn poistamiseksi tarvittavan ilmavirran suuruuden määrittämiseksi tarvitaan tiedot rakennuksen sisä- ja ulkopuolella vallitsevasta lämpötilasta ja suhteellisesta kosteudesta sekä rakennuksen sisällä tapahtuvasta vesihöyrymuodostuksesta. Kun nämä tiedot on saatu voidaan ilmavirran suuruus ratkaista kaavan (2) avulla.

$$\dot{V}_2 = \frac{g_s}{\rho_s (x_s - x_u)} \quad (2)$$

jossa \dot{V}_2 ilmavirta, m³/h
 g_s rakennuksessa tapahtuva vesihöyrymuodostus, g/h
 ρ_s ilman tiheys sisäilman lämpötilassa, kg kuivaa ilmaa/m³
 x_s sisäilman vesisisältö, g/kg
 x_u ulkoilman vesisisältö, g/kg

Kaava (2) antaa ilmavirran \dot{V}_2 sisäilman lämpötilassa. Sitä voidaan käyttää esimerkiksi alipainejärjestelmässä poistopuhaltimen ilmavirtaa määritettäessä. Jos halutaan tietää ilmavirran suuruus \dot{V}_2 tuloilman lämpötilassa esim. tuloilmapuhaltimen mitoittamista varten täytyy kaavassa (2) käyttää ρ_s :n sijasta ilman tiheyttä ulkoilman lämpötilassa.

Kun tiedetään ilman lämpötila ja suhteellisen kosteus saadaan sen vesisisältö selville esim. ns. Mollier-diagrammista, jollainen on kuvassa 5. Esimerkkinä voidaan määrittää sellaisen ilman vesisisältö, jonka lämpötila $t = +12$ °C ja suht. kosteus $\varphi = 80\%$. Määrittäminen tapahtuu Mollier-diagrammia käyttäen seuraavasti:

1. Haetaan pystyakselilta haluttu lämpötila $t = +12^{\circ}\text{C}$ Kuvassa 5 piste A.
2. Siirrytään kuvassa esitetyllä tavalla lämpötilaviiva pitkin niin pitkälle, että saavutaan kohtaan, jossa lämpötilaviiva leikkaa halutun suhteellisen kosteuden käyrän. Tässä tapauksessa $\varphi = 80\%$. Piste B.
3. Siirrytään suoraan ylöspäin pystyviivoituksen suunnassa (pisteeseen C) ja luetaan vaak-akselilta vesisällön lukuarvo, joka tässä tapauksessa on laa-
tua kg/kg.

$$x = 0,007 \text{ kg/kg} = 7 \text{ g/kg}$$

3.3 Ilmanvaihtotarpeen laskeminen poistettavan hiilidioksidin perusteella

Kun tunnetaan rakennuksessa aikayksikössä kehittyvä hiilidioksidimäärä, tuloilman CO_2 -pitoisuus ja suurin pitoisuus, mikä eläinsuojan ilmassa sallitaan, voidaan ilmanvaihdon suuruus laskea kaavalla (3)

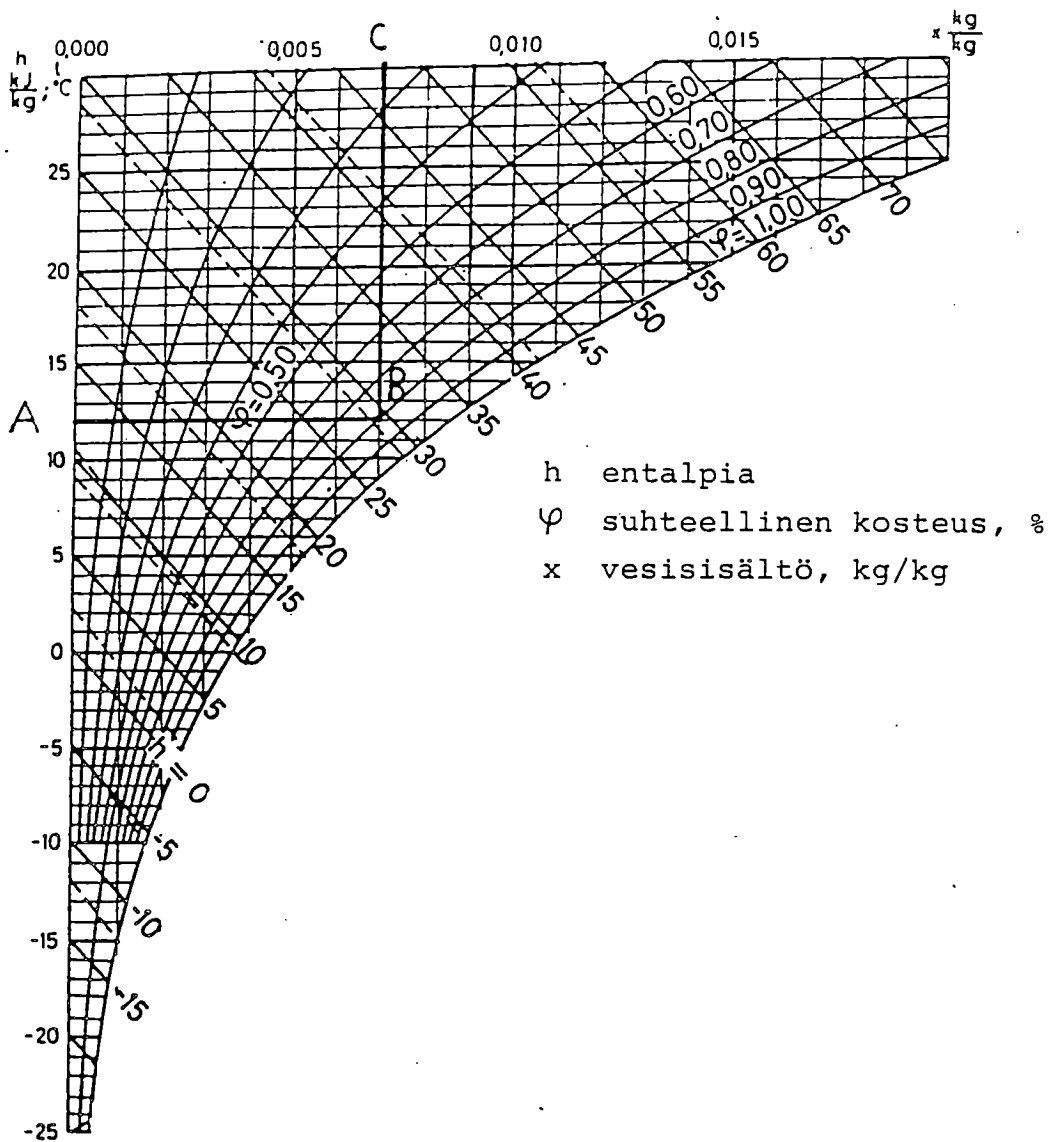
$$\dot{V}_3 = \frac{K}{c - c_0} \quad (3)$$

jossa \dot{V}_3 ilmavirta, m^3/h
K hiilidioksidin kehittymisnopeus, $1/\text{h}$
c suurin sallittu CO_2 -pitoisuus eläinsuojan ilmassa, $1/\text{m}^3$
 c_0 ulkoilman CO_2 -pitoisuus, $1/\text{m}^3$

Ulkoilmassa on normaalisti hiilidioksidia noin $0,3 \text{ } 1/\text{m}^3$.

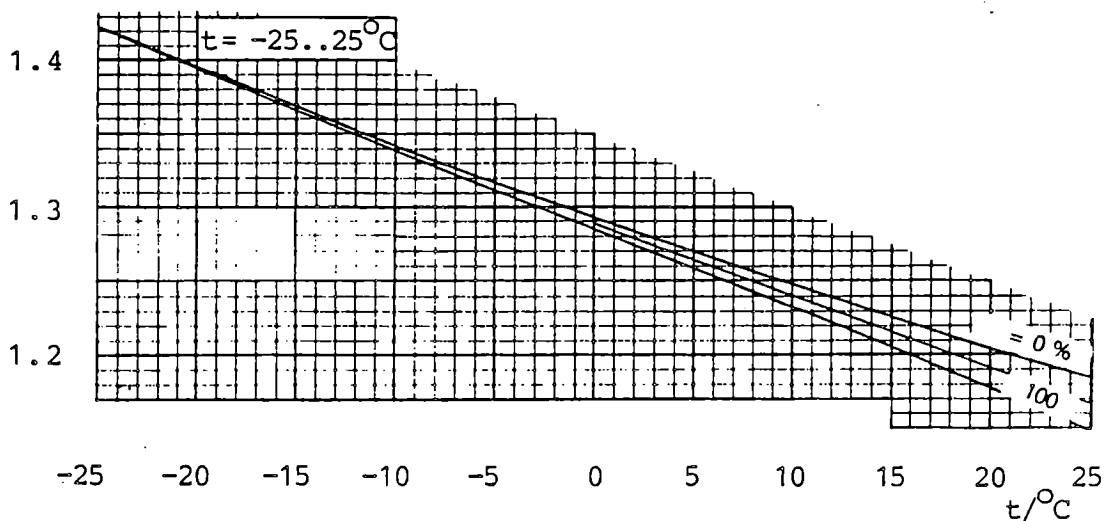
3.4 Muita ilmanvaihdon mitoitusvaihtoehtoja

Ilmanvaihdon mitoittaminen voisi edellä mainittujen lisäksi perustua esimerkiksi ammoniakkin tai jonkun muun kaasun poistotarpeeseen. Tällöin mitoitusyhtälö olisi muodoltaan samanlainen kuin kaava (3). Muiden kaasujen kehitysminopeudelle ei ole kirjallisuudessa kuitenkaan esitetty minkäänlaisia arvoja. Kirjallisuudesta ei myöskään löydy esimerkkejä tapauksista, jolloin jokin edellä mainituista ei olisi ollut ilmanvaihdon mitoitusperustena. Poikkeuksena tästä ovat edellämainitut lantakaasuvahingot, jolloin hetkellisesti on huonon ilmanvaihtojärjestelmän takia päässyt muodostumaan jopa kuolemaanjohtaneita tilanteita.



Kuva 5 Mollier-diagrammi

ρ (kg kuivaa ilmaa/m³ kosteaa ilmaa)



Kuva 6. Ilman tiheys lämpötilan funktiona

4. Ilmanvaihtotarve

Ilmanvaihdon tarve riippuu paitsi rakennuksen sisällä tapahtuvasta lämmön-, vesihöyryn- ja kaasujen kehityksestä myös ulkoilman lämpötilasta ja kosteudesta sekä eläinsuojan lämpöeristyksestä ja eläintiheydestä.

Vaikka ilman suhteellinen kosteus talvella onkin yleensä korkea, n. 80%...100% on sen vesisisältö kylmän ilman heikosta vedensitomiskyvystä johtuen hyvin pieni. Ulkoa tulevan ilman lämmitessä rakennuksessa kehittyvän lämmön seurauksena sen vedensitomiskyky kasvaa. Tämä voidaan havaita esim. tarkastelemalla Mollier-diagrammia. Ilmavirran mitoituskaavasta (2) voidaan päätellä, että \dot{V}_2 on pienimmillään silloin, kun ulkoilman vesisisältö x_u on pienimmillään (jos $t_s = \text{vakio}$ ja $\varphi_s = \text{vakio}$). Käytännössä ulkoilman vesisisältö on pienimmillään lämpötilan ollessa alhainen. Tästä seuraa se, että \dot{V}_2 on epäsuorasti ulkolämpötilasta riippuvainen. Hyvin alhaisissa lämpötiloissa ($t_u -15^\circ\text{C}$) ulkoilman vesisisällöllä ei ole suurta merkitystä, koska x_u on pieni verrattuna x_s :ään.

Sääolosuhteiden vaikutuksesta hiilidioksidin poistamiseksi tarvittavan ilmavirran suuruuteen voidaan kaavan (3) perusteella todeta, ettei lämpötilalla eikä kosteudella ole merkitystä ilmavirran \dot{V}_3 suuruuteen. Ulkoilman hiilidioksidipitoisuus ei myöskään vaihtele siinä määrin, että se olennaisesti vaikuttaisi ilmavirran \dot{V}_3 suuruuteen.

Liikalämmön poistamiseksi tarvittava ilmanvaihto on kaavan (1) mukaan riippuvainen ulko- ja sisälämpötilan erosta. Mitä suurempi tämä ero on, sitä pienempi määrä ilmaa tarvitaan lämmön poistamiseksi.

Näiden kolmen mitoitusperusteen keskinäinen suhde riippuu vallitsevista olosuhteista. Kylmällä ilmalla \dot{V}_1 on yleensä pienin, koska ilmanvaihdon mukana menevän lämmön

lisäksi lämpöä menee paljon myös johtumalla rakenteiden läpi. \dot{V}_2 tai \dot{V}_3 määrää yleensä ilmanvaihtotarpeen pakassäällä. Lämpötilan noustessa ulko- ja sisäilman välinen lämpötilaero pienenee. Tämä johtaa rakenteiden lämpöhäviöiden pienenemiseen ja kaavassa (1) olevan ϕ_{iv} :n suurenemiseen sekä $(t_s - t_u)$:n pienenemiseen. Kosteuden poistamiseksi tarvittava ilmavirta \dot{V}_2 suurenee hitaammin kuin \dot{V}_1 , joten jossakin vaiheessa tullaan sellaiseen tilanteeseen, jossa \dot{V}_1 määrää ilmanvaihtotarpeen. Ulkolämpötilan yhä noustessa annetaan lämpötilan yleensä hiukan nousta ilmanvaihtotarpeen kasvun hillitsemiseksi.

Kuvassa 4 esitetyssä tapauksessa \dot{V}_1 , \dot{V}_2 ja \dot{V}_3 on laskettu tietylle lämmön-, kosteuden- ja kaasunkehitykselle. Sisäilman lämpötila ja ulkoilman suhteellinen kosteus on oletettu vakioksi koko tarkasteluvälillä. Kuvasta nähdään, että hiilidioksidin poisto määrää ilmanvaihtotarpeen lämpötilaan $t_u = t_1$ asti. Tästä ylöspäin ilmanvaihto määräytyy liikalämmön poiston mukaan. Tässä tapauksessa vesihöyry ei ole mitoittavana tekijänä missään lämpötilassa.

Minimi- ja maksimi-ilmanvaihto

Ilmanvaihtoa määritettäessä ja ilmanvaihtolaitteita valittaessa tarvitaan tiedot minimi- ja maksimi-ilmanvaihtotarpeesta. Minimi-ilmanvaihtotarve ilmoittaa sen ilmanvaihdon suuruuden, jota ei saa missään olosuhteissa alittaa. Minimi-ilmanvaihto määräytyy joko hiilidioksidin tai vesihöyrynpoiston mukaan. Maksimi-ilmanvaihtotarve ilmoittaa vastaavasti sen ilmanvaihdon suuruuden, jonka ilmanvaihtolaitteiden täytyy pystyä vaihtamaan kuumimmallakin helteellä. Maksimi-ilmanvaihtotarve perustuu ylimääräisen lämmön poistamistarpeeseen. Kuvassa 4 esitetyssä tapauksessa minimi-ilmanvaihtotarve on sama kuin hiilidioksidin poistamiseksi tarvittava ilmanvaihto. Maksimi-ilmanvaihto perustuu ko. tapauksessa liikalämmön poistoon.

4.1 Eläinten lämmönkehitys

Eläinten lämmönkehityksestä puhuttaessa voidaan ympäristön lämpötila jakaa alemman ja ylemmän kriittisen lämpötilan avulla kolmeen erilaiseen vyöhykkeeseen.

Alemman kriittisen lämpötilan alapuolella eläimen normaali aineenvaihdunta ei riitä ylläpitämään tasaista ruumiinlämpöä, vaan eläin joutuu käyttämään osan syömänsä rehun energiasta ruumiinlämpönsä ylläpitämiseen.

Ylemmän ja alemman kriittisen lämpötilan välissä eläimen aineenvaihdunta on ympäristön lämpötilasta riippumaton. Tällä alueella, jota kutsutaan termisen neutraliteetin alueeksi eläimen lämmönkehitys johtuu pelkästään rehun energian muuntamishäviöistä.

Ylemmän kriittisen lämpötilan yläpuolella eläimen lämmönmuodostus alkaa jälleen kasvaa. Tämä johtuu siitä, että eläimen aineenvaihdunta nopeutuu lämmönsäätelyjärjestelmän toiminnan vilkastumisen takia. Pitääkseen ruumiinlämpönsä vakiona eläin pyrkii vähentämään lämmönmuodostustaan. Tämä tapahtuu rehunkulutusta pienentämällä. Rehunkulutuksen pienentymisen (ruokahalun huonontuminen) seurauksena myös eläimen tuotos pienenee.

Eläimet luovuttavat aineenvaihdunnassa muodostuvan lämmön säteilyyn, konvektion, johtumisen ja haihtumisen avulla. Kuvassa 7 on esimerkkinä noin 23 kg painoisen porsaan lämmönluovutus jaettuna säteilyyn, johtumiseen, konvektioon ja haihtumiseen. Kuvasta voidaan nähdä miten porsaan lämmönluovutus on riippuvainen ympäristön lämpötilasta. Lämmönluovutusta kuvaavat yhtälöt ovat muodoltaan seuraavanlaisia:

$$\text{säteily} \quad \emptyset = A(T_1^4 - T_2^4) \quad (4)$$

$$\text{johtuminen} \quad \emptyset = k_1 A(t_1 - t_s) \quad (5)$$

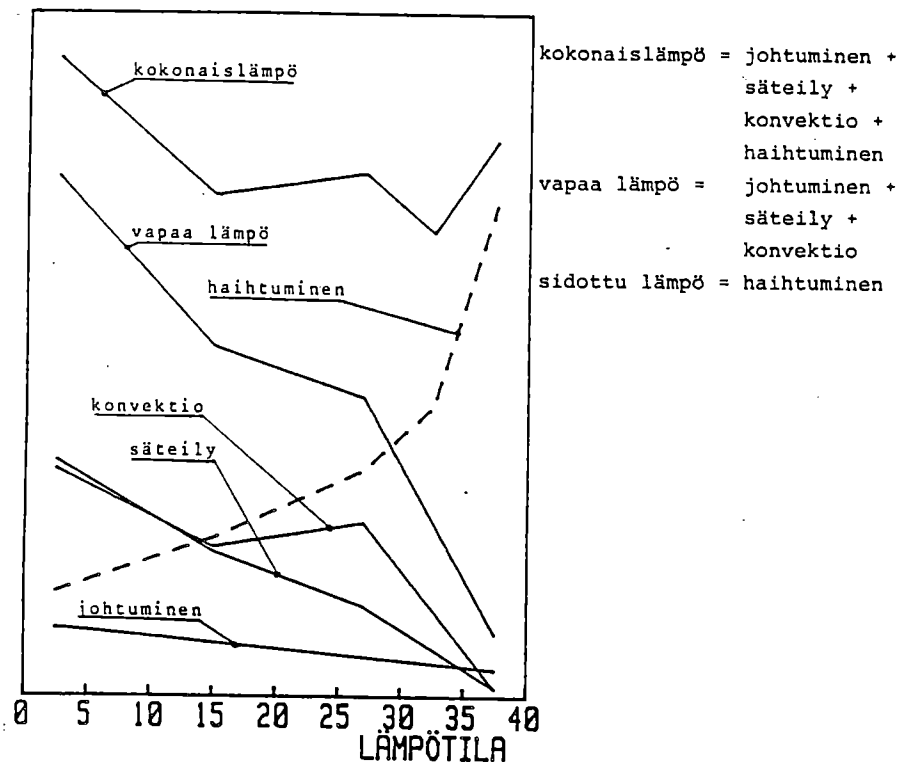
$$\text{konvektio} \quad \emptyset = k_k A v^n (t_1 - t_s) \quad (6)$$

$$\text{haihtuminen} \quad \emptyset = k_h A v^n (p_1 - p_s) \quad (7)$$

jossa	\emptyset	lämpövirta, W
	δ	Stefan Boltzmannin vakio
	ε	säteilykerroin
	A	eläimen pinta-ala, m ²
	T ₁	eläimen pintalämpötila, K
	T ₂	rakennuksen vaipan sisäpinnan keskimääräinen lämpötila (käytännössä erittäin vaikea määrittää), K
	t ₁	eläimen pintalämpötila, °C
	t _s	sisäilman lämpötila, °C
	k _k	lämmönsiirtymiskerroin konvektiossa
	k ₁	lämmönsiirtymiskerroin johtumisessa
	k _h	lämmönsiirtymiskerroin haihtumisessa
	v	ilman virtausnopeus eläimen läheisyydessä, m/s
	p ₁	vesihöyryn osapaine eläimen pinnalla, Pa
	p _s	vesihöyryn osapaine ilmassa, Pa
	n	vakio (noin 0.5)

Edellämainittua yleisemmin käytetty ja ilmanvaihdon kannalta kiinnostavampi tapa jakaa eläimen lämmönluovutus on jakaa se vapaaseen ja sidottuun eli latenttiin lämmönluovutukseen. Vapaalla lämmöllä tarkoitetaan säteilyn, johtumisen ja konvektion yhteenlaskettua osuutta ja sidotulla lämmöllä haihtumisen osuutta eläimen luovuttamasta kokonaislämpöenergiasta. Kuvasta 7 voidaan nähdä, että sisälämpötilan kasvaessa sidotun lämmön osuus kasvaa. Sisälämpötilan kohoaminen pienentää lämpötilaerosta riippuvaa vapaan lämmön luovutusta. Koska aineenvaihdun-

ta tuottaa lämpötilasta riippumatta (termisen neutraliteetin alueella) saman lämpövirran täytyy sidotun lämmön osuuden kasvaa. Tämä tapahtuu hengitysnopeutta kasvattamalla ja hikoilemalla tai kostuttamalla ihon pintaa jollakin tavalla. Hengityksen nopeutuminen lisää keuhkojen pinnalta haihtuvan veden määrää ja samalla vesihöyryyn sitoutuvaa lämpöä. On todettu, että esimerkiksi lehmän hengitysnopeus kaksikertaistuu lämpötilan noustessa 20°C:sta 30°C:een /2/.



Kuva 7. 23 kg:n painoisen sian lämmönluovutuksen jakautuminen sikalan sisälämpötilan funktiona /11/

4.2

Ilmanvaihdon mukana poistuva lämpövirta

Ilmanvaihdon mukana rakennuksesta poistuu osa vapaasta lämmöstä ja sidottu lämpö kokonaan. Lämmönkulutuksen suuruus voidaan laskea kun tiedetään ulko- ja sisäilman lämpötila ja suhteellinen kosteus sekä ilmanvaihdon määrä. Energiankulutus voidaan laskea kaavan (8) avulla:

$$\dot{\varnothing}_i = \frac{\rho_s \dot{V}}{3.6} (h_s - h_u) \quad (8)$$

jossa	$\dot{\varnothing}_i$	ilmanvaihdon mukana menevä lämpö, W
	ρ_s	ilman tiheys sisäilman lämpötilassa, kg kuivaa ilmaa/m ³
	\dot{V}	ilmavirran suuruus sisäilman lämpötilassa, m ³ /h
	h_s	sisäilman entalpia (lämpösisältö), kJ/kg kuivaa ilmaa
	h_u	ulkoilman entalpia, kJ/kg kuivaa ilmaa

4.3 Rakenteiden läpi johtuva lämpö

Jos sisä- ja ulkoilman välillä on lämpötilaero siirtyy lämpö rakennuksen vaipan läpi lämpimämmästä tilasta kylmempään. Siirtyvän lämpövirran suuruus riippuu rakennuksen vaipan eristyskyvystä sekä sisä- ja ulkoilman lämpötilaerosta. Rakenteen lämmöneristyskyvystä puhuttaessa käytetään usein termiä lämmönläpäisykerroin. Siitä käytetään myös nimitystä k-arvo, joka tulee lämmönläpäisykerroimen käytetystä kirjainsymbolista. SI-järjestelmän yksiköissä esitettynä k-arvo ilmoittaa sen, kuinka monta wattia lämpöä virtaa rakenteen läpi neliömetrin alalta Celsiusastetta kohden. SI-järjestelmässä k-arvon yksikkönä on siis W/m²°C.

