



Rapport 213

Gecombineerde natuurlijke en mechanische ventilatie in kraamafdelingen

Juli 2001



Colofon

Uitgever

Praktijkonderzoek Veehouderij
Postbus 2176, 8203 AD Lelystad
Telefoon 0320 - 293 211
Fax 0320 - 241 584
E-mail info@pv.agro.nl.
Internet <http://www.pv.wageningen-ur.nl>

Redactie en fotografie

Praktijkonderzoek Veehouderij

© Praktijkonderzoek Veehouderij

Het is verboden zonder schriftelijke toestemming van de uitgever deze uitgave of delen van deze uitgave te kopiëren, te vermenigvuldigen, digitaal om te zetten of op een andere wijze beschikbaar te stellen.

Aansprakelijkheid

Het Praktijkonderzoek Veehouderij aanvaardt geen aansprakelijkheid voor eventuele schade voortvloeiend uit het gebruik van de resultaten van dit onderzoek of de toepassing van de adviezen

Bestellen

ISSN 0169-3689
Eerste druk 2001/oplage 250
Prijs € 17,50 (f 38,56)

Losse nummers zijn schriftelijk, telefonisch, per e-mail of via de website te bestellen bij de uitgever.



Rapport 213

Gecombineerde natuurlijke en mechanische ventilatie in kraamafdelingen

Combination of natural and mechanical ventilation in nursery rooms for sows and pigs

J.J.H. Huijben
M.A.H.H. Smolders
G.P. Binnendijk

Juli 2001

Samenvatting

In de varkenshouderij biedt natuurlijke ventilatie goede mogelijkheden om energie te besparen. Natuurlijke ventilatie wordt momenteel echter beperkt toegepast in de praktijk, omdat de klimaatregeling ervoor tot nu toe onvoldoende is.

In dit onderzoek is de werking bestudeerd van een nieuwe klimaatregelaar, die zowel natuurlijke als mechanische ventilatie kan regelen. Een inschatting van de energiebesparing geeft aan dat een besparing op ventilatie-energie van 25 tot 30% mogelijk is.

De proef is uitgevoerd in twee afdelingen voor elk twaalf kraamzeugen op het Praktijkcentrum voor innovatie in de varkenshouderij te Sterksel. Er zijn gedurende acht ronden aaneensluitend waarnemingen gedaan aan het energiegebruik, de temperatuur en het technisch functioneren. Het onderzoek vond plaats in de periode van september 1999 tot en met november 2000.

De proefbehandelingen bestonden uit de toepassing van twee verschillende ventilatiesystemen in twee gelijk uitgevoerde afdelingen met mestpanventilatie. Daarbij werd onderzoek gedaan aan een ventilatiesysteem dat zowel op natuurlijke als op mechanische basis werkt en geregeld wordt door een afdelingsregelaar (ook wel 'hybride-ventilatie' genoemd). Naast de verschillen in de werking van de afdelingsregelaar was er ook verschil in de vorm en doorsnede van de ventilatiekoker. De uitvoering van de afdelingen kwam overeen met afdelingen zoals die in de praktijk veel voorkomen.

De besparing op ventilatie-energie was in dit onderzoek 29%. In optimalere omstandigheden is een hogere besparing mogelijk.

Summary

In pig husbandry natural ventilation is a good way of saving energy. At the moment, however, natural ventilation is applied only to a limited extent, because up to now climate control necessary for this kind of ventilation has been insufficient.

In this research the functioning of a new climate control was studied, which can regulate natural as well as mechanical ventilation. It was estimated that a reduction in consumption of energy needed for ventilation of 25 to 30% was possible.

The experiment was carried out in two compartments of twelve farrowing sows each at the research station for innovation in pig husbandry at Sterksel. Observations were done during eight consecutive rounds as to energy consumption, temperature and the technical functioning. The experiment took place in the period of September 1999 through November 2000.

The treatments consisted of applying two different ventilation systems in two similarly designed compartments with manure tray ventilation. A study was conducted into a ventilation system that worked naturally as well as mechanically by a compartment control (also called 'hybrid-ventilation'). Besides the differences in the functioning of the compartment control, there was also a difference in the shape and diameter of the ventilation shaft. The compartment design was similar to compartments commonly used.

The reduction in energy for ventilation was 29% in this research. In more optimum circumstances a greater reduction is possible.

Inhoudsopgave

Samenvatting