Rakenneosan lämpöhäviö voidaan laskea kaavan (9) avulla.

$$\dot{\varnothing} = kA (t_s - t_u) \quad (9)$$

jossa	$\dot{\varnothing}$	lämpövirta, (W)
	k	lämmöneristyskerroin (k-arvo), (W/m ² °C)
	A	rakenneosan pinta-ala, (m ²)
	t_s	sisälämpötila, °C
	t_u	ulkolämpötila, °C

Alapohjan lämpöhäviö lasketaan muista rakenneosista poiketen kokemusperäisesti, koska laskeminen muuten olisi varsin hankalaa. Lämpöhäviö saadaan kaavasta (10)

$$\dot{Q} = qA \quad (10)$$

jossa	\dot{Q}	lämpövirta	W
	q	lämpövirran tiheys	W/m ²
	A	alapohjan pinta-ala	m ²

Taulukkoon 2 on laskettu rakenneosien lämpöhäviöt muutamille esimerkkitapauksille. Mitoituslämpötiloina on käytetty $t_s = 12^\circ\text{C}$ ja $t_u = -20^\circ\text{C}$. Rakennuksen sisäkorkeutena on käytetty kolmea metriä ja sen pohja on oletettu neliömuotoiseksi. Rakenteet on eristetty seuraavia k-arvoja vastaavasti

seinät	$k = 0,40 \text{ W/m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$	(vastaa noin 100 mm mineraalivillaa)
yläpohja	$k = 0,30 \text{ W/m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$	(vastaa noin 150 mm mineraalivillaa)
aukot	$k = 3,0 \text{ W/m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$	(ikkunat, ulko-ovet)

Alapohjan lämpöhäviöt on laskettu käyttäen kokemusperäisiä lämpövirran tiheyden arvoja

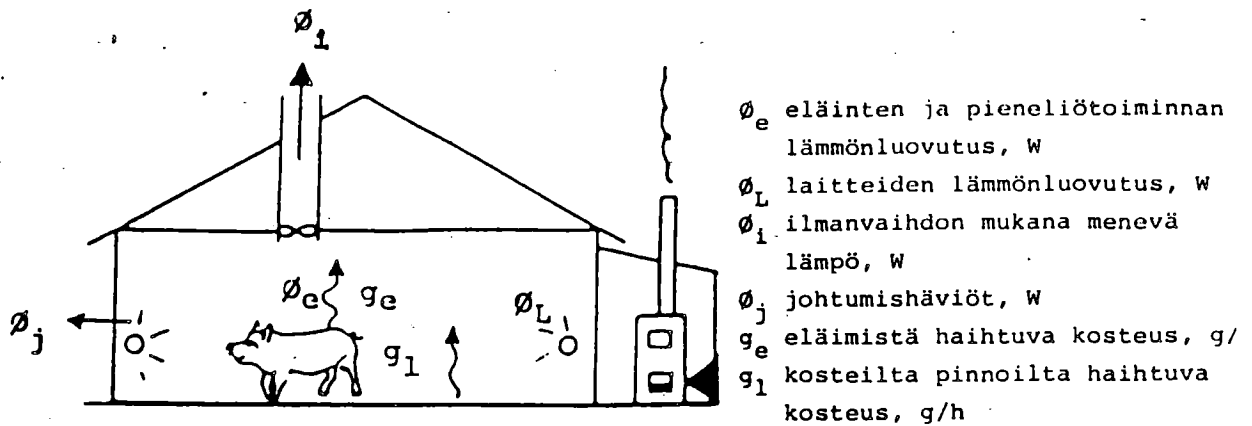
Pohjan pinta-ala	50 m ²	q = 13 W/m ²
	100 m ²	q = 10 W/m ²
	200 m ²	q = 7 W/m ²
	300 m ²	q = 6 W/m ²

Taulukko 2. Rakenteiden lämpöhäviöt

A m ²	A _a m ²	φ _s W	φ ₁ W	φ _y W	φ _a W	φ _j W
50	2,5	1054	650	480	240	2424
100	5	1472	1000	960	480	3912
200	10	2044	1400	1920	1440	6324
300	15	2468	1800	2880	1440	8588
50	5	1022	650	480	480	2632
100	10	1408	1000	960	960	4328
200	20	1916	1400	1920	1920	7156
300	30	2276	1800	2880	2880	9836
50	10	958	650	480	960	3048
100	20	1280	1000	960	1920	5160
200	40	1660	1400	1920	3840	8820
300	60	1892	1800	2880	5760	12332

jossa A pohjan pinta-ala, m²
A_a aukkojen pinta-ala, m²
φ_s lämpövirta seinien läpi, W
φ₁ lämpövirta alapohjan läpi, W
φ_y lämpövirta yläpohjan läpi, W
φ_a lämpövirta aukkojen läpi, W
φ_j φ_s + φ₁ + φ_y + φ_a, W

Lämpötasapaino



Kuva 8. Eläinsuojan lämpötasapaino

Eläinsuoja muodostaa kuvan 8 mukaisen energiasysteemin. Rakennuksen sisällä kehittyy lämpöä eläinten aineenvaihdunnasta, lannassa tapahtuvan pieneliötoiminnan ansiosta sekä lämpöä tuottavista laitteista, kuten esim. valaisimet ja lämmityspatterit. Vastaavasti lämpöä virtaa pois rakennuksesta ilmanvaihdon mukana ja rakenteiden lämpövuotoina. Jatkuvuustilassa täytyy lämmönkehityksen olla yhtä suuri kuin rakennuksesta poistuvan lämpövirran. Valittava lämpötasapaino voidaan esittää yhtälön (11) muodossa

$$\phi_e + \phi_L = \phi_j + \phi_i \quad (11)$$

jossa ϕ_e eläinten ja lannassa tapahtuvasta pieneliötoiminnasta aiheutuva lämmönluovutus, W
 ϕ_L laitteiden lämmönluovutus, W
 ϕ_j lämpövirta rakenteiden läpi, W
 ϕ_i ilmanvaihdon mukana poistuva lämpö, W

Jos yhtälön (11) tasapainotilassa tapahtuu häiriö esimerkiksi siten, että lämpöhäviö tulee suuremmaksi kuin lämmönkehitys, alkaa sisälämpötila laskea. Sisälämpötilan laskiessa lämpöhäviöt pienenevät, joten uusi tasapainotila saavutetaan muutosvaiheen jälkeen. Muutosvaiheessa vapautuu myös rakenteisiin varautunutta lämpöä.

4.5 **Tasapainolämpötila**

Lämpötasapainosta puhuttaessa tulee usein esiin käsite tasapainolämpötila. Sillä tarkoitetaan alinta ulkolämpötilaa jossa rakennuksen sisälämpötila pysyy alimman sallitun lämpötilan yläpuolella ilman lisälämmitystä. Tasapainolämpötilan avulla voidaan siis tehdä johtopäätöksiä vuotuisesta lämmitysenergiatarpeesta ja siitä kuinka kauan lisälämmitystä yleensä tarvitaan. Esimerkiksi kuvassa 4 tasapainolämpötila on noin t_1 .

5. **Ilmanvaihdon soveltamisesimerkkejä erilaisissa karja-rakennuksissa**

5.1 **Lihotussikala**

5.1.1 **Optimilämpötila ja -kosteus**

Kirjallisuudessa esiintyy varsin runsaasti tietoja siitä, millaiset olosuhteet sopivat parhaiten lihotussikalle ja antavat parhaat kasvutulokset. Seuraavassa on esitetty muutamia ilman lämpötilan ja suhteellisen kosteuden optimi- ja mitoitusarvoja.

Saksalainen tutkija W.H. Petersen /15/ esittää, että ihanteellinen ilman lämpötila ja suhteellinen kosteus nuorille lihotussioille on 19°C ja 71%, vastaavien lukujen ollessa lähellä teurastusikää oleville lihotussioille 17°C ja 76%.

Mothesin mukaan /1/ alle 70 kg painoiset siat menestyvät parhaiten, kun sikalan lämpötila pysyy alueella $18...20^{\circ}\text{C}$ ja sitä suuremmat kun lämpötila on $15...22^{\circ}\text{C}$. Lämpötilat $15...17^{\circ}\text{C}$ edellyttävät kuivikkeen käyttöä. Samassa lähteessä sanotaan, että ilman suhteellisen kosteuden tulee olla 60...80%.

Lähteen /9/ mukaiset lihotussikalassa sallittavat suurimmat ja pienimmät lämpötilat on esitetty taulukossa 3. Ilman suhteellisen kosteuden tulee lähteen mukaan olla 60...90%. Liian kuiva ilma kuivattaa sikojen nahan ja hikirauhaset sekä kohottaa ilman pölypitoisuutta. Liian korkea ilman suhteellinen kosteus vastaavasti vaikeuttaa sikojen lämmönluovutusta korkeissa lämpötiloissa.

Taulukko 3. Lihotussikalalan ohjelämpötila

m kg	Lattiatyyppi							
	kuivike		betoni		reikälevy rakolattia			
	t_m °C	t_M °C	t_m °C	t_M °C	t_m °C	t_M °C	t_m °C	t_M °C
20	15	23	16	24	19	26	19	25
30	13	23	14	24	18	25	17	25
90	11	22	12	23	17	25	15	25

jossa m sian massa, kg
 t_m alin sallittu lämpötila, °C
 t_M ylin sallittu lämpötila, °C

Tanskalaiset Pedersen ja Petersen /16/ päätyivät suorittamissaan kokeissa sellaiseen tulokseen, että 20...90 kg painoisien sikojen kasvunopeus ja rehunkäyttöhyötysuhde eivät merkittävästi muutu lämpötilan muuttuessa välillä 12...20°C. Tutkijoiden mukaan em. lämpötila-alueen alapäässä täytyy ainakin kasvun alkuvaiheessa käyttää kuivikkeita.

Bond, Kelly ja Heitman /17/ esittävät, että noin 45 kg painoinen lihotussika kasvaa nopeimmin, kun lämpötila on 23°C ja noin 90 kg painoinen eläin, kun lämpötila on 21°C.

Hazenin ja Mangoldin mukaan /18/ lihotussian rehunkulutus lisäkasvukiloa kohti on pienimmillään lämpötila-alueella 16...21°C, kun eläimet painavat 25...90 kg.

Lähteessä /19/ suositellaan eläinsuojan lämpötilaksi sikojen kasvun alkuvaiheessa 23°C. Eläinten kasvaessa lämpötila saa laskea siten, että loppulämpötila on 16°C. Standardissa TGL 29084 /20/ optimaalinen lämpötila-alue painoluokassa 35...70 kg on 18...25°C ja painoluokassa 70...140 kg se on 16...25°C.

Standardin DIN 18910 mukaan /21/ ilman suhteellisen kosteuden optimialue on 60...80%. Optimilämpötila on sikojen painosta riippuvainen siten, että lämpötila laskee 18°C:sta 15°C:een eläinten kasvaessa.

Lähteessä /22/ ilmoitetaan suositeltavaksi lihotussikalan lämpötilaksi 21°C sikojen ollessa pieniä. Sikojen kasvaessa lämpötilaa on laskettava vähitellen 16°C:een. Ilman suhteellisen kosteuden tulisi lähteen /22/ mukaan olla välillä 60...80%.

Lähteessä /23/ ilmanvaihdon mitoituksessa käytetään seuraavia lämpötiloja ja suhteellisen kosteuden arvoja:

m = 30 kg	(talvi)	$t_s = 17^\circ\text{C}$; $\varphi_s = 73\%$
	(kesä)	$t_s = 30^\circ\text{C}$	
m = 40 kg	(talvi)	$t_s = 15^\circ\text{C}$; $\varphi_s = 75\%$
	(kesä)	$t_s = 30^\circ\text{C}$	
m = 60 kg	(talvi)	$t_s = 13^\circ\text{C}$; $\varphi_s = 77\%$
	(kesä)	$t_s = 30^\circ\text{C}$	

Amerikkalaisen ilmanvaihdon suunnitteluoohjeen ASAE D 270.4 /11/ mukaan lämpötilalla, joka on välillä 10...24°C ei ole vaikutusta sikojen kasvuun.

Sveitsiläinen Rist esittää /25/ lihotussikalan optimiolosuhteiksi seuraavia eläinten painosta riippuvia arvoja:

m = 20 kg	$t_s = 22^\circ\text{C}$; $\varphi_s = 80\%$
m = 30 kg	$t_s = 18^\circ\text{C}$; $\varphi_s = 80\%$
m = 40 kg	$t_s = 17^\circ\text{C}$; $\varphi_s = 80\%$
m = 60...80 kg	$t_s = 15^\circ\text{C}$; $\varphi_s = 80\%$

Standardissa BS 5502:Section 2.2 /26/ eläinsuojien lämpötilat määritellään alimman ja ylimmän sallitun lämpötilan avulla. Em. arvot on esitetty taulukossa 4.

Taulukko 4. Lihotussikalan ohjelämpötila

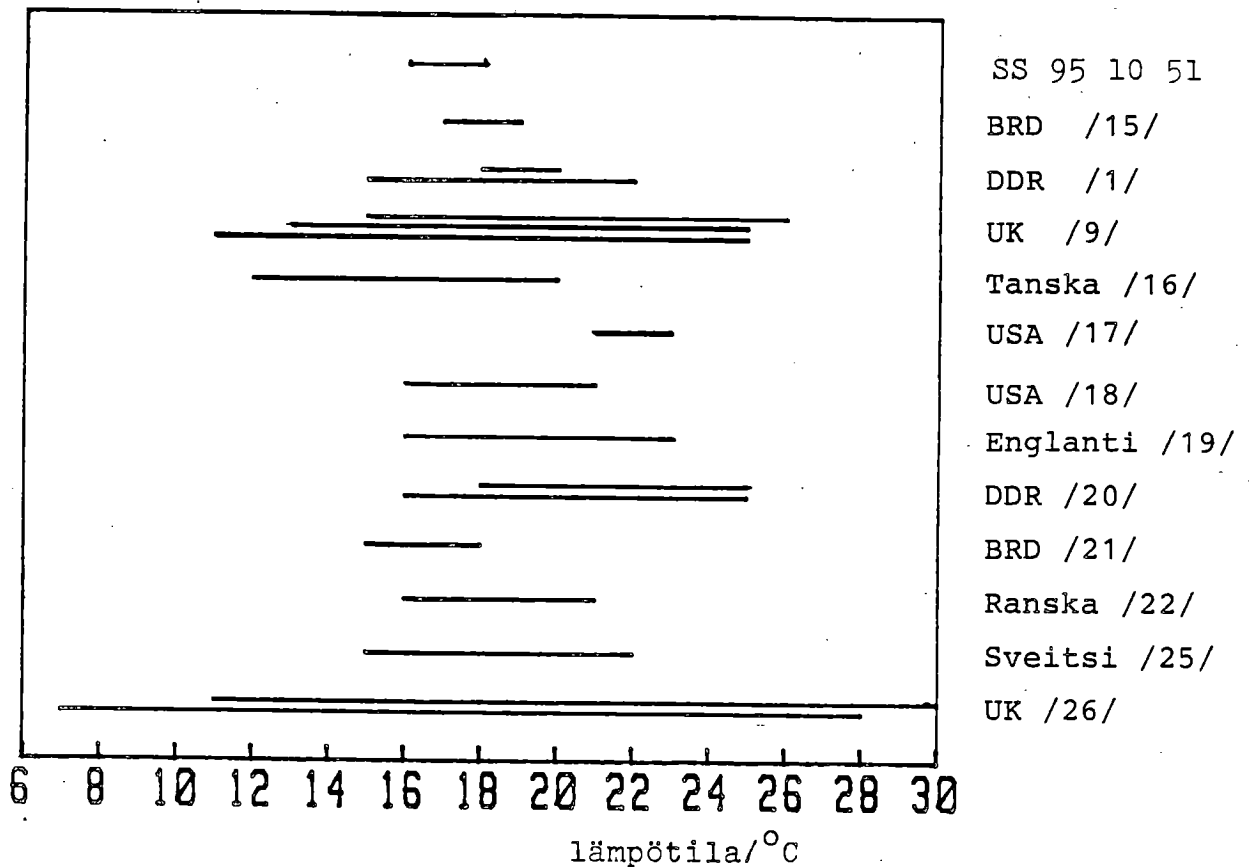
m kg	Ruokinta taso	Lattiatyyppi	Lämpötila		v _M m/s
			t _m °C	t _M °C	
20	3Y	betoni	18	30	0
20	3Y	rei'it.metalli	16	28	0
20	3Y	betoni+kuivike	11	25	0
40	3Y	betoni rakolat.	12	27	0.25
40	3Y	betoni	14	28	0.25
40	3Y	rei'it.metalli	15	28	0.25
40	3Y	betoni+kuivike	7	25	0.25
60	3Y	betoni rakolat.	10	26	0.25
60	3Y	betoni	12	27	0.25
60	3Y	rei'it.metalli	14	28	0.25
60	3Y	betoni+kuivike	7	25	0.25
80	2.5Y	betoni rakolat.	12	28	0.25
80	2.5Y	betoni	14	28	0.25
80	2.5Y	betoni+kuivike	9	27	0.25
100	2.5Y	betoni rakolat.	11	28	0.25
100	2.5Y	betoni	13	28	0.25
100	2.5Y	betoni+kuivike	8	27	0.25

jossa Y ylläpitoruokintataso
t_m alin sallittu lämpötila, °C
t_M ylin sallittu lämpötila, °C
v_M suurin sallittu ilman virtausnopeus
sikojen oleskeluvyöhykkeellä, m/s

Standardissa SS 95 10 51 /24/ käytetään lihotussikalan mitoitustilana alle 50 kg painoisille sioille lämpötilää 18 °C ja sitä suuremmille lämpötilaa 16°C. Ilman suhteellisen kosteuden mitoitusarvona käytetään 80% ja maksimi-ilmanvaihdon mitoitustilana 25°C kaikissa painoluokissa.

Kun vertaillaan edellä esitettyjä lämpötilan optimiarvoja toisiinsa voidaan todeta, että ruotsalaisessa SS 95 10 51 ilmanvaihdon mitoitustandardissa /24/ käytetyt mitoitusarvot sijoittuvat hyvin eri lähteissä esitetyille optimilämpötila-alueilla. Vertailun helpottamiseksi kuvaan 9 on piirretty eri lähteissä esiintyvät optimilämpötila-alueet.

Kuva 9. Eri lähteistä saatuja optimilämpötilan arvoja



Koska standardin SS 95 10 51 mitoituslämpötilat sijoittuvat hyvin optimilämpötila-alueelle ei liene syytä poiketa ilmanvaihtoa mitoitettaessa näistä arvoista. Seuraavissa laskelmissa käytetään siis seuraavia mitoitusarvoja.

minimi-ilmanvaihto $\varphi_s = 80\%$
 $t_s = 18^\circ\text{C}$ kun $m < 50$ kg
 $t_s = 16^\circ\text{C}$ kun $m > 50$ kg

maksimi-ilmanvaihto $t_s = 25^\circ\text{C}$

5.1.2 Lihotussikojen lämmönluovutus ja sikalassa syntyvä vesihöyry

Sikojen lämmönluovutuksesta ja sikalassa syntyvästä vesihöyrystä esitetään tietoja muunmuassa seuraavissa lähteissä: Mothes /1/, TGL 29084 /20/, DIN 18910 /21/, AGRI/MECH Report No. 73 /22/, /23/, SS 95 10 50 /27/, ASAE D 270.4 /11/, Rist /25/ ja Strøm /28/. Lukuarvot on esitetty taulukossa 5. Lukuarvoissa on mukana eläinsuojassa olevien koneiden ja laitteiden lämmönluovutusta lukuunottamatta kaikki lämpö ja vesihöyry mitä sikalassa syntyy. Eri lähteissä esitetyt tiedot on redusoitu kaavoja (12) ja (13) apuna käyttäen edellä valittuja mitoituslämpötiloja vastaaviksi /28/.

$$f_t = 4 \cdot 10^{-5} \cdot (25 - t_s)^3 + 1 \quad (12)$$

$$F = 0.8 - 1.85 \cdot 10^{-7} (t_s + 10)^4 \quad (13)$$

joissa f_t lämmönluovutuksen lämpötilakorjauskerroin
 F vapaan lämmön suhteellinen osuus kokonaislämmönluovutuksesta

Lämmönluovutuksen ja vesihöyrykehityksen lämpötilakorjaus on suoritettu kaavoilla (14) ja (15)

$$\varnothing_e = \frac{f_t}{f_{to}} \varnothing_{eo} \quad (14)$$

$$g_s = \frac{1 - F}{1 - F_o} \frac{f_t}{f_{to}} g_{so} \quad (15)$$

joissa alaviitta o tarkoittaa sitä, että ko. lukuarvo vastaa alkuperäistä lämpötilaa.

Lähteiden /23/ ja /28/ lämmönluovutus- ja kosteudenkehitysluvut ovat yhtäläiset, joten niitä ei ole esitetty erikseen taulukossa 5.

Taulukko 5. Tietoja lihotussikojen lämmönluovutuksesta ja sikalassa syntyvästä vesihöyrystä.

m kg	t _s °C	Kirjallisuusviitteen numero															
		/1/		/20/		/21/		/22/ ⁽¹⁾		/11/		/27/		/25/		/23/ ja /28/	
		ϕ _e W	g _s g/h	ϕ _e W	g _s g/h	ϕ _e W	g _s g/h	ϕ _e W	g _s g/h	ϕ _e W	g _s g/h	ϕ _e W	g _s g/h	ϕ _e W	g _s g/h	ϕ _e W	g _s g/h
30	18	109	55	-	-	86	46	112	70	113	75	124	65	90	36	126	58
40	18	138	75	145	56	102	52	-	-	126	82	-	-	112	50	150	69
50	16	151	85	-	-	122	53	-	-	142	82	176	75	-	-	175	73
60	16	160	90	194	54	139	59	174	110	155	88	-	-	151	65	194	81
70	16	169	95	-	-	154	65	-	-	167	93	213	100	-	-	212	89
80	16	184	100	221	74	168	71	-	-	178	98	-	-	188	81	229	96
90	16	199	105	-	-	182	77	221	145	190	103	243	115	-	-	245	103

1) lämpötilasta ei ole minkäänlaista mainintaa, joten lukuarvoja ei ole korjattu.

Taulukossa 5 esitettyjen tietojen lisäksi kirjallisuudessa esiintyy muutamia muitakin tietoja sikojen lämmönluovutuksesta ja sikalassa syntyvästä vesihöyrystä.

Pedersen ja Møller /29/ ovat tutkineet käytännön olosuhteissa Strømin /28/ esittämien lukuarvojen paikkansapitävyyttä. Heidän mukaansa vesihöyrynmuodostus on talviaikaan rakolattiasikalassa 22% ja betonilattiasikalassa 26% Strømin esittämiä arvoja suurempi. Kesäaikaan vesihöyrynmuodostus oli 9% suurempi kuin em. lähteessä. Mittausten aikana käytettiin rakolattiasikalassa minimaalisia kuivikemääriä ja betonilattiasikalassa kuiviketta käytettiin noin 200 g/d sikaa kohden.

Randall /30/ on myös tutkinut lihotussikalassa tapahtuvaa vesihöyrynmuodostusta. Sikalassa, jossa sikojen keskipaino oli n. 65 kg, oli vesihöyrynmuodostus sikaa kohden keskimäärin 133 g/h. Sikalassa oli osarakolattia (rakolattian osuus 25%) eikä kuiviketta ilmeisesti käytetty. Sisälämpötila oli välillä 17.4...20.6°C ja ilman suhteellinen kosteus noin 73%. Ilman virtausnopeus sikojen oleskeluvyöhykkeellä oli suurehko ($v = 0.47$ m/s), mikä osaltaan vaikuttaa veden haihtumista lisäävästi.

Bieber /31/ tutki väitöskirjaansa varten hiilidioksidin ja vesihöyrynmuodostusta kuivikkeettomassa sikalassa. Sikojen paino oli keskimäärin 40 kg ja vesihöyrynmuodostuksen vuorokautinen keskiarvo 72 g/h. Sikalassa oli osarakolattia, joka huuhdeltiin kylmällä vedellä kaksi kertaa päivässä. Sisälämpötila vaihteli välillä 19.6...22.8°C. Bieberin mielestä sikalassa tapahtuva vesihöyrynmuodostus on 50% suurempi kuin DIN 18910:n ilmoittama jos lantakäytävä huuhdotaan päivittäin ja 20...30% suurempi jos huuhdonta ei suoriteta.

Hilligerin kokeissa /34/ 60 kg painoisten lihotussikojen lämmönluovutus oli 12% ja sikalassa tapahtuva vesihöyrynmuodostus 36% suurempi kuin vastaavat arvot standardissa DIN 18910. Sikalan keskimääräinen lämpötila mitausten aikana oli 17.4°C. Siinä oli osarakolattia (rakolattian osuus n. 38%) eikä kuiviketta käytetty.

Strømin /28/ laskukaavat perustuvat kirjallisuustutkimukseen, jossa hän on erityisesti painottanut tanskalaisiin olosuhteisiin soveltuvia kirjallisuustietoja. Tätä samaa tutkimusta on käytetty pohjana ruotsalaisia standardeja SS 95 10 50 ja SS 95 10 51 laadittaessa sekä CIGR:n ilmastoinnin työryhmän normiehdotuksessa. Koska Pedersenin ja Møllerin suorittamissa käytännön mitauksissa Strømin /28/ tiedot pitivät varsin hyvin paikkansa ja koska CIGR:n ja SIS:n asiantuntijat ovat hyväksyneet em. tulokset pohjaksi omille mitoitusohjeilleen voidaan niitä käyttää lämmönluovutus- ja vesihöyrynmuodostuslaskelmissa pohjana. Lisäksi on tietenkin huomiotava Pedersenin ja Møllerin /29/ esittämät korjaukset. Strømin esittämät kaavat (16) ja (17) ilmoittavat eläimen lämmönluovutuksen ja sidotun lämmön suhteellisen osuuden kokonaislämmönkulutuksesta /28/.

$$\emptyset = (29 (m+2)^{0.5} - 40) t \quad (16)$$

$$L = 0.2 + 1,85 \cdot 10^{-7} (t_s + 10)^4 \quad (17)$$

joissa \emptyset_e eläimen lämmönluovutus, W
m eläimen massa, kg
 t_s sisälämpötila, °C
L sidotun lämmön suhteellinen osuus
 f_t lämpötilakorjauskerroin, kaava (12)

Koska käytännön olosuhteissa on todettu sidotun lämmön osuuden olevan kaavan (17) ilmoittamaa suurempi täytyy kaavaa korjata. Pedersenin ja Møllerin /29/ sekä Sällvikin /32/ korjaus on suoritettu kertomalla kaavan (17) antama tulos korjauskertoimella, joka on lämpötilasta riippuvainen. Parempi olisi jos voitaisiin käyttää lämpötilasta riippumatonta korjaustermiä. Jos kaavaa (17) muutetaan niin, että vakion 0.2 tilalle laitetaan 0.25 saadaan uusi kaava (18), joka verrattain hyvin vastaa Pedersenin, Møllerin ja Sällvikin esittämiä tietoja.

$$L = 0.25 + 1,85 \cdot 10^{-7} (t_s + 10)^4 \quad (18)$$

Kun sidotun lämmön osuus tunnetaan, voidaan vesihöyrynmuodostus laskea sen avulla. Kilogramma vettä sitoo höyrystyessään noin 2500 kJ. Rakennuksessa tapahtuva vesihöyrynmuodostus saadaan siis kaavasta (19)

$$g_s = 1.44 L \varnothing_e \quad (19)$$

jossa g_s vesihöyrynmuodostus, g/h

Käyttämällä kaavoja (16), (18), (19) ja (2) saadaan lihotussikojen lämmönluovutukseksi, vesihöyrynmuodostukseksi ja vesihöyrynpoistoon perustuvaksi minimi-ilmanvaihdoksi mitoitusolosuhteissa taulukkoon 6 seuraavat arvot. Ulkoilman mitoituslämpötila on -20°C ja suhteellinen kosteus 90%.

Taulukko 6. Lihotussikojen lämmönluovutus sekä sikalassa muodostuva vesihöyry ja sen poistamiseksi tarvittava ilmavirta

m kg	t_s $^{\circ}\text{C}$	Ψ_s %	\varnothing_e W	g_s g/h	V_2 m^3/h
30	18	80	127	67	5.8
40	18	80	152	80	6.9
50	16	80	176	85	8.3
60	16	80	196	95	9.3
70	16	80	215	104	10.2
80	16	80	232	111	10.9
90	16	80	248	120	11.8

jossa t_s sisälämpötila, $^{\circ}\text{C}$
 Ψ_s ilman suhteellinen kosteus, %
 \varnothing_e eläimen lämmönluovutus, W
 g_s vesihöyrynmuodostus eläintä kohti, g/h
 V_2 ilmavirta, m^3/h

5.1.3 Hiilidioksidinmuodostus lihotussikalassa

Hiilidioksidin muodostumista lihotussikalassa käsittelevät mm. TGL 29084 /20/, DIN 18910 /21/, /23/, Rist /25/ ja /33/. Hiilidioksidin muodostumisnopeuden lukuarvoja on esitetty taulukossa 7.

Taulukko 7. Tietoja hiilidioksidin muodostumisesta lihotussikalassa

m kg	Kirjallisuusviitteen numero				
	/20/	/21/	/23/	/25/	/33/
	K l/h	K l/h	K l/h	K l/h	K l/h
30	-	13	21	14	22
40	25	16	25	18	-
50	-	19	29	-	-
60	34	22	32	25	40
70	-	24	35	-	-
80	41	27	38	31	-
90	-	30	41	-	48

Edellä olevan lisäksi Bieber /31/ mittasi lihotussikalassa, jossa eläinten keskipaino oli noin 40 kg, hiilidioksidinkehitykseksi sikaa kohden noin 21 l/h.

Hilliger /34/ mittasi 60 kg painoisten sikojen hiilidioksidinmuodostuksen ja sai 53% suurempia arvoja kuin DIN 18910 standardissa ilmoitetaan.

Kuten taulukosta 7 voidaan nähdä eri lähteistä saadut lukuarvot poikkeavat varsin paljon toisistaan. Jos verrataan eri lähteistä saatujen tietojen perusteella lasketua lämmönluovutuksen suhdetta hiilidioksidinmuodostukseen, voidaan havaita, että näiden kahden arvon välillä on olemassa tietynlainen riippuvuus. Taulukossa 7 esitettyjen lukuarvojen perusteella arvioiden voidaan tämän suhteen todeta vaihtelevan välillä 15...18,4 l/(h 100 W)

Koska ilmeinen riippuvuussuhde on olemassa on johdonmukaisuuden vuoksi hyvä valita hiilidioksidin poistamiseksi tarvittavan ilmanvaihdon mitoitusperustaksi CIGR:n ilmastointityöryhmän normiehdotuksessa /23/ olevat hiilidioksidinmuodostumisluvut. Tätä tukevat myös Bieberin /31/ ja Sällvikin /33/ tutkimukset.

Suomessa ei ole määritelty eläinsuojia koskevia hiilidioksidin enimmäispitoisuusarvoja. Koska muunmuassa DDR:ssä, Itävallassa, Tanskassa, Länsi-Saksassa ja Sveitsissä on käytössä enimmäispitoisuusarvo 3.5 l/m^3 , voitaneen se hyvällä syyllä ottaa käyttöön myös meillä. Taulukossa 8 on esitetty hiilidioksidin poistamiseksi tarvittava minimi-ilmanvaihto, joka on laskettu kaavan (3) avulla.

Taulukko 8. Hiilidioksinmuodostus lihotussikalassa ja sen poistamiseksi tarvittava ilmavirta

m kg	K l/h	\dot{V}_3 m^3/h
30	21	6.6
40	25	7.8
50	29	9.1
60	32	10.0
70	35	10.9
80	38	11.9
90	41	12.8

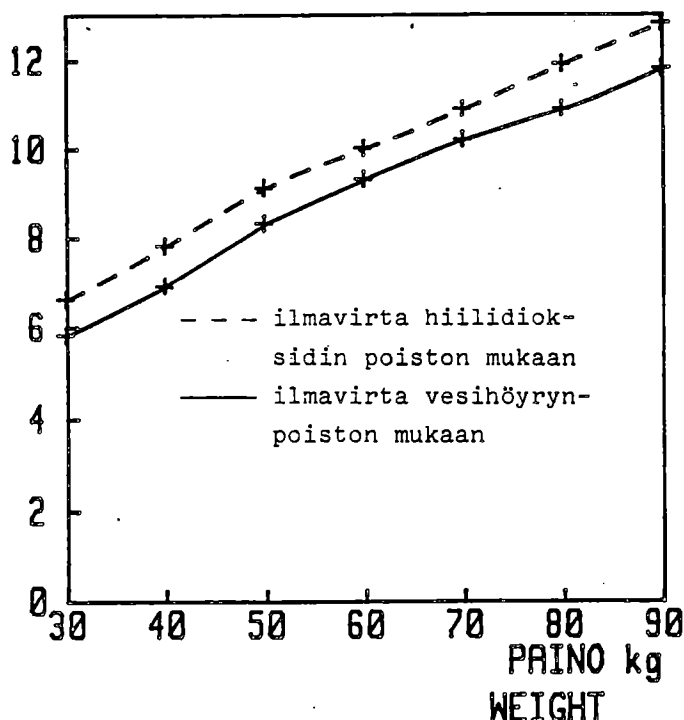
jossa K hiilidioksidinmuodostus eläintä kohti, l/h
 \dot{V}_3 ilmavirta, m^3/h

5.1.4 Lihotussikojen maksimi-ilmanvaihtotarve

Kuten aikaisemmin todettiin perustuu maksimi-ilmanvaihtotarve liikalämmön poistamiseen. Vaikka sisäilman lämpötilan annetaan nousta huomattavasti minimi-ilmanvaihdon olosuhteita korkeammaksi on maksimi-ilmanvaihto moninkertainen minimi-ilmanvaihtoon verrattuna. Maatilahallituksen rakentamisohjeen mukaan korkein sallittu lämpötila lihotussikalassa on 25°C. Samaa lämpötilaa käytetään SS 95 10 51:n /24/ mitoitusarvona ja TGL 29084:n /20/ optimilämpötila-alueen ylärajana.

Taulukossa 9 esitetään sikojen lämmönluovutuksen ja sikalan vesihöyrynmuodostumisen lukuarvot. Maksimi-ilmanvaihtoa laskettaessa sisäilman lämpötilaksi on otettu 25°C. Lukuarvot on laskettu kaavojen (16), (18) ja (19) avulla. Samaan taulukkoon on lisäksi laskettu kaavaa (1) käyttäen maksimi-ilmanvaihdon suuruus ulkoilman lämpötilan ollessa 20°C, 21°C ja 22°C.

ILMAVIRTA m³/h /SIKA
AIRFLOW



Kuva 10. Lihotussikalan ilmanvaihtotarve

Taulukko 9. Liikalämmön poistamiseksi tarvittava ilmanvaihto

m kg	t_s °C	ϕ_e W	ϕ_s W	g_s g/h	$t_s - t_u / ^\circ\text{C}$		
					3	4	5
					\dot{V}_3 m ³ /h	\dot{V}_3 m ³ /h	\dot{V}_3 m ³ /h
30	25	124	59	94	60	45	36
40	25	148	70	112	71	54	43
50	25	169	80	128	82	61	49
60	25	188	89	143	91	68	54
70	25	206	97	157	99	74	59
80	25	223	105	169	107	80	64
90	25	238	113	181	115	86	69

jossa t_s sisälämpötila, °C
 t_u ulkolämpötila, °C
 ϕ_e eläimen lämmönluovutus, W
 ϕ_s eläimen vapaanlämmönluovutus, W
 g_s vesihöyryn muodostuminen sikalassa eläintä kohti, g/h
 \dot{V}_3 ilmavirta, m³/h

5.2 Porsitussikalat

Porsitussikalassa on karjuja, joutilaita ja imettäviä emakoita, imeväisikäisiä porsaita ja vierotettuja porsaita. Sikala voi olla jaettu erilaisiin osastoihin siten, että karjut ja joutilaat emakot, imettävät emakot porsainneen sekä vierotetut porsaat ovat erillisissä osastoissa. Jokaisella näistä osastoista on erilaiset vaatimukset.

5.2.1 Optimilämpötila ja -kosteus

Seuraavassa on koottu joukko eri lähteistä saatuja tietoja porsitussikalalan sopivista olosuhteista. Maatilahallituksen rakentamisohjeissa on optimilämpötila-alueiksi joutilaille ja imettäville emakoille ilmoitettu 10...15°C. Porsaille sopiva lämpötila-alue on saman ohjeen mukaan 18...22 °C.

Petersen /15/ esittää nuorille, joutilaille ja kantaville emakoille optimilämpötilaksi 12°C ja suhteellisen kosteuden optimiksi 77%. Vastaavat arvot imettäville emakoille ovat 14°C ja 76%.

Mothesin /1/ mukaan nuorille ja joutilaille emakoille sopiva lämpötila on 15...20°C sekä imettäville emakoille ja vieroitetuille porsaille 20°C. Suhteellisen kosteuden tulee pysyä alueella 60...80%.

Lähteessä /9/ on porsitussikalalan optimilämpötilat esitetty alimpien ja ylimpien sallittujen lämpötilojen avulla. Nämä arvot on esitetty taulukossa 10.

ASAE D 270.4 /11/ mainitsee emakolle parhaiten sopivan lämpötilan olevan 10...16°C. Vastasyntyneet porsaat vaativat 27°C lämpötilan. Porsaiden kasvaessa lämpötilaa voidaan vähitellen laskea siten, että vierotushetkellä lämpötila on 21...24°C.

Taulukko 10. Sikalan lämpötila. /9/

Emakon tuotantovaihe	Lattiatyyppi							
	kuivike- lattia		betoni- lattia		rei'it. metallil.		osarako- lattia	
	t_m °C	t_M °C	t_m °C	t_M °C	t_m °C	t_M °C	t_m °C	t_M °C
joutilas yksittäin	19	27	21	28	22	29	22	29
joutilas ryhmässä	15	25	17	26	20	27		
imettävä P P + 2d			20	24	21	25		
imettävä P + 3d			18	24	19	25		
imettävä P + 5d			15	24	17	25		

jossa t_m alin sallittu lämpötila, °C
 t_M yli sallittu lämpötila, °C
P ajankohta, jolloin porsinta tapahtuu
P+d ilmoittaa, montako vuorokautta porsinnasta on kulunut

Joutilaat emakot ja karjut viihtyvät parhaiten, kun lämpötila on 5...15°C. Ilman suhteellisen kosteuden tulee tällöin olla 60...80%.

AGRI/MECH Report No 73 /22/ suosittelee imettävälle emakolle 15°C lämpötilaa. Vastasyntyneille porsaille suositellaan lämpötilaa 27°C, josta se saa laskea vierotusikänsä tultaessa vähitellen 23°C lämpötilaan. Vierotuksen jälkeen sopiva lämpötila on porsaiden iästä riippuen 21...24°C. Suhteellisen kosteuden tulee olla 60...75%.

SS 95 10 51 standardissa /24/ mitoituslämpötila joutilaille emakoille on 12°C ja imettäville emakoille 16°C. Ilman suhteellisen kosteuden mitoitusarvo on 80%. Pikku-porsaiden makuupaikoissa käytetään seuraavia mitoituslämpötiloja (kohdelämmitys):

porsaan paino	2 kg	$t_s = 32^\circ\text{C}$
	5 kg	$t_s = 27^\circ\text{C}$
	10 kg	$t_s = 24^\circ\text{C}$

Lähteen /19/ mukaan optimilämpötila imettävälle emakolle on 5...15°C sekä joutilaalle emakolla ja karjulle 8...15°C. Suhteellisen kosteuden tulee tällöin olla 50...80%. Pikkuporsaiden optimiolosuhteet muuttuvat porsaiden kasvaessa. Kaksi kiloa painavalle porsaalle optimilämpötila on 33°C ja se laskee asteittain siten, että porsaiden painaessa 20 kg sopiva lämpötila on 22°C. Pedersen ja Pedersen /12/ esittävät optimilämpötila-alueeksi joutilaalle emakolle 10...15° ja imettävälle emakolle vastaavasti 15...20°C. Ilman suhteellisen kosteuden tulee pysyä alueella 50...80%.

BSI BS 5502 standardissa /26/ määritetään emakoille alempi ja ylempi kriittinen lämpötila. Nämä arvot on esitetty taulukossa 11.

Taulukko 11. Sikalan lämpötila /26/

Eläin	Ryhmän koko	Lattiatyyppi	Lämpötila		v_M m/s
			t_m °C	t_M °C	
joutilas emakko	1	betonilattia	21	35	0.25
joutilas emakko	5	rakolattia	20	33	0.25
joutilas emakko	5	betonilattia	17	32	0.25
joutilas emakko	5	kuivikelattia	13	30	0.25
imettävä emakko	1	betonilattia	14	32	0.25
imettävä emakko	1	rei'itetty m.	12	29	0.25
imettävä emakko	1	kuivikelattia	7	27	0.25

t_m alempi kriittinen lämpötila °C
 t_M ylempi kriittinen lämpötila °C
 v_M suurin sallittu ilman virtausnopeus
 sikojen lähellä m/s

Kun tarkastellaan edellä esitettyjä lämpötilan optimiarvoja voidaan todeta, että valtaosa eri lähteissä esitetyistä joutilaan emakon ja karjun optimilämpötiloista on alueella 10...15°C ja että imettävän emakon optimilämpötilat voidaan jakaa kahteen osaan, niihin, jotka ovat alueella 10...15°C ja niihin, jotka ovat alueella 15...20°C.

Kun valitaan mitoituslämpötilaksi joutilaalle emakolle ja karjulle $t_s = 14^\circ\text{C}$ ja imettävälle emakolle $t_s = 16^\circ\text{C}$ täyttyvät useimmissa lähteissä esitetyt vaatimukset. Pikkuporsaille mitoituslämpötilat voidaan valita suoraan SS 95 10 51 standardista /24/.

porsaan paino	2 kg	$t_s = 32^\circ\text{C}$
	5 kg	$t_s = 27^\circ\text{C}$
	10 kg	$t_s = 20^\circ\text{C}$
	20 kg	$t_s = 20^\circ\text{C}$

5.2.2 Lämmönluovutus ja vesihöyrynm muodostus

Joutilaat emakot ja karjut

Joutilaan emakon ja karjun lämmönluovutukselle ja sikalassa muodostuvalle vesihöyrylle löytyy lukuarvoja mm. seuraavista lähteistä: TGL 29084 /20/, DIN 18910 /21/, Rist /25/ CIGR:n ilmastointityöryhmän ohje /23/, SS 95 10 50 /27/, Ström /28/ ja ASAE D 270.4 /11/. TGL 29084:n /20/, DIN 18910:n /21/ ja ASAE D 270.4:n /11/ lukuarvot eivät poikkea lihotussioille ilmoitetuista lukuarvoista. Eri lähteiden lukuarvot on esitetty taulukossa 12 redusoituna kaavoja (12), (13), (14) ja (15) apuna käyttäen lämpötilaa $t_s = 14^\circ\text{C}$ vastaaviksi.

Taulukko 12. Joutilaan emakon lämmönluovutus ja sikalassa tapahtuva vesihöyrynmuodostus

m kg	Kirjallisuusviitteen numero											
	/21/		/27/ ⁽¹⁾		/25/		/20/		/28/ ⁽¹⁾		/11/	
	ϕ_e W	g_s g/h	ϕ_e W	g_s g/h	ϕ_e W	g_s g/h	ϕ_e W	g_s g/h	ϕ_e W	g_s g/h	ϕ_e W	g_s g/h
100	191	78	-	-	-	-	257	70	169	64	208	103
150	260	106	-	-	200	98	-	-	226	85	263	116
180	-	-	259	88	-	-	-	-	258	97	294	115
200	330	134	-	-	239	117	320	132	279	105	314	111

1) 10 viikkoa ennen porsitusta

Kun otetaan huomioon se seikka, että joutilaiden emakoiden ruokintataso on alhaisempi kuin lihotussikojen, on syytä olettaa, että myös niiden lämmönluovutus on alhaisempi. BSI BS 5502 standardin mukaan /26/ joutilaan emakon ruokintataso on 1.5 kertainen ja noin 100 kg painoisen lihotussian ruokintataso 2.5 kertainen verrattuna ylläpitoruokintaan. Tämän päätelmän perusteella voidaan olettaa, että TGL 29084:n /20/, DIN 18910:n /21/ ja ASAE D 270.4:n /11/ lämmönluovutusluvut ovat liian suuria. Ström /28/ määrittää joutilaan emakon lämmönluovutuksen ylläpitoruokinnan aineenvaihdunnan ja tiineyden aiheuttaman lisälämmöntuoton perusteella, samaa periaatetta käytetään myös CIGR:n ilmastointityöryhmän normiehdotuksessa /23/. Kun vesihöyrynpois-
toon perustuvan minimi-ilmanvaihdon suuruus lasketaan Strömin /28/ esittämällä tavalla saadaan taulukkoon 13 lämmönluovutuksen ja vesihöyrynmuodostuksen suuruudet tiineyden eri vaiheissa. Strömin /28/ esittämät kaavat ylläpitoruokinnan aineenvaihdunnasta johtuvalle lämmönkulutukselle ja tiineydestä johtuvalle lisälämmönluovutukselle ovat:

$$\varnothing_Y = 4.85 \text{ m}^{0.75} \quad (20)$$

$$\varnothing_A = 8 \cdot 10^{-5} A^3 \quad (21)$$

$$\varnothing_e = (\varnothing_Y + \varnothing_A) f_t \quad (22)$$

joissa \varnothing_Y ylläpitoruokinnan aineenvaihdunnasta aiheutuva lämmönluovutus, W
 \varnothing_A tiineydestä johtuva lisälämmönluovutus, W
A tiineysaika, d
 f_t lämpötilakorjauskerroin (kaava (12))

Vesihöyrynmuodostus lasketaan kaavojen (17) ja (19) avulla.

Taulukkoon 13 on laskettu myös minimi-ilmanvaihtotarve mitoitusolosuhteissa. Ulkoilman mitoituslämpötila on $t_u = -20^\circ\text{C}$ ja suhteellinen kosteus $\psi_u = 90\%$.

Taulukko 13. Tiineyden vaikutus lämmönluovutukseen sekä vesihöyrynmuodostukseen ja ilmanvaihtotarpeeseen

A d	m = 100 kg			m = 150 kg			m = 200 kg		
	\varnothing_e W	g_s g/h	\dot{V}_2 m ³ /h	\varnothing_e W	g_s g/h	\dot{V}_2 m ³ /h	\varnothing_e W	g_s g/h	\dot{V}_2 m ³ /h
0	162	61	6.7	219	82	9.0	271	102	11.1
20	162	61	6.7	220	83	9.1	272	103	11.3
40	167	63	6.9	224	84	9.2	277	104	11.4
60	180	68	7.4	237	89	9.7	290	109	11.9
80	205	77	8.4	262	99	10.8	315	118	12.9
100	246	93	10.2	303	114	12.5	356	134	14.6
110	274	103	11.3	331	125	13.7	384	144	15.7

joissa A tiineysaika, d
 \varnothing_e eläimen lämmönluovutus, W
 g_s vesihöyrynmuodostus eläintä kohti, g/h
 \dot{V}_2 ilmavirta, m³/h

5.2.3 Hiilidioksidinmuodostus joutilaiden emakoiden ja karjujen osastolla

Lukuarvoja joutilaan emakon osastossa tapahtuvalle hiilidioksidinmuodostukselle esittävät muunmuassa Mothes /1/, TGL 29084 /20/, DIN 18910 /21/, Rist /25/ ja /35/. Lähteissä /20/, /21/ ja /35/ esitetyt lukuarvot ovat samat kuin lihotussioilla. Mothesin /1/ mukaan emakon hiilidioksidinmuodostus on 56...61 l/h, muut lukuarvot on esitetty taulukossa 14.

Taulukko 14. Hiilidioksidinmuodostus joutilasta emakkoa kohti

	Kirjallisuusviitteen numero				
	/25/	/20/	/21/	/23/	/35/
	K	K	K	K	K
m					
kg	l/h	l/h	l/h	l/h	l/h
100		50	33	27	51
150	35		47	36	58
200	42	56	62	45	61

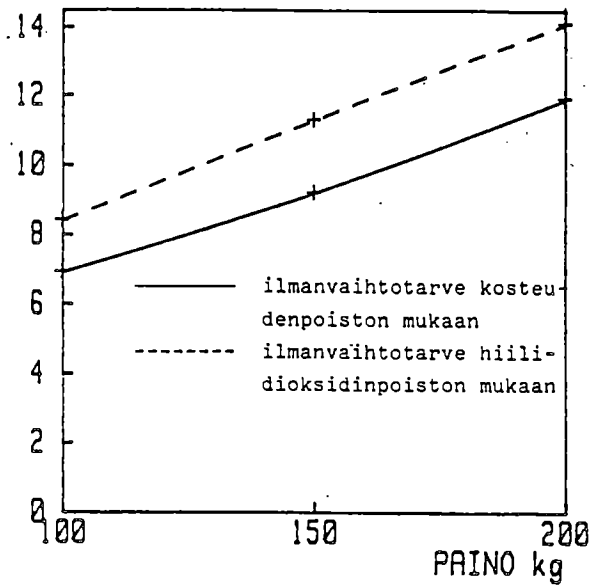
jossa K hiilidioksidinmuodostus l/h

Koska hiilidioksidinmuodostus on voimakkaasti riippuvainen eläinten aineenvaihdunnasta (ruokintataso) samoin kuin lämmönluovutuskin, on syytä olettaa, että CIGR:n ilmastointityöryhmän /23/ ja Ristin /25/ tiedot ovat lähimpänä oikeaa. Hiilidioksidin poistamiseksi tarvittava minimi-ilmanvaihto on lähteen /23/ ilmoittamien tietojen perusteella laskettuna seuraavanlainen, kun suurimman sallitun hiilidioksidipitoisuuden arvo on 3.5 l/m^3 :

$$\begin{aligned} m = 100 \text{ kg} & \quad \dot{V}_3 = 8.4 \text{ m}^3/\text{h} \\ m = 150 \text{ kg} & \quad \dot{V}_3 = 11.3 \text{ m}^3/\text{h} \\ m = 200 \text{ kg} & \quad \dot{V}_3 = 14.1 \text{ m}^3/\text{h} \end{aligned}$$

Yllä olevat arvot on laskettu emakolle 10 viikkoa ennen porsintaa.

ILMAVIRTA m³/h
AIRFLOW



Kuva 11. Joutilaan emakon ilmanvaihtotarve

5.2.4 Joutilaiden emakoiden ja karjujen maksimi-ilmanvaihtotarve

Valittaessa sisälämpötilaksi kuumimpana vuodenaikana $t_s = +25^{\circ}\text{C}$, saadaan kaavoja (20), (21), (22) ja (17) käyttäen lämmönluovutukselle ja vesihöyrynmuodostukselle taulukossa 15 esitetyt arvot.

Taulukko 15. Eläimen lämmönluovutus ja vesihöyryn muodostuminen sikalassa

	m = 100 kg			m = 150 kg			m = 200 kg		
	ϕ_e	ϕ_s	g_s	ϕ_e	ϕ_s	g_s	ϕ_e	ϕ_s	g_s
d	W	W	g/h	W	W	g/h	W	W	g/h
0	153	80	105	208	109	143	258	135	177
20	154	80	106	209	109	143	259	135	178
40	158	83	109	213	111	146	263	137	181
60	171	89	117	225	118	155	275	144	189
80	194	102	134	249	130	171	299	156	206
100	233	122	161	288	150	198	338	177	232

jossa A tiineysaika, d
 ϕ_e eläinten kokonaislämmönluovutus, W
 ϕ_s eläinten vapaanlämmönluovutus, W
 g_s vesihöyrynmuodostus, g/h

Maksimi-ilmanvaihtotarve on laskettu kolmella eri lämpötilaerolla kaavaa (1) apuna käyttäen ja tulokset on esitetty taulukossa 16.

Taulukko 16. Joutilaan emakon maksimi-ilmanvaihtotarve

A d	m = 100 kg			m = 150 kg			m = 200 kg		
	(a)	(b)	(c)	(a)	(b)	(c)	(a)	(b)	(c)
	\dot{V}_1 m ³ /h	\dot{V}_1 m ³ /h	\dot{V}_1 m ³ /h	\dot{V}_1 m ³ /h	\dot{V}_1 m ³ /h	\dot{V}_1 m ³ /h	\dot{V}_1 m ³ /h	\dot{V}_1 m ³ /h	\dot{V}_1 m ³ /h
0	82	61	49	111	83	67	138	103	83
20	82	61	49	111	83	67	138	103	83
40	85	63	51	113	85	68	140	105	84
60	91	68	54	120	90	72	147	110	88
80	104	78	62	133	99	80	159	119	95
100	124	93	75	153	115	92	180	135	108

jossa (a) lämpötilaero $t_s - t_u = 3^\circ\text{C}$
 (b) lämpötilaero $t_s - t_u = 4^\circ\text{C}$
 (c) lämpötilaero $t_s - t_u = 5^\circ\text{C}$

5.2.5 Imettävän emakon lämmönluovutus ja vesihöyrynmuodostus

Eri lähteistä saadut lämmönluovutusta ja vesihöyrynmuodostusta selvittävät tiedot esitetään aikaisemmin valituissa mitoitusolosuhteissa, $t_s = 16^\circ\text{C}$. Redusointi on suoritettu samalla tavalla kuin lihotussikojen yhteydessä.

Mothesin mukaan /1/ emakko porsaineen tuottaa lämpöä ja vesihöyryä 20°C lämpötilassa seuraavasti:

$$\begin{aligned} \phi_e &= 635 \text{ W} \\ g_s &= 250 \text{ g/h} \end{aligned}$$

Luvut ovat kahdeksan ensimmäisen imetysviikon keskiarvoja. Kun luvut redusoidaan 16°C lämpötilaan ja vähennetään oletettu porsaiden osuus lämmönluovutuksesta ja vesihöyrynmuodostuksesta saadaan emakon osuudeksi

$$\begin{aligned}\emptyset_e &= 365 \text{ W} \\ g_s &= 90 \text{ g/h}\end{aligned}$$

ASAE D 270.4:n /11/ lukuarvot ovat työryhmän Bond, Kelly ja Heitman tutkimustuloksia. Lämpötila huoneessa, jossa kokeet suoritettiin vaihteli kokeiden aikana välillä 16...27°C ja emakoiden keskipaino kokeen aikana oli 156 kg. Redusoimalla koetulokset mitoituslämpötilaan ja vähentämällä porsaiden osuus saadaan kahdeksan ensimmäisen viikon lämmönluovutuksen ja vesihöyrynmuodostuksen keskiarvoiksi:

$$\begin{aligned}\emptyset_e &= 435 \text{ W} \\ g_s &= 280 \text{ g/h}\end{aligned}$$

Tuloksia arvioitaessa on otettava huomioon, että koeolosuhteet eivät, varsinkaan vesihöyrynmuodostuksen suhteen, vastaa normaaleja tuotanto-olosuhteita. Standardissa TGL 29084 /20/ imettävä emakko porsaineen (m = 180...230 kg) luovuttaa lämpöä ja vesihöyryä lämpötilassa 15°C seuraavasti:

$$\begin{aligned}\emptyset_e &= 605 \text{ W} \\ g_s &= 235 \text{ g/h}\end{aligned}$$

Redusoituna 16°C:een ja vähentämällä oletettu porsaiden osuus saadaan:

$$\begin{aligned}\emptyset_e &= 325 \text{ W} \\ g_s &= 130 \text{ g/h}\end{aligned}$$

DIN 18910 standardissa /21/ imettävälle emakolle on ilmoitettu seuraavat lämmönluovutuksen ja vesihöyrynmuodostuksen arvot:

$$\begin{array}{ll} m = 150 \text{ kg} & \begin{array}{l} \phi_e = 273 \text{ W} \\ g_s = 115 \text{ g/h} \end{array} \\ m = 200 \text{ kg} & \begin{array}{l} \phi_e = 346 \text{ W} \\ g_s = 132 \text{ g/h} \end{array} \end{array}$$

CIGR:n ilmastointityöryhmän esityksessä /23/ imettävän emakon lämmönluovutus muodostuu ylläpitoruokinnan aineenvaihdunnasta syntyvästä lämmöstä ja emakon maidontuotannosta johtuvasta lisälämmöstä. Ylläpitoruokinnan aineenvaihdunnassa syntyvä lämpö lasketaan kaavasta (20) ja maidontuotannosta aiheutuva lisälämpö kaavasta (23)

$$\phi_m = 26 m_m \quad (23)$$

$$\phi_e = (\phi_Y - \phi_m) f_t \quad (24)$$

joissa	ϕ_m	maidontuotannosta aiheutuva lämpö, W
	ϕ_Y	ylläpitoruokinnasta johtuva lämpö, W
	ϕ_e	eläimen lämmönluovutus, W
	m_m	maidontuotanto, kg 8% maitoa päivässä

Vesihöyrynmuodostus lasketaan kuten edellä, kaavojen (17) ja (19) avulla.

$$\begin{array}{ll} m = 150 \text{ kg} & \begin{array}{l} \phi_e = 401 \text{ W} \\ g_s = 164 \text{ g/h} \end{array} \\ m = 200 \text{ kg} & \begin{array}{l} \phi_e = 453 \text{ W} \\ g_s = 186 \text{ g/h} \end{array} \end{array}$$

Ristin mukaan /25/ imettävä emakko luovuttaa lämpöä ja kosteutta seuraavasti (redusoitu lämpötilasta $t_s = 14^\circ\text{C}$):

$m = 150 \text{ kg}$ $\emptyset_e = 302 \text{ W}$
 $g_s = 145 \text{ g/h}$

$m = 200 \text{ kg}$ $\emptyset_e = 351 \text{ W}$
 $g_s = 168 \text{ g/h}$

SS 95 10 51 standardissa /27/ imettävälle emakolle on ilmoitettu seuraavat arvot (emakon paino $m = 180 \text{ kg}$):

$\emptyset_e = 459 \text{ W}$
 $g_s = 175 \text{ g/h}$

Strøm /28/ määrittää imettävän emakon lämmönluovutuksen ja vesihöyrynmuodostuksen samalla tavoin kuin CIGR:n ilmastointityöryhmän normiehdotuksessa /23/. Ainut ero CIGR:n /23/ esittämiin lukuihin on se, että käytetään hieman erilaista lämpötilakorjauskerrointa f_t . Tällä ei kuitenkaan ole käytännön merkitystä.

Robbins ja Spillman /36/ mittasivat emakon lämmönluovutuksen ja vesihöyrynmuodostuksen normaalissa tuotantosikalassa. Kahden ensimmäisen imetysviikon aikana em. luvut olivat mitoitusolosuhteisiin redusoituna keskimäärin seuraavat:

$\emptyset_e = 400 \text{ W}$
 $g_s = 185 \text{ g/h}$

Sikalan lämpötila oli mittausten aikana $25...26^\circ\text{C}$ ja porsaita oli keskimäärin yhdeksän pahnuetta kohden. Emakoiden keskipaino oli n. 150 kg . Lämmönluovutus- ja vesihöyrynmuodostusluvuissa on mukana porsaiden osuus. Kun vertaillaan keskenään eri lähteistä saatuja emakon lämmönluovutuslukuja huomataan, että ne jakautuvat selvästi kahteen ryhmään. Toisessa ryhmässä n. 150 kg painoisen emakon lämmönluovutus on luokkaa $\emptyset_e = 270...300 \text{ W}$ ja 250 kg painoisen luokkaa $\emptyset_e = 340...370 \text{ W}$. Toisessa ryhmässä vastaavat lämmönluovutusluvut ovat noin 400 W 150 kg emakoilla ja 450 W 250 kg emakoilla.

On oletettavaa, että ASAE D 270.4 /11/ esittämät lukuarvot ovat liian suuria. Koska Strømin laskelmien tärkeimpänä perusteena on ollut sama työryhmän Bond, Kelly ja Heitman tekemä tutkimus kuin ASAE D 270.4:ssä /11/ on tällä perusteella hänen esittämiään arvoja pidettävä liian suurina. Strømin /28/ esittämät tiedot ovat taas pohjana CIGR:n ilmastointityöryhmän normiehdotuksen /23/ ja SS 95 10 51:n /27/ lukuarvoille. Jos sen sijaan käytetään jo aikaisemmin joutilaan emakon yhteydessä esillä olleita kaavoja (20), (21) ja (22) ja lasketaan lämmönluovutus juuri ennen por-sintaa saadaan lukuarvoja, jotka vastaavat melko hyvin muissa lähteissä esiintyviä tietoja. Näin saadaan tauluk-koon 17 lämmönluovutus- ja vesihöyrynmuodostusarvot imet-tävälle emakolle. Taulukkoon 17 on laskettu myös vesihöy-rynpoistoon perustuva minimi-ilmanvaihto mitoitusolosuh-teissa. Ulkoilman mitoitusolosuhteet ovat samat kuin edel-lisissä tapauksissa.

Taulukko 17. Emakon lämmönluovutus sekä sikalassa kehit-tyvä vesihöyry ja sen poistamiseksi tarvit-tava ilmavirta

m	ϕ_e	ξ_s	\dot{V}_2
kg	W	g/h	m ³ /h
150	336	138	13.6
200	387	159	15.6

jossa ϕ_e eläimen lämmönluovutus, W
 ξ_s vesihöyrynmuodostus eläintä kohti, g/h
 \dot{V}_2 ilmavirta, m³/h

5.2.6 Imettävän emakon hiilidioksidinmuodostus

Imettävän emakon hiilidioksidinmuodostukselle on esitetty kirjallisuustietoja taulukossa 18, johon on lisätty reunim-aiseksi sarakkeeksi oikealle taulukossa 17 oleviin lämmön-luovutuslukuihin verrannolliset hiilidioksidinmuodostuslu-vut.

Taulukko 18. Hiilidioksidinmuodostus emakkoa kohti

	Kirjallisuusviitteen numero			
	/21/	/23/	/25/	
m	K	K	K	K
kg	l/h	l/h	l/h	l/h
150	47	71	51	55
200	62	79	59	63

TGL 29084 standardin /20/ mukaan emakko porsaineen tuottaa 173 l/h hiilidioksidia. Koska hiilidioksidin muodostumisnopeus on suuresti riippuvainen aineenvaihdunnasta voidaan olettaa, että taulukon 18 reunimmaisena oikealla olevan sarakkeen arvot ovat lähimpänä oikeaa. Käyttämällä kaavaa (3) saadaan hiilidioksidin poistamiseksi tarvittavaksi ilmanvaihdon suuruudeksi taulukkoon 19 arvot:

Taulukko 19. Hiilidioksidinmuodostus emakkoa kohti ja sen poistamiseksi tarvittava ilmavirta

m	K	\dot{V}_2
kg	l/h	m ³ /h
150	55	17.2
200	63	19.7

jossa K hiilidioksidinmuodostus eläintä kohti, l/h
 \dot{V}_2 ilmavirta, m³/h

5.2.7 Imettävän emakon maksimi-ilmanvaihtotarve

Kun käytetään edelleen sivulla 51 valittuja laskukaavoja (20), (21) ja (22) sekä kaavoja (17) ja (19) saadaan taulukkoon 20 maksimi-ilmanvaihdon mitoitusolosuhteita vastaava lämmönluovutus ja vesihöyrynmuodostus. Sisälämpötilan mitoitusarvo on $t_s = 25^\circ\text{C}$. Samaan taulukkoon on laskettu kaavalla (3) maksimi-ilmanvaihdon suuruus kolmella eri lämpötilaerolla $t_s - t_u$.

Taulukko 20. Emakon maksimi-ilmanvaihtotarve

				$t_s - t_u$		
				3°C	4°C	5°C
m	ϕ_e	ϕ_s	g_s	\dot{V}_1	\dot{V}_1	\dot{V}_1
kg	W	W	g/h	m ³ /h	m ³ /h	m ³ /h
150	326	171	224	174	131	105
200	376	197	259	201	151	121

jossa ϕ_e eläimen lämmönluovutus, W
 ϕ_s eläimen vapaanlämmönluovutus, W
 g_s vesihöyrynm muodostus eläintä kohti, g/h
 \dot{V}_1 ilmavirta, m³/h

5.2.8 Pikkuporsaiden lämmönluovutus ja vesihöyrynm muodostus

Pikkuporsaiden lämmönluovutus- ja vesihöyrynm muodostuslukuja esitetään mm. seuraavissa lähteissä:

Mothes /11/ esittää porsaiden lämmönluovutukseksi ja vesihöyrynm muodostukseksi seuraavaa:

m	ϕ_e	g_s
kg	W	g/h
10	60	44.0
15	65	47.5
20	70	51.5

ASAE D 270.4 /11/ ohjeessa on Carnien ja Pullarin (1957) mittauksiin perustuvat lämmönluovutustiedot. Vesihöyrynm muodostumisnopeutta ei mainita.

m	ϕ_e
kg	W
4.5	20
6.8	35
9.1	50
11.4	65

TGL 29084 standardin /20/ mukaan porsaiden lämmönluovutus ja vesihöyrynmuodostus ovat:

$$m = 10 \text{ kg} \quad \phi_e = 84 \text{ W} ; g_s = 16 \text{ g/h}$$

$$m = 20 \text{ kg} \quad \phi_e = 108 \text{ W} ; g_s = 30 \text{ g/h}$$

DIN 18910 standardissa /21/ ilmoitetut lukuarvot ovat:

m	ϕ_e	g_s
kg	W	g/h
5	36	34
10	46	32
20	68	38

AGRI/MECH Report No. 73 esitetään porsaiden lämmönluovutus- ja vesihöyrynmuodostusluvut. Siitä lämpötilasta, jossa ko. luvut pitävät paikkansa, ei ole mainintaa, joten niitä ei ole redusointu.

m	ϕ_e	g_s
kg	W	g/h
4.5	28	22
14	66	43
23	95	60

CIGR:n ilmastointityöryhmän ohjeen /23/ mukaan porsaiden lämmönluovutus ja vesihöyrynmuodostus lasketaan samoilla kaavoilla (16), (17) ja (19) kuin lihotussikojenkin. Ainoa ero on se, että kaavassa (16) vakion 25 tilalla on vakio 20.

m	ϕ_e	g_s
kg	W	g/h
2	17.0	18.5
5	36.0	28.5
10	60.5	30.5
15	79.5	40
20	96.0	48.5

Strøm /28/ määrittää pienten porsaiden lämmönluovutuksen ja vesihöyrynmuodostuksen kaavoilla (16), (17) ja (19)

m	ϕ_e	g_s
kg	W	g/h
2	18	20.0
5	36.5	29.0
10	60.5	30.5
15	79.5	40.0
20	96.5	48.5

Tutkittaessa eri lähteissä esiintyviä lukuarvoja voidaan havaita varsin suuria eroja. Erojen syitä on vaikea selvittää, mutta osasyynä voi olla esimerkiksi erilaisten hoitotapojen vaikutus. Koska muidenkin emakkosikalan eläinryhmien lämmönluovutus ja vesihöyrynmuodostus on laskettu Strømmin /28/ ja CIGR:n ilmastointityöryhmän normiehdotuksen /23/ määrittämällä menetelmällä lienee johdonmukaisuuden vuoksi syytä käyttää sitä myös pikku-porsaita koskeviin laskelmiin. Taulukkoon 21 on laskettu vesihöyrynpöistämistarpeeseen perustuva minimi-ilmanvaih-totarve mitoitusolosuhteissa.

Taulukko 21. Pikkuporsaan lämmönluovutus sekä sikalassa muodostuva vesihöyry ja sen poistamiseksi tarvittava ilmanvaihto

m	t_s	ψ_s	ϕ_e	g_s	\dot{V}_2	\dot{V}_2^*
kg	°C	%	W	g/h	m ³ /h	m ³ /h
2	32	60	18.0	20.0	1.0	2.0
5	27	60	36.5	29.0	1.9	2.9
10	20	70	60.5	30.5	2.7	3.0
15	20	70	79.5	40.0	3.5	3.9
20	20	70	96.5	48.5	4.3	4.8

jossa ϕ_e eläimen lämmönluovutus, W
 g_s vesihöyrynmuodostus eläintä kohti, g/h
 \dot{V}_2 ilmavirta, m³/h

*) ilmanvaihdon suuruus laskettu poistoilman lämpötilassa $t_s = 16^\circ\text{C}$. Tällöin oletetaan, että ilma on ainoastaan porsaiden lähellä taulukossa ilmoitetun suuruinen, poistoilma aukon läheisyydessä se on sama mikä muualla sikalassa eli 16°C .

5.2.9 Pikkuporsaiden hiilidioksidinmuodostus

Pikkuporsaiden hiilidioksidinmuodostusta koskevia lukuarvoja esitetään taulukossa 22.

Taulukko 22. Hiilidioksidinmuodostus porsasta kohti

m	t_s	Kirjallisuusviitteen numero			
		/20/	/21/	/23/	/25/
		K	K	K	K
kg	°C	l/h	l/h	l/h	l/h
2	32	-	-	3	2
5	27	-	5	6	4
10	20	10	7	10	6
15	20	-	-	13	-
20	20	16	10	16	11

Valitsemalla TGL 29084:ssä /20/ ja CIGR:n ilmastointityöryhmän normiehdotuksessa /23/ esitetyt lukuarvot ja laskeamalla kaavan (3) avulla hiilidioksidin poistamiseksi tarvittavan minimi-ilmanvaihdon suuruus saadaan taulukossa 23 esitetyt arvot. Näiden perusteella voidaan todeta, että hiilidioksidin poistaminen ei ole pienten porsaiden osalta ilmanvaihdon mitoittamiseen vaikuttava tekijä.

Taulukko 23. Hiilidioksidinmuodostus porsasta kohti ja sen poistamiseksi tarvittava ilmanvaihto

m kg	t_s °C	K l/h	\dot{V}_3 m ³ /h
2	32	3	0.9
5	27	6	1.9
10	20	10	3.1
15	20	13	4.1
20	20	16	5.0

jossa K hiilidioksidinmuodostus eläintä kohti, l/h
 \dot{V}_3 ilmavirta, m³/h

5.2.10 Pikkuporsaiden maksimi-ilmanvaihtotarve

Strømin /28/ esittämää menetelmää ja kaavaa (1) apuna käyttäen on taulukkoon 24 laskettu pienten porsaiden lämmönluovutus, vapaan lämmön luovutus, vesihöyrynmuodostus sekä ilmanvaihtotarve ulkolämpötilan ollessa 20°C, 21°C ja 22°C.

Taulukko 24. Pikkuporsaan maksimi-ilmanvaihtotarve

m kg	t_s °C	ϕ_e W	ϕ_s W	g_s g/h	$t_u/°C$		
					22	21	20
					\dot{V}_1 m ³ /h	\dot{V}_1 m ³ /h	\dot{V}_1 m ³ /h
2	32	18	4	20	4.0	3.0	2.5
5	27	37	17	29	17.5	13.0	10.5
10	25	61	32	42	32.5	24.5	19.5
15	25	80	42	55	43.0	32.0	25.5
20	25	97	50	66	51.0	38.0	30.5

jossa ϕ_e eläimen lämmöntuotto, W
 ϕ_s eläimen vapaanlämmöntuotto, W
 g_s vesihöyrynmuodostus eläintä kohti, g/h
 \dot{V}_1 ilmavirta, m³/h
 t_u ulkolämpötila, °C

5.3. Navetta

5.3.1 Lypsykarjanavetan optimilämpötila ja optimaalinen suhteellinen kosteus

Taulukossa 25 esitetään eräitä eri lähteistä saatuja lämpötilan ja suhteellisen kosteuden optimiarvoja.

Taulukko 25. Lypsykarjanavetan optimilämpötila ja optimaalinen suhteellinen kosteus

t_s °C	ψ_s %	Kirjallisuusviite
10...25	60...80	Mothes /1/
0...20	60...80	DIN 18910 /21/
5...20	50...80	TGL 29084 /20/
10...16	70...80	AGRI/MECH Report No. 73 /22/
5...15		BSI 5502: Section 2.2 /26/
2...24	40...80	ASAE D 270.4 /11/
10...16		/19/
10...13		Kelley & Rupel /37/
10...16		Harlass /37/
10...12		Stockklausner /37/
0...10		Dice /37/
12...15		Kliesch & Neuhaus /37/
12...15	75	Nusshag /37/
10...15	80	Fuhriman /37/
10...12	75...80	Ivos /37/
0...15	50...80	/38/
10...20		Sainsbury & Sainsbury /39/

Kuten taulukosta 25 voidaan huomata ollaan optimiolosuhteista varsin yksimielisiä. Minimi-ilmanvaihtoa laskettaessa käytetään SS 95 10 51 standardissa /24/ mitoituslämpötilana $t_s = 12^\circ\text{C}$ sekä DIN 18910 standardissa /21/ ja lähteissä /23/ ja /1/ $t_s = 10^\circ\text{C}$. Tässä esityksessä käytetään lämpötilan mitoitusarvona $t_s = 12^\circ\text{C}$ ja suhteellisen kosteuden $\psi_s = 80\%$.

5.3.2 Lypsylehmien lämmönluovutus ja navetassa muodostuva vesihöyry

Lehmien lämmönluovutusta ja vesihöyryn muodostumista navetassa koskevia lukuaroja esitetään taulukossa 26. Ne on redusoitu vastaamaan lämpötilaa $t_s = 12^\circ\text{C}$. Redusoinnissa on käytetty kaavoja (13), (14), (15) ja (25)

$$f_t = 10^{-5} (20 - t_s)^3 + 1 \quad (25)$$

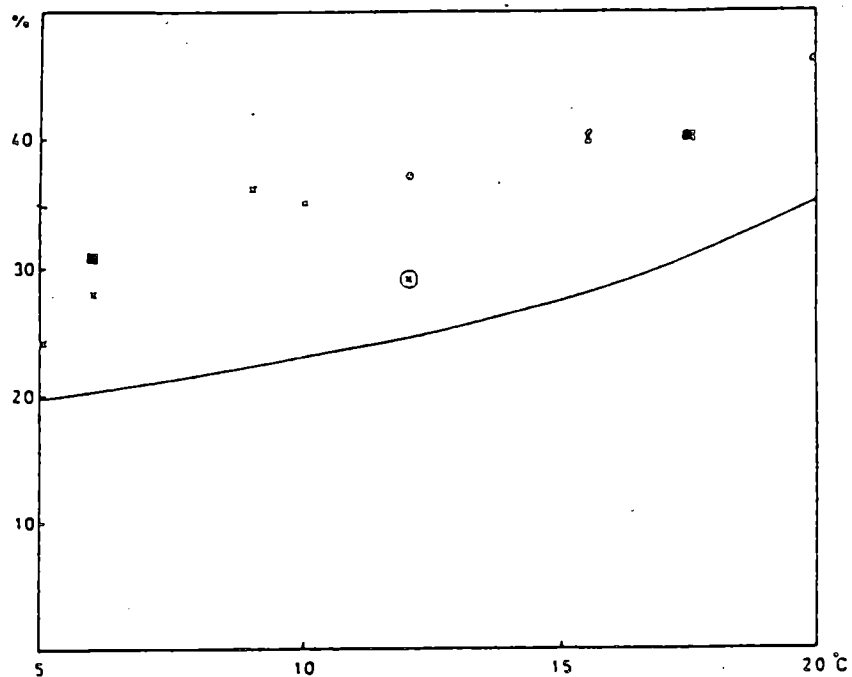
Taulukossa 26 olevien tietojen lisäksi on olemassa muunmuassa Øklandin ja Lillengin /11/ tutkimustulos navetassa tapahtuvasta vesihöyrynmuodostuksesta. Heidän mittaustensa mukaan vesihöyrynmuodostus navetassa on suurempi kuin Strømin /28/ kaavojen mukaan laskemalla saatu vesihöyrynmuodostus. Kuvassa 12 on esitetty Strømin /28/ mukaan laskettu sidotun lämmön suhteellinen osuus kokonaislämmönluovutuksesta sekä Øklandin ja Lillengin mitaamat arvot. CIGR:n ilmastointityöryhmän normiehdotuksessa /23/ ehdotetaan taulukossa 26 oleville vesihöyrynmuodostusarvoille korjauskerrointa 1.30.

Taulukon 26 lukuarvot ovat varsinkin lämmönluovutuksen osalta hyvin lähellä toisiaan. Kun vesihöyrynmuodostuslukuja vertailtaessa otetaan huomioon CIGR:n /23/ ja Strømin /28/ esittämiin arvoihin esitetyt korjauskerroimet voidaan havaita, että nekin ovat lähes yhtäsuuria, vain DIN 18910:n /21/ ja lähteen /38/ arvot poikkeavat selvästi. Syitä eri lähteissä esiintyvien lämmönluovutus- ja vesihöyrynmuodostusarvojen erilaisuuteen on vaikea varmuudella esittää. Lypsylehmän lämmönluovutukseen vaikuttavat lähinnä peruselintoiminnot, maidontuotanto ja tiineys. Lehmän maidon- ja lämmöntuotoksen vuorosuhteista esitetään kirjallisuudessa mm. seuraavaa:

Taulukko 26. Lypsylehmien lämmönluovutus ja vesihöyrynmuoostus navetassa

		Kirjallisuusviitteen numero																	
		/1/		/11/		/20/		/21/		/23/1)		/27/		/28/2)		/38/3)		/40/3)	
m	kg	∅e W	gs g/h	∅e W	gs g/h	∅e W	gs g/h	∅e W	gs g/h	∅e W	gs g/h	∅e W	gs g/h	∅e W	gs g/h	∅e W	gs g/h	∅e W	gs g/h
400				868	427	760	403	766	297	893	313	964	410	964	338	840	300	1008	418
500	1005		424	1084	534	875	466	887	341	986	345	1048	445	1049	368	920	330	1116	457
600						975	538	986	377	1074	377	1135	485	1124	394	1015	361	1208	494

- 1) maidontuotos 15 kg/d, 140 d tiineenä
- 2) maidontuotos 15 kg/d, 90 d tiineenä
- 3) maidontuotos 15 kg/d,



Kuva 12. Sidotun lämmön suhteellinen osuus kokonaislämmönkehityksestä. /41/
• Lypsylehmät ■ Lihakarja x lammas
⊗ Keritty lammas — kaava (17)

- CIGR:n ilmastointityöryhmän normiehdotuksen /23/ mukaan vuorokaudessa tuotettua maitokiloa kohti kehittyy 22 W lämpöä
- Strømin /28/ mukaan vastaava vuorosuhde on 30 W/kg/d maitoa
- lähteen /38/ mukaan lämpöä kehittyy n. 23 W/kg/d
- Yeck ja Stewart /42/ havaitsivat, että maidontuotoksen vaikutus oli n. 10.5 W/kg/d
- Websterin mukaan /43/ maidontuotoksen vaikutus lämmönluovutukseen on n. 14 W/kg/d silloin kun maidontuotos on 15 kg/d
- Kellnerin /44/ mukaan maidontuotoksen vaikutus on n. 18.5 W/kg/d.

CIGR:n ilmastointityöryhmän ehdotuksen /23/ ja Strømin mukaan tiineydestä aiheutuva lisälämmönluovutus laske-
taan kaavan (26) mukaan

$$\varnothing_t = 1.6 \cdot 10^{-5} A^3 \quad (26)$$

jossa \varnothing_t tiineydestä aiheutuva lisälämmönluovutus, W
A tiineyden kesto, d

A/d	0	50	100	150	200	250
\varnothing_t/W	0	2	16	54	128	250

Koska eri lähteissä esitettyjen lämmönluovutuslukujen välillä ei ole mainittavia eroja voidaan käyttää mitoit-
tusperusteena sitä menetelmää, joka on käyttökelpoisin.
CIGR:n ilmastointityöryhmän ehdotuksessa /23/ lämmönluo-
vutus perustuu ylläpitoruokinnan aineenvaihdunnan, mai-
dontoituksen ja tiineyden aiheuttamaan lämmönluovutuk-
seen. Vastaavat lämmönluovutuskaavat ovat (27), (28) ja
(26)

$$\varnothing_Y = 5.6 m^{0.75} \quad (27)$$

$$\varnothing_m = 22 m_m \quad (28)$$

joissa \varnothing_Y ylläpitoruokinnan aineenvaihdunnan aiheut-
tama lämmönluovutus, W
 \varnothing_m maidontoituksen aiheuttama lämmönluovu-
tus, W
m lehmän massa, kg
 m_m maidontuotos, kg/d

Kokonaislämmönluovutus \varnothing_e lasketaan kaavalla (29).

$$\varnothing_e = f_t (\varnothing_Y + \varnothing_m + \varnothing_t) \quad (29)$$

jossa f_t lämpötilakorjauskerroin, kaava (30)

$$f_t = 4 \cdot 10^{-5} (20 - t_s)^3 + 1 \quad (30)$$

Vesihöyrynmuodostuksen laskukaava on sama kuin jo aikaisemmin sikojen yhteydessä käytetty kaava (17). Tätä kaavaa on kuitenkin korjattava, jotta sen antamat tulokset vastaisivat käytännössä saatuja tuloksia. Kun kaavaan (17) vakion 0.2 tilalle muutetaan 0.27 saadaan kaava (31), joka vastaa Lillengin /23/ esittämää korjauskerrointa.

$$L = 0.27 + 1.85 \cdot 10^{-7} (t_s + 10)^4 \quad (31)$$

Kaavaa (2) käyttäen saadaan vesihöyryn poistamiseksi tarvittavan ilmanvaihdon suuruus mitoitusolosuhteissa.

Taulukko 27. Lypsylehmän lämmönluovutus sekä navetassa muodostuva vesihöyry ja sen poistamiseksi tarvittava ilmanvaihto

m kg	t_s °C	φ_s %	ϕ_e W	g_s g/h	\dot{V}_2 m ³ /h
400	12	85	893	403	48
500	12	85	986	445	53
600	12	85	1074	485	58

jossa ϕ_e eläimen lämmönluovutus, W
 g_s vesihöyrynmuodostus eläintä kohti, g/h
 \dot{V}_2 ilmavirta, m³/h

5.3.3 Lypsykarjanavetassa muodostuva hiilidioksidi

Lypsykarjanavetan hiilidioksidimuodostuksesta esitetään taulukossa 28 kahdeksan eri kirjallisuusviitteen lukuarvot.

Taulukko 28. Hiilidioksidinkehitys lehmää kohti

m kg	Kirjallisuusviitteen numero							
	/1/	/20/	/21/	/23/	/33/	/35/	/38/	/40/
	K l/h	K l/h	K l/h	K l/h	K l/h	K l/h	K l/h	K l/h
400	127	137	116	146	137	123	138	129
500	-	158	133	162	156	153	153	143
600	153	179	146	176	171	182	167	156

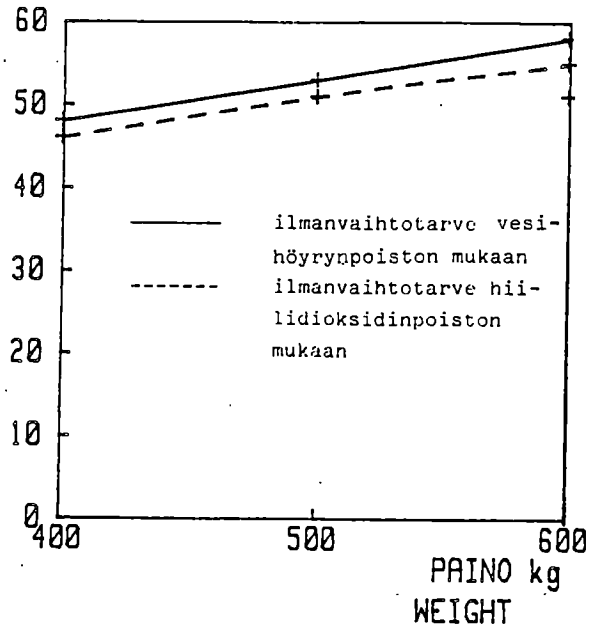
Kuten taulukosta 28 voidaan nähdä, eri lähteiden tiedot poikkeavat varsin vähän toisistaan. Lähteissä /23/ ja /38/ hiilidioksidinmuodostus on sidottu lämmönluovutukseen siten, että 100 W kohti muodostuu hiilidioksidia 16.4 l/h. Tämä riippuvuussuhde tuntuu antavan varsin hyvän tuloksen. Jos lasketaan hiilidioksidin poistamiseksi tarvittavan minimi-ilmanvaihdon suuruus lähteen /23/ tietojen perusteella saadaan taulukossa /29/ olevat tiedot.

Taulukko 29. Lypsylehmänavetassa muodostuva hiilidioksidi ja sen poistamiseksi tarvittava ilmanvaihto

m kg	t_s °C	K l/h	\dot{V}_3 m ³ /h
400	12	146	46
500	12	162	51
600	12	176	55

jossa K hiilidioksidinmuodostus lehmää kohti, l/h
 \dot{V}_3 ilmavirta, m³/h

ILMAVIRTA m³/h / LEHMÄ
AIRFLOW



Kuva 13. Ilmanvaihtotarve lypsylehmää kohti.

5.3.4 Lypsylehmien maksimi-ilmanvaihtotarve

Laskemalla lehmien lämmönluovutus ja vesihöyrynmudostus maksimi-ilmanvaihdon mitoitusolosuhteissa kaavojen (28), (30) ja (31) avulla saadaan taulukkoon 30 ilmanvaihdon mitoitusarvot

Taulukko 30. Maksimi-ilmanvaihto lypsylehmää kohti

m kg	t _s °C	ϕ _e W	ϕ _s W	g _s g/h	t _s - t _u /°C		
					3	4	5
					Ḃ ₃ m ³ /h	Ḃ ₃ m ³ /h	Ḃ ₃ m ³ /h
400	25	870	394	686	402	301	241
500	25	961	435	758	443	333	266
600	25	1048	474	826	483	362	290

jossa ϕ_e eläimen lämmönluovutus, W
 ϕ_s eläimen vapaanlämmönluovutus, W
 g_s vesihöyrynmudostus eläintä kohti, g/h
 Ḃ₃ ilmavirta, m³/h

5.3.5 Vasikoiden ja nuorkarjan optimiolosuhteet

Seuraavassa on esitetty muutamia eri lähteistä koottuja tietoja nuorkarjan optimiolosuhteista:

- Mothesin /1/ mukaan optimilämpötila-alue alle kolmen kuukauden ikäisille vasikoille on 15...20°C ja sitä suuremmille 8...25°C. Suhteellisen kosteuden tulee pysyä alueella 60...80%.
- Petersenin mukaan /15/ optimilämpötila ja -kosteus siitosvasikoille on 16°C ja 74% sekä lihotusvasikoille 18°C ja 72%.
- Lähteessä /19/ suositellaan vastasynteille vasikoille lämpötilaa 10...15°C. Vasikoiden kasvaessa lämpötila saa asteittain laskea. Vasikanlihaa tuotettaessa suositellaan korkeampia 15...21°C lämpötiloja.
- TGL 29084 standardin /20/ mukaan optimilämpötila 0...3 viikon ikäisille vasikoille on 15...24°C, 3...10 viikon ikäisille 12...24°C, 10...26 viikon ikäisille 10...24°C ja sitä suuremmille 5...20°C.
- DIN 18910 standardin /21/ mukaan optimilämpötila lihotusvasikoille on vasikan iästä riippuen 20...16°C. Nuorkarjalle sopiva lämpötila-alue on saman periaatteen mukaan 20...12°C. Ilman suhteellisen kosteuden optimiarvo on edelliselle ryhmälle 70% ja jälkimmäiselle 80%.
- AGRI/MECH Report No 73 /22/ mukaan ihannelämpötila 0...3 viikon ikäisille vasikoille on iän mukaan laskeva 27...20°C. Vanhemmille vasikoille ja nuorkarjalle sopiva lämpötila on saman periaatteen mukaan 20...13°C.
- BS 5502: Section 2.2:1981 standardin /26/ mukaan optimilämpötila-alue kaiken ikäisille vasikoille on 5...20°C.

- Lähteen /38/ mukaan optimilämpötila-alue jalostusvasikoille on 5...20°C, lihotusvasikoille iän mukana laskeva 18...12°C, jalostukseen tarkoitettulle nuorkarjalle 5...20°C ja lihotusnuorkarjalle 10...20°C. Optimialue ilman suhteelliselle kosteudelle on 50...80%.

Koska vasikat ja nuorkarja ovat yleensä samassa tilassa kuin lypsylehmät valitaan minimi-ilmanvaihdon mitoituslämpötilaksi $t_s = 12^\circ\text{C}$.

5.3.6 Vasikoiden ja nuorkarjan lämmönluovutus ja navetassa muodostuva vesihöyry

Lukuarvoja vasikoiden lämmönluovutukselle ja vesihöyrymuodostukselle on esitetty taulukossa 31. Kaikki taulukossa 31 esitetyt tiedot on redusoitu kaavojen (13), (14), (15) ja (25) avulla vastaamaan $t_s = 12^\circ\text{C}$ lämpötilaa.

Kun tarkastellaan taulukossa 31 olevia arvoja voidaan havaita, että lämmönluovutusluvut poikkeavat eri lähteissä varsin vähän toisistaan. Sen sijaan vesihöyrymuodostuksessa on suurta hajontaa. Pedersenin ja Møllerin tekemien mittausten mukaan /29/ Strømin /28/ kaavojen perusteella laskettuja vesihöyrymuodostuslukuja on korjattava vasikoiden osalta 1.41 kertaisiksi ja nuorkarjan osalta 1.80 kertaisiksi. Øklandin ja Lillengin /41/ mittausten mukaan vesihöyryyn sitoutuvan lämmön osuus kokonaislämmönluovutuksesta on lihakarjalla noin 35% lämpötilan ollessa 10°C, kun se Strømin /28/ kaavojen mukaan on noin 23%. Kun CIGR:n ilmastointityöryhmän ehdotuksessa /23/ ja Strømin /28/ esittämää sidotun lämmön suhteellista osuutta kuvaavan kaavan (17) vakio 0.2 muutetaan vakioksi 0.32 saadaan kaava (32)

$$L = 0.32 + 1.85 \cdot 10^{-7} (t_s + 10)^4 \quad (32)$$

Kun kaavaa (32) käyttäen lasketaan uudelleen Strømin /28/ lämmönluovutuslukuja vastaavat vesihöyrynmuodostukset, jotka on esitetty taulukossa 32.

Taulukko 32. Vasikoiden ja nuorkarjan lämmönluovutus sekä navetassa muodostuva vesihöyry

m kg	ϕ_e W	G_s g/h
50	120	63
75	177	93
150	329	172
200	420	220
300	585	306
400	732	383
500	866	452

Vertaamalla taulukoiden 31 ja 32 vesihöyrynmuodostuslukuja voidaan havaita, että taulukossa 32 esitetyt lukemat ovat hyvin lähellä TGL 29084 /20/, AGRI/MECH Report No 73 /22/, /40/ ja osin myös DIN 18910 /21/ ja SS 95 10 50 /27/ esitettyjä vesihöyrynmuodostuslukuja. Kun lasketaan vesihöyryn poistamiseen perustuvan minimi-ilmanvaihdon suuruutta mitoitusolosuhteissa saadaan taulukkoon 33 seuraavat arvot.

Taulukko 31. Vasikoiden ja nuorkarjan lämmönluovutus ja navetassa muodostuva vesihöyry

		Kirjallisuusviitteen numero																		
m kg	/1/ ϕ_e W	/20/		/21/		/22/ (1)		/23/		/27/		/28/		/35/		/38/		/40/ (1)		
		g_s g/h	ϕ_e W	g_s g/h	ϕ_e W	g_s g/h	ϕ_e W	g_s g/h	ϕ_e W	g_s g/h	ϕ_e W	g_s g/h	ϕ_e W	g_s g/h	ϕ_e W	g_s g/h	ϕ_e W	g_s g/h	ϕ_e W	g_s g/h
50	134	100	175	70	159	72	160	90	134	47	118	70	120	40	200	80	139	52	202	83
75	292	122	228	98	210	98	-	-	179	63	346	185	177	58	257	120	186	69	-	-
150	473	211	360	171	360	148	297	180	333	117	419	205	329	109	400	165	439	130	444	183
200	554	263	475	237	452	181	360	220	425	149	566	340	420	139	488	185	423	161	585	240
300	698	359	631	322	621	243	-	-	591	207	708	445	585	193	622	249	532	204	667	273
400	827	380	760	401	766	295	-	-	739	259	744	395	732	242	743	285	623	238	-	-
500	-	-	875	363	887	340	-	-	875	306	857	475	866	286	859	334	696	266	-	-

1) Lähteessä ei ole ilmoitettu sisälämpötilaa, joten ko. lähteen lukuatvoja ei ole redusoitu.

Taulukko 33. Vasikoiden ja nuorkarjan lämmönluovutus sekä navetassa muodostuva vesihöyry ja sen poistamiseksi tarvittava ilmanvaihto

m kg	t_s °C	ψ_s %	g_s g/h	ϕ_e W	\dot{V}_1 m ³ /h
50	12	85	63	120	8.1
75	12	85	93	177	11.9
150	12	85	172	329	22.0
200	12	85	220	420	28.2
300	12	85	306	585	39.2
400	12	85	383	732	49.0
500	12	85	452	866	57.9

jossa ϕ_e eläimen lämmönluovutus, W
 g_s vesihöyrynmuodostus eläintä kohti, g/h
 \dot{V}_1 ilmavirta, m³/h

5.3.7 Vasikoiden ja nuorkarjan hiilidioksidinmuodostus

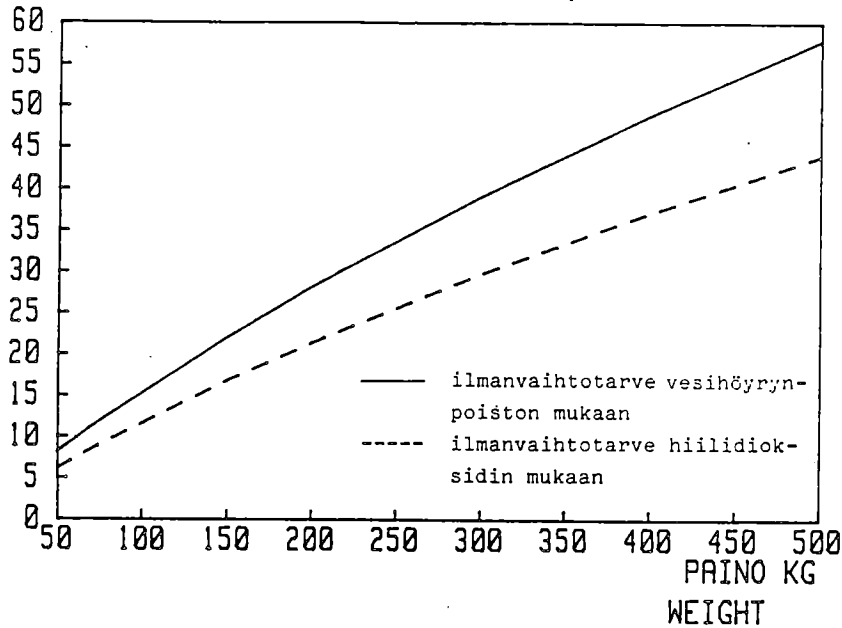
Nuorkarjan hiilidioksidinkehityslukuja on esitetty taulukossa 34.

Taulukko 34. Vasikoiden ja nuorkarjan hiilidioksidinmuodostus

m kg	Kirjallisuusviitteen numero					
	/20/	/21/	/23/	/33/	/35/	/38/
	K l/h	K l/h	K l/h	K l/h	K l/h	K l/h
50	22	25	22	15	18	23
75	35	33	29	27	26	31
150	72	56	55	68	48	57
200	89	70	70	86	63	69
300	117	95	97	116	93	87
400	137	116	121	137	123	102
500	158	133	144	156	153	114

Kun lasketaan kaavan (3) avulla hiilidioksidin poistamiseksi tarvittavaa ilmanvaihtoa voidaan havaita, että se ei ole mitoittava tekijä, silloin kun suurimpana sallittuna hiilidioksidipitoisuutena on 3.5 l/m^3 .

ILMAVIRTA m^3/h
AIRFLOW



Kuva 14. Vasikoiden ja nuorkarjan ilmanvaihtotarve

5.3.8 Vasikoiden ja nuorkarjan maksimi-ilmanvaihtotarve

Kaavojen (19), (25), (32) ja (33) avulla voidaan laskea vasikoiden ja nuorkarjan lämmönluovutus ja vesihöyrinmuodostus maksimi-ilmanvaihdon mitoitusolosuhteissa. Lukuarvot on esitetty taulukossa 35.

$$\phi_e = (65 (m + 150)^{0,5} - 800) f_t \quad (33)$$

jossa f_t lämpötilakorjauskerroin, kaava (25)

Taulukko 35. Nuorkarjan maksimi-ilmanvaihtotarve

m kg	t_s °C	ϕ_e W	ϕ_s W	g_s g/h	$t_s - t_u / ^\circ\text{C}$		
					3	4	5
					\dot{V}_1 m ³ /h	\dot{V}_1 m ³ /h	\dot{V}_1 m ³ /h
50	25	119	48	102	49	37	29
75	25	175	70	150	71	54	43
150	25	325	131	280	134	100	80
200	25	416	167	358	170	128	102
300	25	578	233	498	238	178	143
400	25	723	291	623	297	223	178
500	25	856	344	737	351	263	210

jossa ϕ_e eläimen lämmönluovutus, W
 ϕ_s eläimen vapaanlämmönluovutus, W
 g_s vesihöyrynmuodostus eläintä kohti, g/h
 \dot{V}_1 ilmavirta, m³/h
 t_u ulkolämpötila, °C

5.4. Kanala

5.4.1 Optimiolosuhteet broilereille

Seuraavassa on esitetty eri lähteissä esiintyviä lämpötilan ja suhteellisen kosteuden optimiarvoja:

- Mothesin /1/ mukaan optimilämpötila on broilereiden iästä riippuva. Lämpötila on ensimmäisen elinviikon ajan 32°C ja se laskee viikoittain kaksi astetta aina seitsemänteen viikkoon asti. Tästä eteenpäin lämpötila laskee asteen viikossa. Suhteellisen kosteuden 1...4 elinviikon aikana olla 50...70% ja siitä eteenpäin 60...70%.
- Eklundin /3/ mukaan lämpötila on broilereiden iästä riippuvainen. Lämpötilaohjelmia on kahdenlaisia. Toisessa alkulämpötila 33°C ja sitä lasketaan 2.5°C viikossa 20°C:een (5. ja 6. viikon välissä lämpötila 20°C). Lopuksi tehdään vielä yksi porras siten, että loppulämpötila on 18°C. Toisen lämpötilaohjelman mukaan alkulämpötila on 33°C. Tästä lasketaan 0.5°C päivässä joko loppulämpötilaan 22°C tai 20°C.
- Petersen /15/ esittää broilereiden optimiolosuhteiksi ensimmäisenä elinviikkona 32°C ja 61% ja seitsemäntenä elinviikkona 20°C ja 70%.
- ASAE D 270.4:ssä /11/ suositellaan 3...5 ensimmäisenä elinpäivänä lämpötilaa 29...32°C. Sen jälkeen lämpötilaa lasketaan 0.6...1.1°C päivässä kunnes tullaan lämpötilaan 18...24°C. Lähteen mukaan suhteellisen kosteuden arvot välillä 30...80% eivät vaikuta paljoakaan eläinten kasvuun.
- TGL 29084 /20/ mukaan optimilämpötila ensimmäisenä elinviikkona on 32...33°C. Tämän jälkeen lämpötila saa laskea viikoittain 2...3°C kahdeksanteen viikkoon asti.

- DIN 18910 /21/ mukaan broilereilla aluksi kohdelämmitys lämpötilassa 32°C, jonka jälkeen lämpötilaa lasketaan 3°C viikossa loppulämpötilaan 18°C asti. Suhteellisen kosteuden tulee pysyä alueella 60...70%.
- SS 95 10 50 /27/ mukaan lämpötilan tulee olla broilereiden ensimmäisen elinviikon aikana 32°C. Seitsemänteen elinviikkoon mennessä lämpötila laskee 20°C:een.
- BS 5502:Section 2.2:1981 /26/ mukaan broilerikanalan maksimilämpötila on 35°C. Lämpötila saa laskea asteittain 20°C:een ja lämpötila pitäisi pystyä pitämään $\pm 2.5^\circ\text{C}$ tarkkuudella.

Pedersen /45/ teki lisensiaattityötään varten mittauksia, joiden tarkoituksena oli selvittää ilman lämpötilan ja virtausnopeuden merkitystä. Hän kokeili erilaisia lämpötilaohjelmia ja toteaa, että taloudellisen analyysin perusteella seuraavanlainen ohjelma on paras:

- aloituslämpötila on 30...33°C ja broilereiden kasvuun alkuvaiheessa on sopiva lämpötilan pudotus 0.5°C päivässä
- tuotannon talous paranee, kun loppulämpötila kohoaa, loppulämpötila-alueella 12...28°C
- ilman virtausnopeuksilla 0.5...1.25 m/s on negatiivinen vaikutus talouteen loppulämpötiloissa 16...28°C verrattuna ilman virtausnopeuteen 0.2 m/s

Edellä esitettyjen tietojen perusteella valitaan broilerikanalan mitoituslämpötilaksi kasvun aikana $t_s = 33^\circ\text{C}$ ja siitä eteenpäin 0.5°C päivittäinen lämpötilanpudotus.

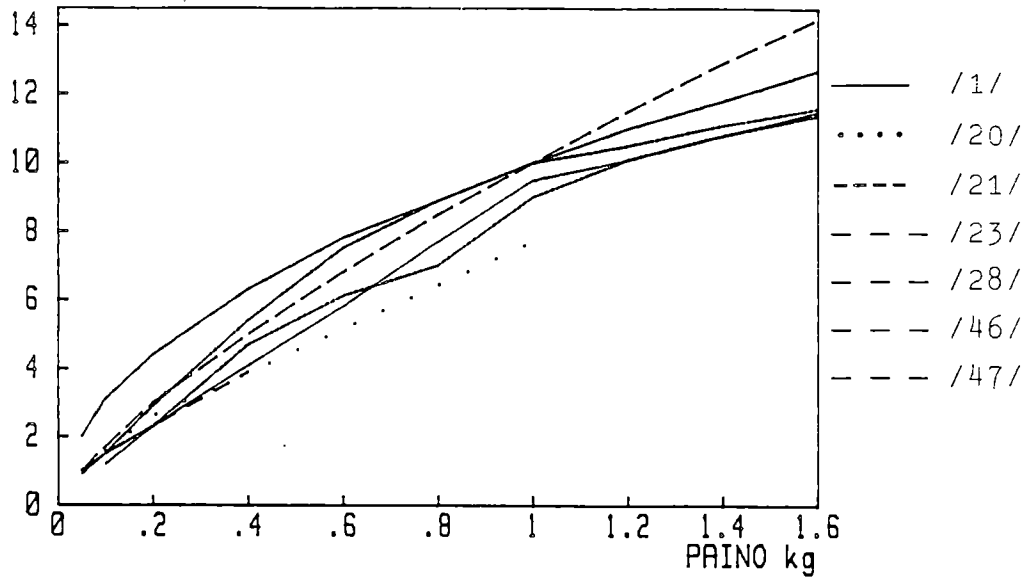
5.4.2 Broilereiden lämmönluovutus ja kanalassa muodostuva vesihöyry

Lukuarvoja broilereiden lämmönluovutukselle ja vesihöyrynmuodostukselle löytyy muunmuassa seuraavista lähteistä: Mothes /1/, TGL 29084 /20/, DIN 18910 /21/, CIGR:n ilmastointityöryhmän normiehdotus /23/, Strøm /28/, Petersen /46/ ja Longhouse, Ota, Emerson ja Heishman /47/. Eri lähteiden mukaiset arvot on esitetty taulukossa 36 redusoituna taulukossa ilmoitettuihin lämpötiloihin. Redusointiin on käytetty kaavoja (13), (14), (15) ja (30). Kuvasta 15, johon on piirretty osa taulukossa 36 olevista lämmönluovutustiedoista voidaan nähdä, että eri lähteiden lämmönluovutustiedot poikkeavat varsin vähän toisistaan, vain Strømin /28/ tiedot poikkeavat pienten broilereiden alueella merkittävästi muiden lähteiden tiedoista. Vesihöyrynmuodostuksessa sen sijaan on suuria eroja eri lähteiden tiedoissa. Tämä voidaan nähdä kuvasta 16.

Petersenin tekemien mittausten /46/ mukaan, vastoin CIGR:n ilmastointityöryhmän ehdotuksessa /23/ ja Strømin kirjoituksessa /28/ esiintyvää kaavaa, jossa sidotun lämmön suhteellinen osuus riippuu lämpötilasta, sidotun lämmön osuus säilyy lähes vakiona ja jopa kasvaa hieman broilereiden kasvaessa ja lämpötilan laskiessa. Ilmiöön saattaa vaikuttaa muunmuassa kestopehkon kosteuden muuttuminen kasvun aikana ja kuivikkeesta tapahtuvan haihtumisen lisääntyminen. Ilmanvaihdon mitoituksen perustaksi voidaan valita CIGR:n ilmastointityöryhmän normiehdotuksessa /23/ olevat lämmönluovutuksen ja vesihöyrynmuodostuksen laskukaavat kuitenkin sillä muutoksella, että vesihöyrynmuodostus lasketaan koko kasvukauden ajan lämpötilaa $t_s = 20^{\circ}\text{C}$ vastaavana.

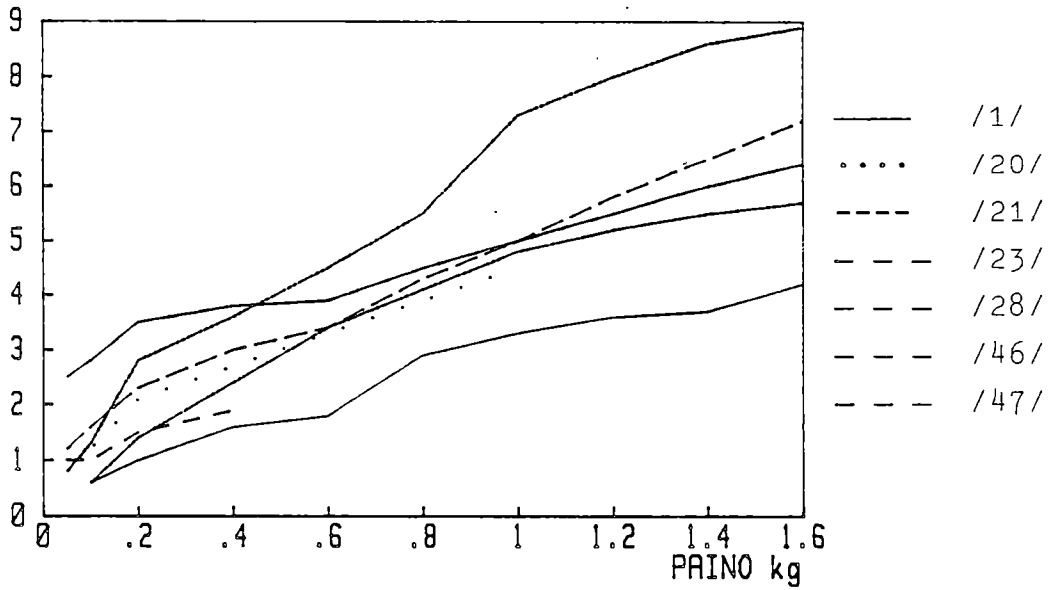
Broilereiden lämmönluovutus ja vesihöyrynmuodostus sekä sitä vastaava minimi-ilmanvaihto mitoitusolosuhteissa on esitetty taulukossa 37. Arvot on laskettu kaavojen (17), (30), (34) ja (2) avulla.

LÄMPÖ W



Kuva 15. Broilereiden lämmönluovutus

KOSTEUS g/h



Kuva 16. Vesihöyrynmuodostus broilerikanalassa

Taulukko 36. Broilereiden lämmönluovutus ja kanalassa muodostuva vesihöyry

		Kirjallisuusviitteen numero													
t _s °C	m kg	/1/		/20/		/21/		/23/		/28/		/46/		/47/	
		Ø _e W	g _s g/h	Ø _e W	g _s g/h	Ø _e W	g _s g/h	Ø _e W	g _s g/h	Ø _e W	g _s g/h	Ø _e W	g _s g/h	Ø _e W	g _s g/h
33	0.05	-	-	1.0	1.0	0.7	1.0	1.0	1.2	2.0	2.5	-	-	0.9	0.8
29	0.1	1.2	0.6	1.6	1.2	1.5	1.0	1.7	1.6	3.1	2.8	1.5	0.6	1.5	1.3
27	0.2	2.3	1.0	2.6	2.1	2.3	1.5	3.0	2.3	4.4	3.5	2.9	1.4	2.3	2.8
23	0.4	4.1	1.6	-	-	3.9	1.9	5.0	3.0	6.3	3.8	5.4	2.4	4.7	3.6
20	0.6	5.8	1.8	-	-	-	-	6.8	3.4	7.8	3.9	7.5	3.4	6.1	4.5
20	0.8	7.7	2.9	-	-	-	-	8.5	4.5	8.9	4.5	8.9	4.1	7.0	5.5
20	1.0	9.5	3.3	7.7	4.5	-	-	10.0	5.0	10.0	5.0	10.0	4.8	9.0	7.3
20	1.2	10.1	3.6	-	-	-	-	11.5	5.8	11.0	5.5	10.5	5.2	10.1	8.0
20	1.4	10.8	3.7	-	-	-	-	12.9	6.5	11.8	6.0	11.1	5.5	10.8	8.6
20	1.6	11.5	4.2	-	-	-	-	14.2	7.2	12.7	6.4	11.6	5.7	11.4	8.9

Taulukko 37. Broilereiden lämmönluovutus sekä kanalassa muodostuva vesihöyry ja sen poistamiseksi tarvittava ilmanvaihto

m kg	t_s °C	ψ_s %	ϕ_e W	g_s g/h	\dot{V}_1 m ³ /h
0.05	33	60	1.0	0.5	0.03
0.1	29	60	1.7	0.9	0.05
0.2	27	65	2.9	1.5	0.09
0.4	23	70	5.0	2.5	0.18
0.6	20	70	6.8	3.4	0.30
0.8	20	70	8.5	4.3	0.38
1.0	20	70	10.0	5.0	0.44
1.2	20	70	11.5	5.8	0.51

jossa ϕ_e eläimen lämmönluovutus, W
 g_s vesihöyrynmuodostus eläintä kohti, g/h
 \dot{V}_1 ilmavirta, m³/h

5.4.3 Hiilidioksidinmuodostus broilerikanalassa

Lukuarvoja kanalassa tapahtuvalle hiilidioksidinmuodostukselle kirjallisuusviitteinen on taulukossa 38.

Taulukko 38. Broilereiden hiilidioksidinmuodostus

m kg	t_s °C	Kirjallisuusviitteen no		
		/20/	/21/	/23/
		K l/h	K l/h	K l/h
0.05	33	0.18	0.10	0.16
0.1	29	0.31	0.18	0.28
0.2	27	0.48	0.35	0.48
0.4	23	0.79	0.58	0.82
0.6	20	1.07	-	1.12
0.8	20	1.33	-	1.39
1.0	20	1.59	-	1.64
1.2	20	1.79	-	1.89

Kun lasketaan hiilidioksidin poistamiseksi tarvittavan minimi-ilmanvaihdon suuruus voidaan todeta, että hiilidioksidin poistamiseksi tarvitaan hieman suurempi ilmavirta kuin vesihöyryn poistamiseksi (mitoitusolosuhteissa $t_u = -20^{\circ}\text{C}$). Hiilidioksidin poistamiseksi tarvittava minimi-ilmanvaihto on taulukossa 39 ja se on laskettu kaavan (2) avulla. Hiilidioksidin enimmäispitoisuus alle neljän viikon ikäisillä broilereilla 2.5 l/m^3 ja sitä suuremmilla eläimillä 3.5 l/m^3 .

Taulukko 39. Broilerikanalassa muodostuva hiilidioksidi ja sen poistamiseksi tarvittava ilmanvaihto

m kg	t_s $^{\circ}\text{C}$	K l/h	\dot{V}_3 m^3/h
0.05	33	0.16	0.07
0.1	29	0.28	0.13
0.2	27	0.48	0.22
0.4	23	0.82	0.37
0.6	20	1.12	0.35
0.8	20	1.39	0.43
1.0	20	1.64	0.51
1.2	20	1.89	0.59

jossa K hiilidioksidinmuodostus eläintä kohti, l/h
 \dot{V}_3 ilmavirta, m^3/h

5.4.4 Broilereiden maksimi-ilmanvaihtotarve

Laskettaessa maksimi-ilmanvaihtotarvetta voidaan mitoittavaksi sisälämpötilaksi valita broilereilla joiden paino on yli 0.1 kg lämpötila $t_s = 28^\circ\text{C}$. Taulukkoon 40 on laskettu eläinten lämmönluovutus ja vesihöyrynmuodostus mitoitusolosuhteissa edellä valittuja kaavoja käyttäen. Vesihöyrynmuodostusta laskettaessa on poikettu, kuten minimi-ilmanvaihtonkin yhteydessä, CIGR:n ilmastointityöryhmän normiehdotuksen /23/ laskutavasta siten, että sidotun lämmön osuus kokonaislämmönluovutuksesta on laskettu käyttäen laskennallisena lämpötilana seuraavanlaisia arvoja:

$m = 0.05 \dots 0.1$ kg	;	$t_s = 20^\circ\text{C}$
$m = 0.2$ kg	;	$t_s = 21^\circ\text{C}$
$m = 0.4$ kg	;	$t_s = 24^\circ\text{C}$
$m = 0.6 \dots 1.2$ kg	;	$t_s = 28^\circ\text{C}$

Edellä esitettyyn menettelyyn ovat syynä Petersenin /46/ mittauksissaan saamat tulokset. Taulukkoon 40 on lisäksi laskettu maksimi-ilmanvaihtotarve kaavalla (1) ulkoilman lämpötilassa $t_u = 21^\circ\text{C}$.

Taulukko 40. Broilereiden maksimi-ilmanvaihtotarve

m kg	t_s $^\circ\text{C}$	ϕ_e W	ϕ_s W	ξ_s g/h	\dot{V}_3 m^3/h
0.05	33	1.0	0.6	0.5	0.2
0.1	29	1.7	1.1	0.9	0.4
0.2	28	2.9	1.8	1.6	0.5
0.4	28	4.9	2.7	3.2	1.2
0.6	28	6.7	2.8	5.7	1.2
0.8	28	8.3	3.4	7.0	1.5
1.0	28	9.8	4.1	8.3	1.8
1.2	28	11.2	4.7	9.5	2.1

jossa ϕ_e eläimen lämmönluovutus, W
 ϕ_s eläimen vapaanlämmönluovutus, W
 ξ_s vesihöyrynmuodostus eläintä kohti, g/h
 \dot{V}_3 ilmavirta, m^3/h

5.4.5 Munituskanalan optimilämpötila

Munituskanalassa sopivista olosuhteista on kirjallisuudessa muunmuassa seuraavanlaisia tietoja.

- Mothesin /1/ mukaan ihanteellinen lämpötila-alue munivalla kanalla on 10...25°C. Suhteellisen kosteuden tulee olla lämpötilasta riippuen välillä 90...60%.
- Eklundin /3/ mukaan optimilämpötila lattiakanalassa on 15...18°C ja häkkikanalassa 17...20°C. Suhteellisen kosteuden tulee olla 60...80%.
- ASAE D 270.4 mitoitushjeessa /11/ sanotaan, että sisälämpötilan ollessa n. 13°C saavutetaan yleensä parhaat munintatulokset.
- Petersenin mukaan /15/ optimilämpötila ja -kosteus munivalle kanalle ovat 18°C ja 72%.
- Lähteessä /19/ optimilämpötilaksi munivalle kanalle esitetään lämpötilaa 10...16°C.
- TGL 29084 standardin mukainen optimilämpötila on 15...20°C ja suhteellinen kosteus 50...80% /20/.
- DIN 18910 standardi ilmoittaa optimiolosuhteiksi 15...20°C ja 60...80% sekä mitoitussarvoksi lämpötilalle 18°C ja suhteelliselle kosteudelle 70% /21/.
- AGRI/MECH Report No 73 /22/ mukaan ihanteellinen lämpötila munivalle kanalla on 10...16°C.
- BS 5502 Section 2.2:1981 /26/ mukaan lämpötilan tulee olla kanalassa alueella 21...24°C ja suhteellisen kosteuden välillä 50...70%.
- Lähteen /38/ mukaan optimilämpötila kanalassa on 15...22°C. Suhteellisen kosteuden tulee pysyä alueella 50...80% mitoitussarvojen ollessa 18°C ja 70%.

Yllä olevien tietojen perusteella valitaan ilmanvaihtoa mitoitettaessa lämpötilan ja suhteellisen kosteuden mitoitussarvoiksi $t_s = 18^\circ\text{C}$ ja $\varphi_s = 70\%$.

5.4.6 Munivien kanojen lämmönluovutus ja kanalassa muodostuva vesihöyry

ASAE D 270.4 /11/ mukaan White-Leghorn-kanan lämmönluovutus on n. 5,8 W/kg. Sidotun lämmön osuus on lämpötilassa 18°C noin 31%. Näiden tietojen mukaan saadaan:

m = 1.5 kg	$\phi_e = 8.7$ W	$g_s = 3.9$ g/h
m = 2.0 kg	$\phi_e = 11.6$ W	$g_s = 5.2$ g/h
m = 2.5 kg	$\phi_e = 12.5$ W	$g_s = 5.6$ g/h

TGL 29084 /20/ mukaan lämmönluovutus ja vesihöyrynmuodostus redusoituna kaavojen (13), (15) ja (30) avulla ovat:

m = 1.5 kg	$\phi_e = 9.8$ W	$g_s = 5.2$ g/h
m = 2.0 kg	$\phi_e = 12.0$ W	$g_s = 6.4$ g/h
m = 2.5 kg	$\phi_e = 13.6$ W	$g_s = 7.4$ g/h

DIN 18910 standardissa /21/ ilmoitetut arvot ovat seuraavat

m = 1.63 kg	$\phi_e = 10.3$ W	$g_s = 4.9$ g/h
m = 2.2 kg	$\phi_e = 11.8$ W	$g_s = 5.5$ g/h

CIGR:n ilmastointityöryhmän normiehdotuksessa /23/ laskeetaan lämmönluovutus kaavojen (17), (30) ja (35) avulla. Näiden avulla saadaan:

$$\phi_e = 7.0 m^{0.75} f_t \quad (35)$$

m = 1.5 kg	$\phi_e = 9.5$ W	$g_s = 4.3$ g/h
m = 2.0 kg	$\phi_e = 11.8$ W	$g_s = 5.3$ g/h
m = 2.5 kg	$\phi_e = 13.9$ W	$g_s = 6.3$ g/h

SS 95 10 50 standardissa /27/ ilmoitetut arvot redusoituna mitoitustiloihin ovat

m = 1.5 kg	$\phi_e = 10.2$ W	$g_s = 4.7$ g/h
m = 2.0 kg	$\phi_e = 11.8$ W	$g_s = 5.4$ g/h

Ström /28/ laskee mitoitusarvot kaavojen (17), (30) ja (36) avulla

$$\phi_e = 8.9 m^{0.4} \quad (36)$$

$$m = 1.5 \text{ kg} \quad \phi_e = 10.5 \text{ W} \quad g_s = 4.7 \text{ g/h}$$

$$m = 2.0 \text{ kg} \quad \phi_e = 11.7 \text{ W} \quad g_s = 5.3 \text{ g/h}$$

$$m = 2.5 \text{ kg} \quad \phi_e = 12.8 \text{ W} \quad g_s = 5.8 \text{ g/h}$$

Lähteen /38/ mukaan mitoitusarvot ovat:

$$m = 1.5 \text{ kg} \quad \phi_e = 9.2 \text{ W} \quad g_s = 4.5 \text{ g/h}$$

$$m = 2.0 \text{ kg} \quad \phi_e = 11.4 \text{ W} \quad g_s = 5.6 \text{ g/h}$$

Longhousen mukaan /48/ lämmönluovutus ja vesihöyrynmuodostus ovat

$$m = 1.5 \text{ kg} \quad \phi_e = 8.7 \text{ W} \quad g_s = 4.6 \text{ g/h}$$

$$m = 2.0 \text{ kg} \quad \phi_e = 11.6 \text{ W} \quad g_s = 6.1 \text{ g/h}$$

$$m = 2.5 \text{ kg} \quad \phi_e = 12.5 \text{ W} \quad g_s = -$$

Vertailtaessa eri lähteiden tietoja voidaan havaita, että niin lämmönluovutukset kuin myös vesihöyrynmuodostukset ovat varsin lähellä toisiaan. Johdonmukaisuuden vuoksi valitaan ilmanvaihdon mitoituksen pohjaksi CIGR:n ilmas-tointityöryhmän normiehdotuksen /23/ laskentamenetelmällä saadut arvot: Vesihöyrynpoistoon perustuvaksi minimi-ilman-vaihdoksi saadaan em. perustein

$$m = 1.5 \text{ kg} \quad \phi_e = 9.5 \text{ W} \quad g_s = 4.3 \text{ g/h} \quad V_2 = 0.43 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$m = 2.0 \text{ kg} \quad \phi_e = 11.8 \text{ W} \quad g_s = 5.3 \text{ g/h} \quad V_2 = 0.53 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$m = 2.5 \text{ kg} \quad \phi_e = 13.9 \text{ W} \quad g_s = 6.3 \text{ g/h} \quad V_2 = 0.63 \text{ m}^3/\text{h}$$

5.4.7 Hiilidioksidinmuodostus munituskanalassa

Lukuarvoja hiilidioksidinmuodostukselle löytyy muunmuassa TGL 29084:stä /20/, DIN 18910:sta /21/, CIGR:n ilmastointityöryhmän normiehdotuksesta /23/, /33/ ja /38/. Lukuarvot on esitetty taulukossa 41.

Taulukko 41. Munivan kanan hiilidioksidinmuodostus

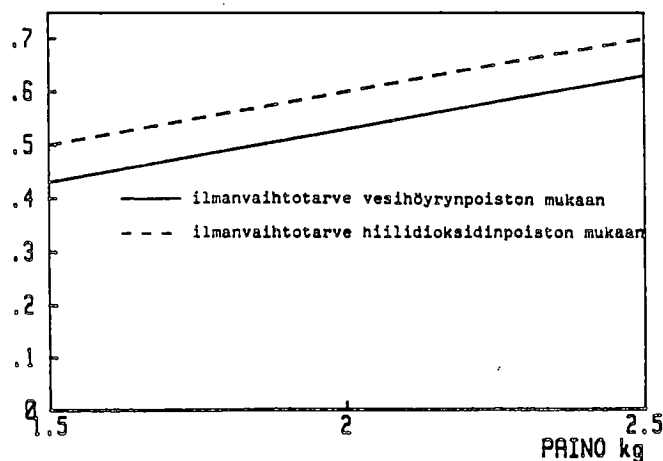
m kg	t _s °C	Kirjallisuusviitteen numero				
		/20/	/21/	/23/	/33/	/38/
		K	K	K	K	K
		l/h	l/h	l/h	l/h	l/h
1.5	18	2.1	1.2	1.6	2.4	1.5
2.0	18	2.6	1.4	1.9	2.9	1.9
2.5	18	3.0	-	2.3	3.2	-

jossa K hiilidioksidinmuodostus kanaa kohti, l/h

Kun lasketaan hiilidioksidin poistamiseksi tarvittava ilmanvaihto CIGR:n ilmastointityöryhmän normiehdotuksen /23/ tietojen pohjalta voidaan todeta, että se on hieman suurempi kuin vesihöyryn poistamiseksi tarvittava.

$$\begin{array}{lll}
 m = 1.5 \text{ kg} & K = 1.6 \text{ l/h} & \dot{V}_3 = 0.5 \text{ m}^3/\text{h} \\
 m = 2.0 \text{ kg} & K = 1.9 \text{ l/h} & \dot{V}_3 = 0.6 \text{ m}^3/\text{h} \\
 m = 2.5 \text{ kg} & K = 2.3 \text{ l/h} & \dot{V}_3 = 0.7 \text{ m}^3/\text{h}
 \end{array}$$

ILMAVIRTA m³/h



Kuva 18. Ilmanvaihtotarve kanaa kohti

5.4.8 Munivien kanojen maksimi-ilmanvaihto

Jos valitaan maksimi-ilmanvaihdon mitoituslämpötilaksi $t_s = 25^{\circ}\text{C}$ saadaan edellä esitetyillä kaavoilla seuraavat lukuarvot

Taulukko 42. Munivan kanan maksimi-ilmanvaihtotarve

m kg	t_s $^{\circ}\text{C}$	ϕ_e W	ϕ_s W	g_s g/h	\dot{V}_1 m^3/h
1.5	25	9.4	4.9	6.5	3.7
2.0	25	11.7	6.1	8.1	4.7
2.5	25	13.8	7.2	9.5	5.5

jossa ϕ_e eläimen lämmönluovutus, W
 ϕ_s eläimen vapaanlämmönluovutus, W
 g_s vesihöyrynmuodostus eläintä kohti, g/h
 \dot{V}_1 ilmavirta, m^3/h

5.5 Hevostalli

5.5.1 Optimiolosuhteet hevostallissa

Seuraavassa on esitetty muutamia eri lähteissä esitettyjä tietoja hevostallin optimiolosuhteista.

- DIN 18910 standardin mukaan /21/ optimilämpötila työhevoselle on 10...15°C ja juoksuhevoselle 15...17°C. Vastaavat mitoituslämpötilat ovat 12°C ja 16°C. Suhteellisen kosteuden tulee olla välillä 60...80%.
- Lähteessä /49/ on useita eri tutkijoiden esittämiä optimilämpötilan arvoja:
 - Frank ja Nicolay (1969) esittävät aluetta 10...15°C
 - Ober (1966) aluetta 8...15°C
 - Bauer (1957) aluetta 12...15°C
 - Ivas aluetta 7...13°C
 - Zorn aluetta 8...10°C.

Samassa lähteessä on Cords-Parchinin (1958) esittämä suhteellista kosteutta rajoittava vaatimus. Hänen mukaansa suhteellinen kosteus ei sa ylittää seuraavia arvoja

$$\psi_s = 85\% \quad \text{kun } t_s = 8^\circ\text{C}$$

$$\psi_s = 80\% \quad \text{kun } t_s = 12^\circ\text{C}$$

$$\psi_s = 75\% \quad \text{kun } t_s = 14^\circ\text{C}$$

$$\psi_s = 70\% \quad \text{kun } t_s = 16^\circ\text{C}$$

- CIGR:n ilmastointityöryhmän normiehdotuksessa /23/ on mitoitusolosuhteiksi ravihevosille valittu 14°C ja työhevosille 10°C. Vastaavat suhteelliset kosteudet ovat 76% ja 80%.
- Standardissa SS 95 10 51 /24/ mitoitusolosuhteet ovat 12°C ja 80%.

- Lähteen /38/ mukaan optimiolosuhteet sekä ravi- että työhevosille ovat 8...15°C ja 50...80%, mutta mitoitusolosuhteet ravihevosille ovat 15°C ja 70% sekä työhevosille 10°C ja 80%.

Edellä esitettyjen tietojen perusteella valitaan mitoitusolosuhteiksi ravihevosille $t_s = 14^\circ\text{C}$ ja $\varphi_s = 75\%$ sekä työhevosille $t_s = 10^\circ\text{C}$ ja $\varphi_s = 80\%$.

5.5.2 Hevosen lämmönluvutus ja tallissa muodostuva vesihöyry

Lämmönluvutusta ja vesihöyrynmuodostusta käsittelevät mm. DIN 18910 /21/, CIGR:n ilmastointityöryhmän normiehdotus /23/, SS 95 10 50 /27/ ja /38/. Lukuarvot on esitetty taulukossa 43 redusoituna valittuihin mitoitusolosuhteisiin. Redusointi tapahtuu kaavoilla (13), (14), (15) ja (30).

Taulukko 43. Hevosen lämmönluvutus ja tallissa muodostuva vesihöyry

m kg	t_s °C	Kirjallisuusviitteen numero							
		/21/		/23/		/27/		/38/	
		ϕ_e W	g_s g/h	ϕ_e W	g_s g/h	ϕ_e W	g_s g/h	ϕ_e W	g_s g/h
400	14	887	360	651	245	639	204	592	269
500	10	887	316	671	221	647	179	609	213
600	10	986	349	769	254	-	-	676	236
700	10	1050	371	863	285	855	236	758	265

Käytettävissä olevien tietojen vähyyden takia on vaikea sanoa mitkä tiedot parhaiten vastaavat todellisia olosuhteita. Valitaan ilmanvaihtolaskelmien perustaksi CIGR:n ilmastointityöryhmän normiehdotuksessa /23/ esitetyt lukuarvot. Vesihöyrynpoistoon perustuvaksi minimi-ilmanvaihdoksi saadaan taulukossa 44 esitetyt arvot.

Taulukko 44. Hevosen lämmönluovutus sekä tallissa muodostuva vesihöyry ja sen poistamiseksi tarvittava ilmanvaihto

m kg	t_s °C	φ_s %	ϕ_e W	g_s g/h	\dot{V}_2 m ³ /h
500	14	75	651	245	29
500	10	80	671	221	32
600	10	80	769	254	36
700	10	80	863	385	41

jossa ϕ_e eläimen lämmönluovutus, W
 g_s vesihöyrynmuodostus eläintä kohti, g/h
 \dot{V}_2 ilmavirta, m³/h

5.5.3 Hiilidioksidinmuodostus hevostallissa

Lukuarvoja hiilidioksidinmuodostukselle on taulukossa 45.

Taulukko 45. Hiilidioksidinmuodostus hevosta kohti

m kg	t_s °C	Kirjallisuusviitteen numero		
		/21/	/23/	/38/
		K l/h	K l/h	K l/h
500	14	133	107	97
500	10	133	110	100
600	10	146	126	111
700	10	155	141	124

Jos edelleen valitaan CIGR:n ilmastointityöryhmän /23/ esittämät tiedot voidaan todeta, että hiilidioksidin poistamiseksi tarvittava ilmavirta on hieman suurempi kuin \dot{V}_2 . Hiilidioksidin poistamiseksi tarvittava minimi-ilmanvaihto on:

$m = 500 \text{ kg}$	$t_s = 14^\circ\text{C}$	$\dot{V}_3 = 33 \text{ m}^3/\text{h}$
	$t_s = 10^\circ\text{C}$	$\dot{V}_3 = 34 \text{ m}^3/\text{h}$
$m = 600 \text{ kg}$	$t_s = 10^\circ\text{C}$	$\dot{V}_3 = 39 \text{ m}^3/\text{h}$
$m = 700 \text{ kg}$	$t_s = 10^\circ\text{C}$	$\dot{V}_3 = 44 \text{ m}^3/\text{h}$

5.5.4 Hevosen maksimi-ilmanvaihtotarve

Kun käytetään edellä valittuja laskukaavoja ja valitaan mitoituslämpötilaksi maksimi-ilmanvaihdon olosuhteissa $t_s = 25^\circ\text{C}$ saadaan maksimi-ilmanvaihdoksi saadaan taulukoon 46 kaavojen (37), (30), (17) ja (1) avulla hevosen maksimi-ilmanvaihtotarve.

$$\phi_e = 6.1 \text{ m}^{0.75} f_t \quad (37)$$

jossa f_t on kaava (30)

Taulukko 46. Hevosen maksimi-ilmanvaihtotarve

m kg	t_s $^\circ\text{C}$	ϕ_e W	ϕ_s W	g_s g/h	\dot{V}_1 m^3/h
500	25	642	335	441	256
600	25	736	384	506	294
700	25	826	431	568	330

jossa ϕ_e eläimen lämmönluovutus, W
 ϕ_s eläimen vapaanlämmönluovutus, W
 g_s vesihöyrynmuodostus eläintä kohti, g/h
 \dot{V}_1 ilmavirta, m^3/h

5.6 Lampola

5.6.1 Optimiolosuhteet lampolassa

Seuraavassa on esitetty muutamia eri lähteissä esitettyjä arvoja lampaan ihanneolosuhteista:

- Mothesin /1/ mukaan optimilämpötila karitsalle on 10...17°C ja aikuiselle lampaalle 8...17°C. Suhteellinen kosteus tulee olla 80...60%.
- TGL 29804 /20/ esittää optimilämpötilaksi

karitsat	$t_s = 18...22^\circ\text{C}$
jalostus- ja lihotuslampaat	$t_s = 10...18^\circ\text{C}$
aikuiset lampaat	$t_s = 8...18^\circ\text{C}$

- DIN 18910:n /21/ mukaan lämpötilan tulee olla jalostuseläimille 6...14°C ja lihotuseläimille 16...14°C vastaavien ilmanvaihtolaskelmissa käytettävien mitoituslämpötilojen ollessa 10°C ja 16°C suhteellisen kosteuden suositusarvo on 80%.
- CIGR:n ilmastointityöryhmän normiehdotuksessa /23/ mitoituslämpötila lihalampailla on 16...21°C ja jalostus- sekä villalampailla 5...15°C. Ilmanvaihtolaskennassa käytetään vastaavasti mitoitusarvoja 14...12°C ja 10°C. Suhteellisen kosteuden ohjearvo on 50...80%.

Em. tietojen perusteella valitaan mitoituslämpötilaksi $t_s = 10^\circ\text{C}$ ja $\varphi_s = 80\%$.

5.6.2 Lampaan lämmönluovutus ja lampolassa muodostuva vesihöyry

Lämmönluovutukselle ja vesihöyrynmuodostukselle esitettyjä lukuarvoja on taulukossa 47.

Taulukko 47. Lampaan lämmönluovutus ja lampolassa muodostuva vesihöyry

m kg	Kirjallisuusviitteen numero									
	/1/		/20/		/21/		/23/		/38/	
	ϕ_e W	g_s g/h	ϕ_e W	g_s g/h	ϕ_e W	g_s g/h	ϕ_e W	g_s g/h	ϕ_e W	g_s g/h
10	40	17	57	13	46	28	39/32	13/10	55	19
20	64	29	77	35	68	33	65/53	21/18	77	27
40	121	50	98	57	104	42	109/89	36/30	112	39
60	146	58	121	82	139	52	148/121	49/46	119	42
80	170	67	147	108	168	62	184/50	61/50	148	52
100	194	76	150	197	72	72	217/178	72/59	175	61

Kuten taulukosta 47 nähdään ovat eri lähteiden lämmönluovutusluvut varsin lähellä toisiaan. Sen sijaan vesihöyrynmuodostuksessa on suurempia eroja, varsinkin TGL 29084:n /20/ lukuarvot eroavat huomattavasti muiden lähteiden arvoista. Koska lampaalla villan pituus vaikuttaa huomattavasti lämmönluovutukseen ja varsinkin vesihöyrynmuodostukseen voivat erot esimerkiksi TGL 29084:n /20/ tietojen osalta selittyä tästä syystä. Øklandin ja Lillengin /41/ tekemien mittaus-
ten mukaan lampaan keskimääräinen lämmönluovutus ja vesihöyrynmuodostus olivat $\phi_e = 100$ W ja $g_s = 51$ g/h, kun lämpötila oli 10°C. Eläinten painosta ei ole mainintaa. Valitaan ilmanvaihdon mitoituksen perustaksi CIGR:n ilmastointityöryhmän normiehdotuksen /23/ arvot korjattuina Øklandin ja Lillengin /41/ esittämillä tiedoilla. Lämmönluovutus lasketaan kaavalla (38)

$$\phi_e = 6.6 m^{0.75} f_t \quad (38)$$

jossa f_t on kaava (30)

Sidotun lämmön suhteellinen osuus lasketaan kaavalla (31).

Taulukko 48. Lampaan lämmönluovutus sekä lampolassa muodostuva vesihöyry ja sen poistamiseksi tarvittava ilmanvaihto

m kg	t_s °C	ψ_s %	ϕ_e W	g_s g/h	\dot{V}_2 m ³ /h
10	10	80	39	17	2.4
30	10	80	65	28	4.0
40	10	80	109	47	6.7
60	10	80	148	64	9.2
80	10	80	184	79	11.3
100	10	80	217	94	13.5

jossa ϕ_e eläimen lämmönluovutus, W
 g_s vesihöyrynmuodostus eläintä kohti, g/h
 \dot{V}_2 ilmavirta, m³/h

5.6.3 Hiilidioksidinmuodostus lampolassa

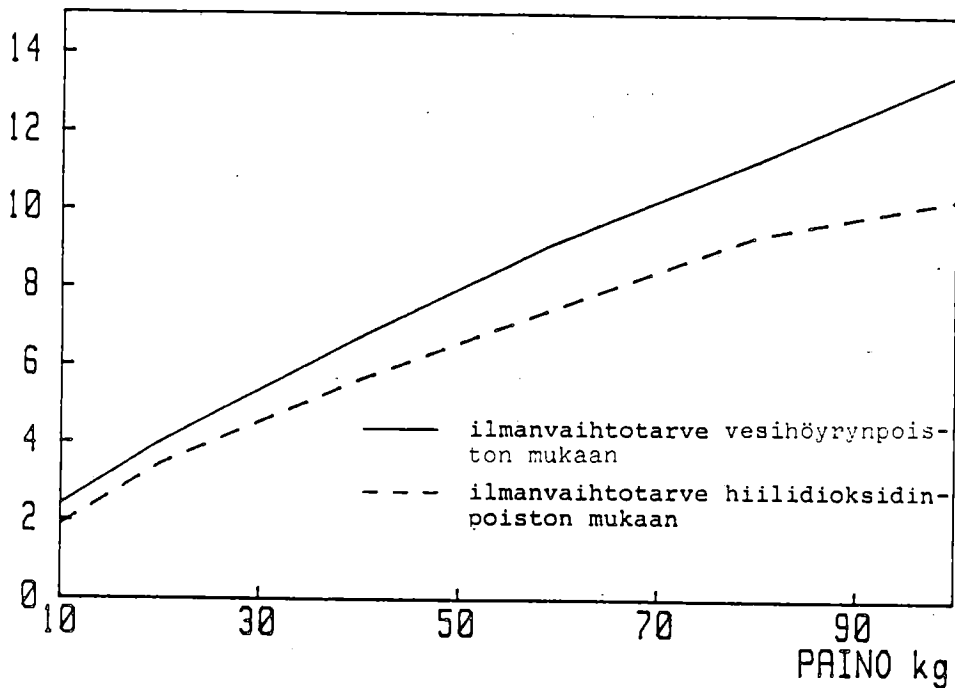
Lukuarvoja hiilidioksidinmuodostukselle esittävät muun-
 muassa TGL 29804 /20/, DIN 18910 /21/, CIGR:n ilmasto-
 tityöryhmän normiehdotus /23/, ja /38/. Luvut on esitetty
 taulukossa 49.

Taulukko 49. Hiilidioksidinmuodostus lampolassa eläintä kohti

m kg	Kirjallisuusviitteen numero			
	/20/	/21/	/23/	/38/
	K l/h	K l/h	K l/h	K l/h
10	9	7	6	9
20	13	10	11	13
40	18	19	18	18
60	22	22	24	20
80	26	27	30	24

Taulukosta 49 voidaan nähdä, että eri lähteissä esiintyvät tiedot ovat varsin lähellä toisiaan. Täten voidaan käyttää CIGR:n ilmastointityöryhmän normiehdotuksessa /23/ olevia lukuarvoja, jotka perustuvat siihen, että eläimen luovuttama 100 W lämpöä kohti vapautuu hiilidioksidia 16.4 l/h. Kun lasketaan tältä pohjalta ilmanvaihdon tarve huomataan, että se jää pienemmäksi kuin \dot{V}_2 .

ILMAVIRTA m³/h



Kuva 19. Ilmanvaihtotarve lampolassa

5.6.4 Lampaan maksimi-ilmanvaihtotarve

Kaavojen (1), (30), (31) ja (35) avulla saadaan maksimi-ilmanvaihtotarpeeksi taulukon 50 arvot.

Taulukko 50. Lampaiden maksimi-ilmanvaihtotarve

m kg	t_s °C	ϕ_e W	ϕ_s W	g_s g/h	\dot{V}_1 m ³ /h
10	25	37	17	29	13
20	25	62	28	49	21
40	25	104	47	82	36
60	25	142	64	112	49
80	25	176	79	139	60
100	25	208	94	164	72

jossa ϕ_e eläimen lämmönluovutus, W
 ϕ_s eläimen vapaanlämmönluovutus, W
 g_s vesihöyrynmuodostus eläintä kohti, g/h
 \dot{V}_1 ilmavirta, m³/h

6. Yhteenvedo ilmanvaihdon mitoittamisesta eläinsuojassa

6.1 Mitoittavat tekijät

Ilmanvaihdon tehtävänä on:

1. Eläinsuojan ilman lämpötilan pitäminen sopivana eli ylimääräisen lämmön poistaminen.
2. Eläinsuojan ilman suhteellisen kosteuden pitäminen riittävän alhaisena eli rakennuksessa muodostuvan vesihöyryn poistaminen.
3. Eläinsuojassa muodostuvien haitallisten kaasujen pitoisuuksien pitäminen riittävän alhaisina. Haitallisista kaasuista tärkein ilmanvaihdon mitoituksen kannalta on hiilidioksidi.

Ilmanvaihdon mitoittaminen perustuu kolmeen edellämainittuun seikkaan. Minimi-ilmanvaihtotarve määräytyy joko hiilidioksidin tai vesihöyryn poistamistarpeen mukaan. Maksimi-ilmanvaihto perustuu yleensä ylimääräisen lämmön poistamistarpeeseen.

6.2 Ilmanvaihtotarpeen laskukaavat

Ilmanvaihtotarve voidaan laskea kaavojen (1), (2) ja (3) avulla, kun tunnetaan rakennuksen sisä- ja ulkopuolella vallitsevat olosuhteet sekä rakennuksessa tapahtuva lämmön-, kosteuden- ja hiilidioksidinmuodostus sekä rakennuksen vaipan läpi tapahtuva lämpövuoto. Em. kaavoilla saaduista ilmanvaihdon lukuarvoista valitaan se, joka mitoitusolosuhteissa on suurin.

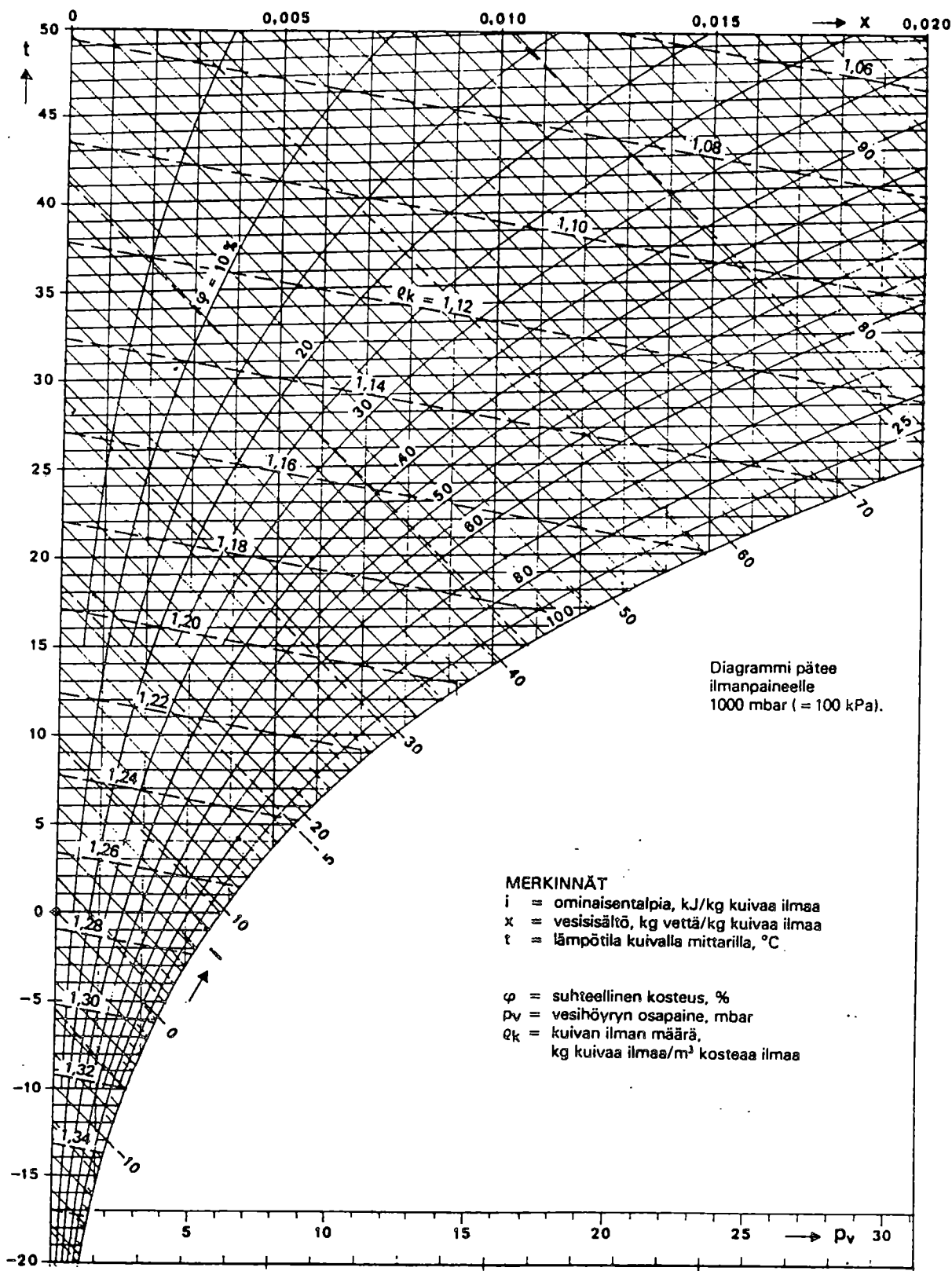
Kaavoissa (1), (2) ja (3) tarvittavat suureet ψ_s , x_s ja x_u saadaan Mollier-diagrammista.

$$\dot{V}_1 = \frac{3.6\dot{\varnothing}_{iv}}{\rho_s c_p (t_s - t_u)} \quad (1)$$

$$\dot{V}_2 = \frac{g_s}{\rho_s (x_s - x_u)} \quad (2)$$

$$\dot{V}_3 = \frac{K}{c - c_o} \quad (3)$$

joissa	\dot{V}_1	ylimääräisen lämmön poistamiseksi tarvittava ilmanvaihto, m ³ /h
	\dot{V}_2	vesihöyryn poistamiseksi tarvittava ilmanvaihto, m ³ /h
	\dot{V}_3	hiilidioksidin poistamiseksi tarvittava ilmanvaihto, m ³ /h
	$\dot{\varnothing}_{iv}$	ilmanvaihdon mukana poistuva vapaa lämpö, W
	ρ_s	ilman tiheys, kg/m ³
	c_p	ilman ominaislämpö. kJ/kg ^o C ($c_p=1.006$ kJ/kg ^o C)
	t_s	sisäilman lämpötila, ^o C
	t_u	ulkoilman lämpötila, ^o C
	g_s	vesihöyrynmuodostus eläinsuojassa, g/h
	x_s	sisäilman vesisisältö, g/kg
	x_u	ulkoilman vesisisältö, g/kg
	K	hiilidioksidin muodostumisnopeus, l/h
	c	suurin sallittu hiilidioksidipitoisuus eläinsuojan ilmassa, l/m ³
	c_o	ulkoilman hiilidioksidipitoisuus, n.0.3 l/m ³



Kuva 1. Mollier-diagrammi

6.3 Eläinten lämmönluovutuksen laskeminen

Laskettaessa eläinten lämmönluovutusta käytetään seuraavanlaisia kirjainsymboleja:

f_t	lämmönluovutuksen lämpötilakorjauskerroin
t_s	sisälämpötila, °C
\emptyset_e	eläimen kokonaislämmönluovutus, W
m	eläimen paino, kg
L	sidotun lämmön osuus kokonaislämmönluovutuksesta
A	eläimen tiineysaika, d
m_m	eläimen maidontuotos, kg/d

Käytettävät kaavat ovat:

Sika

Lämmönluovutuksen korjauskerroin f_t on sialle:

$$f_t = 4 \cdot 10^{-5} (25 - t_s)^3 + 1 \quad (4)$$

Lihotussika

$$\emptyset_e = (29 (m+2)^{0.5} - 40) \cdot f_t \quad (5)$$

$$L = 0.25 + 1.85 \cdot 10^{-7} (t_s + 10)^4 \quad (6)$$

Joutilas emakko

$$\emptyset_e = (4.85m^{0.75} + 8 \cdot 10^{-5}A^3) \cdot f_t \quad (7)$$

$$L = 0.2 + 1.85 \cdot 10^{-7} (t_s + 10)^4 \quad (8)$$

Imettävä emakko porsaineen (10 kpl á 7 kg)

$$\emptyset_e = (4.85m^{0.75} + 585) \cdot f_t \quad (9)$$

$$L = 0.2 + 1.85 \cdot 10^{-7} (t_s + 10)^4 \quad (10)$$

Pikkuporsas (alle 30 kg)

$$\emptyset_e = (29(m + 2)^{0.5} - 40) f_t \quad (11)$$

$$L = 0.2 + 1.85 \cdot 10^{-7} (t_s + 10)^4 \quad (12)$$

Nauta

Lämmönluovutuksen lämpötilakorjauskerroin f_t on naudalle:

$$f_t = 4 \cdot 10^{-5} (20 - t_s)^3 + 1 \quad (13)$$

Lypsylehmä

$$\emptyset_e = (5.6m^{0.75} + 22m_m + 1.65 \cdot 10^{-5}A^3) f_t \quad (14)$$

$$L = 0.27 + 1.85 \cdot 10^{-7} (t_s + 10)^4 \quad (15)$$

Vasikka ja nuorkarja

$$\emptyset_e = (65(m+150)^{0.5} - 800) \cdot f_t \quad (16)$$

$$L = 0.32 + 1.85 \cdot 10^{-7} (t_s + 10)^4 \quad (17)$$

Hevonen

Lämmönluovutuksen lämpötilakorjauskerroin f_t on hevoselle:

$$f_t = 4 \cdot 10^{-5} (20 - t_s)^3 + 1 \quad (18)$$

$$\emptyset_e = 6.1 m^{0.75} f_t \quad (19)$$

$$L = 0.2 + 1.85 \cdot 10^{-7} (t_s + 10)^4 \quad (20)$$

Siipikarja

Lämmönluovutuksen korjauskerroin f_t on siipikarjalle:

$$f_t = 4 \cdot 10^{-5} (20 - t)^3 + 1 \quad (21)$$

Broileri

$$\varnothing_e = 10m^{0.75} f_t \quad (22)$$

$$L = 0.2 + 1.85 \cdot 10^{-7} (t_s + 10)^4 (*) \quad (23)$$

Muniva kana

$$\varnothing_e = 7.0 m^{0.75} f_t \quad (25)$$

$$L = 0.2 + 1.85 \cdot 10^{-7} (t_s + 10)^4 \quad (26)$$

Lammas

Lämmönluovutuksen lämpötilakorjauskerroin f_t on lampaalle:

$$f_t = 4 \cdot 10^{-5} (20 - t_s)^3 + 1 \quad (27)$$

$$\varnothing_e = 6.6 m^{0.75} f_t \quad (28)$$

$$L = 0.2 + 1.85 \cdot 10^{-7} (t_s + 10)^4 \quad (29)$$

Vesihöyrynmuodostus g_s ja hiilidioksidinmuodostus K saadaan edellä esitettyjen tietojen perusteella kaavoilla (30) ja (31)

$$g_s = 1.44 L \varnothing_e \quad (30)$$

$$K = 0.164 \varnothing_e \quad (31)$$

joissa g_s vesihöyrynmuodostus, g/h
 K hiilidioksidinmuodostus, l/h

*) minimi-ilmanvaihtoa laskettaessa käytetään arvoa $L = 0.35$ sisälämpötilasta riippumatta (normaaliolosuhteissa)

6.4 Rakennuksen lämpövuodot

Osa rakennuksen sisällä muodostuvasta lämmöstä karkaa seinien, katon ja lattian läpi. Tämän lämpövirran suuruus riippuu rakenteiden lämpöeristyskyvystä sekä lämpötilaerosta vaipan yli kaavan (32) osoittamalla tavalla.

$$\emptyset_e = kA (t_s - t_u) \quad (32)$$

jossa	\emptyset_e	lämpövirta, W
	k	rakenneosan lämmönläpäisykerroin (k-arvo), W/m ² °C
	t_s	sisälämpötila, °C
	t_u	ulkolämpötila, °C
	A	rakenneosan pinta-ala, m ²

Alapohjan lämpöhäviöt lasketaan kaavasta (33)

$$\emptyset = qA$$

jossa	q	lämpövirran tiheys, W/m ²
	A	alapohjan pinta-ala, m ²

Alapohjan lämpöhäviöitä laskettaessa voidaan lämpövirran tiheydelle käyttää seuraavia lukuarvoja:

Pohjan ala	50 m ²	lämpövirran tiheys	13 W/m ²
	100 m ²		10 W/m ²
	200 m ²		7 W/m ²
	300 m ²		6 W/m ²

6.5 Lämpötasapaino

Kun tiedetään rakennuksessa vallitsevat olosuhteet ja eläinten määrä ja eläinlajike voidaan määrittää rakennuksen lämpötasapaino, jota kuvaa kaava (34)

$$\phi_e + \phi_L = \phi_j + \phi_i \quad (34)$$

jossa ϕ_e eläinten yhteenlaskettu lämmöntuotto, W
 ϕ_L laitteiden " " , W
 ϕ_j lämpöhäviöt rakenteiden läpi, W
 ϕ_i ilmanvaihdon mukana menevä lämpö, W

Koska kaavan (34) osatekijöistä tiedetään ϕ_e , ϕ_j ja ϕ_i voidaan ϕ_L ratkaista ja sen avulla selvittää tarvitaanko lisälämmitystä.

6.6 Ilmanvaihdon esimerkkisarvoja

Taulukkoon 1 on merkitty ilmanvaihdon minimi- ja maksimisarvoja. Minimi-ilmanvaihdon mitoitusolosuhteet ulkoilman osalta ovat $t_u = -20^\circ\text{C}$ ja $\varphi_s = 90\%$ ja maksimi-ilmanvaihdon osalta $t_u = 21^\circ\text{C}$. Rakennuksen sisäilman lämpötila, minimi-ilmanvaihtoa mitoitettaessa on esitetty taulukossa ja maksimi-ilmanvaihto on laskettu lämpötilaa $t_s = 25^\circ\text{C}$ vastavana lukuunottamatta broilereita, joilla se on ollut $t_s = 28^\circ\text{C}$ ($m > 0.2$ kg).

Hiilidioksidin poistamiseksi tarvittavan ilmanvaihdon perustana on ollut suurin sallittu hiilidioksidipitoisuus $c_o = 3.5$ l/m³ paitsi pienillä broilereilla ($m < 0.4$ kg) $c_o = 2.5$ l/m³.

Taulukko 1. Ilmanvaihdon mitoitusarvoja

Eläin	m kg	Talvi					Kesä			\dot{V}_m m ³ /h	\dot{V}_M m ³ /h
		t_s °C	ψ_s %	ϕ_e W	g_s g/h	K l/h	ϕ_s W	g_s g/h			
lihotussika	30	18	80	127	67	21	59	94	7	45	
	50	16	80	176	85	29	80	128	9	61	
	70	16	80	215	29	35	97	157	11	74	
	90	16	80	248	120	41	113	181	13	86	
joutilas emakko 60 d tiine	100	14	80	180	68	27	89	117	8	68	
	150	14	80	237	89	36	118	155	11	90	
	200	14	80	290	109	45	144	189	14	110	
imettävä emakko	150	16	80	336	138	55	171	224	17	131	
	200	16	80	387	159	63	197	259	20	151	
Imettävä emakko porsaineen	200	16	80	627	397	103	609	318	32	243	
pikkuporsas	10	20	70	61	31	10	32	42	3	25	
	15	20	70	80	40	13	42	55	4	32	
	20	20	70	97	49	16	50	66	5	38	
lypsylehmä 15 kg/d maitoa	400	12	85	893	403	146	394	686	48	301	
	500	12	85	986	445	162	435	758	53	333	
	600	12	85	1074	485	176	474	826	58	362	
vasikka	50	12	85	120	63	22	48	102	8	37	
	75	12	85	177	93	29	70	150	12	54	
nuorkarja	150	12	85	329	172	55	131	280	22	100	
	200	12	85	420	220	70	167	358	28	128	
	300	12	85	585	306	97	233	498	39	178	
	400	12	85	732	383	121	291	623	49	223	
	500	12	85	866	452	144	344	737	58	263	

Eläin	m kg	Talvi					Kesä		\dot{V}_m m ³ /h	\dot{V}_M m ³ /h
		t_s °C	φ_s %	\varnothing_e W	g_s g/h	K l/h	\varnothing_s W	g_s g/h		
hevonen(kilpa-) (työ-)	500	14	75	651	245	107	335	441	33	256
	500	10	80	671	221	110	335	441	34	256
	600	10	80	769	254	126	384	506	39	294
	700	10	80	863	285	141	431	568	44	330
lammas	10	10	80	39	17	6	17	29	2	13
	20	10	80	65	28	11	28	49	4	21
	40	10	80	109	47	18	47	82	7	36
	60	10	80	148	64	24	64	112	9	49
	80	10	80	184	79	30	79	139	11	60
	100	10	80	217	94	36	95	164	14	72
kana, muniva	1.5	18	70	10	4	2	5	7	0.5	4
	2.0	18	70	12	5	2	6	8	0.6	5
	2.5	18	70	14	6	6	7	10	0.7	6
broileri	0.05	33	60	1.0	0.5	0.2	0.6	0.5	0.1	0.2
	0.1	29	60	1.7	0.9	0.3	1.1	0.9	0.1	0.4
	0.2	27	65	3	1.5	0.5	1.8	1.6	0.2	0.5
	0.4	23	70	5	2.5	0.8	2.7	3.2	0.4	1.2
	0.6	20	70	7	3.4	1.1	2.8	5.7	0.4	1.2
	0.8	20	70	9	4.3	1.4	3.4	7.0	0.4	1.5
	1.0	20	70	10	5.0	1.6	4.1	8.3	0.5	1.8
	1.2	20	70	12	5.8	1.9	4.7	9.5	0.6	2.1

m eläimen paino, kg
 t_s sisälämpötila, °C
 φ_s ilman suhteellinen kosteus, %
 \varnothing_e eläimen kokonaislämmönluovutus, W
 g_s vesihöyrynm muodostus, g/h
 K hiilidioksidinmuodostus, l/h

\dot{Q}_e eläimen lämmönluovutus vapaana lämpönä, W
 \dot{V}_m minimi-ilmanvaihdon tilavuusvirta, m³/h
 \dot{V}_M maksimi-ilmanvaihdon tilavuusvirta, m³/h

Mitoituslämpötila kesällä on broilereita lukuunottamatta $t_s = 25^\circ\text{C}$. Broilereilla mitoituslämpötila kesällä on $t_s = 28^\circ\text{C}$.

Esimerkki taulukon 1 käytöstä ilmanvaihdon mitoittamiseen

Mitoitetaan 25:n emakon sikalan ilmanvaihto:

1. Sikalassa on emakkopaikkaa kohden noin 0.27 imettävää emakkoa, 0.73 joutilasta emakkoa, 2.5 imeväisikäistä porsasta ja 0.2 vieroitettua porsasta. Yhteensä siis :

7 imettävää emakkoa
18 joutilasta emakkoa
63 imeväisikäistä porsasta
5 vierotettua porsasta

2. Taulukosta 1 katsotaan ilmanvaihtotarpeen arvot:

7 imettävää emakkoa				
porsaineen	minimi	7 x 32	=	224 m ³ /h
	maksimi	7 x 243	=	1701 m ³ /h
18 joutilasta emakkoa	minimi	18 x 11	=	198 m ³ /h
	maksimi	18 x 90	=	1620 m ³ /h
5 vierotettua	minimi	5 x 4	=	20 m ³ /h
	maksimi	5 x 32	=	160 m ³ /h

Ilmanvaihtotarve yhteensä

minimi-ilmanvaihtotarve 442 m³/h
maksimi-ilmanvaihtotarve 3481 m³/h

LÄHDELUETTELO

1. Mothes, W., Stallklima, Leistungsfaktor der Tierproduktion. VEB Deutscher Landwirtschaftsverlag Berlin. 1973. 169 s.
2. Esmay, M.L., Principles of Animal Environment, Environmental Engineering in Agricultural and Food series. The Avi Publishing Company, inc. Westport, Connecticut. 1969. 325 s.
3. Eklund, K., Siipikarjanhoito. Kirjayhtymä. 2. uudistettu painos, Helsinki. 1977. 124 s.
4. Ilmatekniikan suunnitteluopas Osa 1. Valmet Oy ja Oy Mercantile Ab. 1978.
5. Alanko, A., Kosteus ja vesi rakennuksissa, Työtehoseuran rakennustiedote 12/1983. Helsinki.
6. Vihavainen, T., Puurakenteiden lahonkorjunta. Rakentajain Kustannus Oy. Helsinki. 1978. 63 s.
7. Paajanen, L., Tolonen, Y., Vihavainen, T., Maatalousrakennuksissa käytettävien puulevyjen lahonkestävyys, Pyylaboratorio, Tiedonanto 2. Valtion teknillinen tutkimuskeskus. Espoo. 1980. 41 s.
8. Yeck, R.G., Stewart, R.E., A Ten-Year Summary of the Psychryenergetic Laboratory Dairy Cattle Research at the University of Missuuri. Transactions of the ASAE (1959). s. 71...77.
9. Pig Environment. Ministry of Agriculture, Fisheries and Food. MAFF (Publications) Lion House, Willowburn Estate Alnwick.
10. Työpaikan ilman epäpuhtaudet, Turvallisuustiedote 3. Työterveyslaitos. Vantaa. 1981. 33 s.

11. Design of ventilation systems for poultry and livestock shelters, ASAE Data: ASAE D 270.4. 1979
12. Pedersen, J., Pedersen, S., Staldklimateknik, Isolering, Ventilering, Opvarmning. DSR Forlag. 1979. 228 s.
13. Tekniikan Käsikirja V, K.J., Gummerus Oy. Jyväskylä, 1970.
14. Karle, D., Kriterien der Stallklimagestaltung in Mastschweinställen, Lndtechnik, 7/8, 1981. s. 336... 340.
15. Petersen, W.H., 1974 Das nutztiergerechte Stallklima und seine energiesparende regelung. Bauen auf dem Lande 4/74. s. 111...117.
16. Pedersen, S., Petersen, E.S., Optimal temperatur og lufthastighed i slagtesvinestalde. Ugeskr. f. Agron., Hort., og Lic. 1976. nr 52. s. 1119...1123.
17. Bond, T.E., Kelly, C.F., Heitman Jr., H., Hog House Air Conditioning and Ventilation Data. Transactions of the ASAE. 1959. s. 1...4.
18. Effect of Environment on Production, Heat and Moisture Loss and feed and Water Requirements of Farm Livestock. ASAE Data: ASAE d 249.2. 1968.
19. Controlled Environment. A Guide to the Practical Design of Installations. London 1970. The Electricity Council, Marketing Department, Farm Electrification Handbook No 10. 144 s.
20. TGL 29084 Stallklimagestaltung. Technische Normen Güte Fortschriften und Lieferbedingungen, 1981. 12 s.

21. DIN 18910 Klima in geschlossenen Ställen, Wasserdampf- und Wärmehaushalt im Winter, Lüftung, Beleuchtung. Deutsche Institut Für Normen, 1974. 13 s.
22. Pletinckx, A., Alix, G., Air xonditioning of livestock buildings: modern equipment and development trends. United Nations New York 1978. Economic Comission For Europe AGRI/MECH Report No. 73. 29 s.
23. CIGR:n ilmastointityöryhmän normiehdtus
24. SS 95 10 51 Lantbruksbyggnader - Ventilationsbehov i djurstallar - Tillämpningar. Standardiseringskmmmissionen i Sverige, 1982. 5 s.
25. Rist, M., Einfache Graphische Ermittlung der Stallueftungs raten und der Restwaerme je Tier in Abhaengigkeit von der Aussentemperatur.
26. BS 5502: Section 2.2:1981 Design of buildings and structures for agriculture. Britush Standard Institution, 1981. 16 s.
27. SS 95 10 50 Lantbruksbyggnader - Ventilationsbehov och vämebalans i djurstallar - Beräkningsgrunder. Standardiseringskommisienen i Sverige, 1980. 10 s.
28. Strøm, J.S., Varmeafgivelse fra kvæg, svin og fjerkræ som grundlag for varmetekniske beregninger. Statens Byggeforskningsinstitut 1978, SBI-landbruksbyggeri 55 47 s.
29. Pedersen, S., Møller, F., Vanddampproduktionen i husdyrstalde i praksis. Ugeskrift for Jordbrug no. 42. 1983. s. 989...993.
30. Randall, J.M., Humidity and Water Vapour Transfer in Finishing Piggeries. J.agtic.Engng Res. 28. 1983. s. 451...461

31. Bieber, H.- P., Untersuchungen über die Wasserdampf- und Kohlendioxidbildung in einem einsteulosen Schweinemaststall. Berlin 1975. 99 s.
32. Sällvik, K., Djurens värmegivning. Seminar 61. Varmevekslere og varmepumper i landbruget. Horsens, 9. - 11.4. 1984. Nordiska Jordbroksforskarnas Föreningen, Section VII.
33. Lehrbuch der Tierhygiene, Teil I. Herausgegeben von Mehlhorn, G., VEB Gustav Fischer Verlag. 1.p. Jena 1979. 557 s.
34. Stallklima und Geruchsbelästigung, Berichte der KTBL-Arbeitsgemeinschaft Agrartechnik und Umweltschutz. toim. Deutscher Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V. 6100 Darmstadt-Kranichstein, 1982. 124 s.
35. Klimatechnik in der Tierproduction, Reihe Luft- und Kältetechnik. toim. Heinrich, G., VEB Verlag Technik Berlin, 1976. 131 s.
36. Robbins, F.V., Spillman, C.K., Heat and Moisture Production in a Slotted-Floor Farrowing House. Transactions of the ASAE 25 (1982) 2. s. 428...432.
37. Lyhs, L., Der Wärmehaushalt Landwirtschaftlicher Nutztiere, Tierärztlicher Praxis. VEB Gustav Fischer Verlag Jena, 1971. 311 s.
38. Schweizerliche Stallklima-Norm 1983. Schweizerliche Stallklimakommission. 38 s.
39. Sainsbury, D., Sainsbury, P., Livestock health and Housing. Bailliere Tindall, London, 1979. 388 s.
40. Normy technologiceskogo projektirovanija ferm krupnogo skota. Moskva. Agrartechnik 23 2/1973. s. 83.

41. Økland, H., Lilleng, H., An investigation of vapor production from wet surfaces in animal rooms. IBT-Raport nr. 191. Norges Lantbrugshøgskole, Institutt for Bygningsteknikk N-1432 Ås-NHL. 34 s.
42. Yeck, R.G., Stewart, R.E., A Ten-Year Summary of the Psychroenergetic Laboratory Dairy Cattle Research at the University of Missouri. Transactions of the ASAE (1959). s. 71...77.
42. Webster, A.J.F., Heat loss from cattle with particular emphasis on the effect of cold. Heatloss from animal and man. ed. Swan, H. & Broster, W.H. London. s. 205...301.
43. Bauer, W., Zur Wärmeproduktion landwirtschaftlicher Nutztiere - ein Beitrag zu stallklimatischen Berechnungsgrundlagen, Agrartechnik 23 2/1973. s. 82...85.
45. Pedersen, J., Optimalt klima til slagtekyllinger Temperatur og lufthastighetsforsøg, Statens Byggeforskningsinstitut 1975. 104 s.
46. Petersen, V.E., Skøn over slatekyllingers produktion af fri og bunden varme. Statens Husdyrbrugsforsøg Meddelelse no 447, 1982. 4 s.
47. Longhouse, A.D., Ota, H., Emerson, R.E., Heishman, J.O., Heat and Moisture Design Data for Broiler Houses. Transactions of the ASAE (1968). s. 694...700.
48. Longhouse, A.d., Design of Poultry Laying-House Ventilation and Insulation Requirements Based on Calorimetric Data and Psychrometric Relationships. Transactions of the ASAE (1967). s. 512...516.
49. Lembeck, F.G., Untersuchungen der Stallklimafaktoren Lufttemperatur und -feuchtigkeit in fohlenboxen nord- und westdeutscher Vollblutgestüte. Hannover 1971. 89 s.

Valtion painatuskeskus
Pasilan VALTIMO
Helsinki 1990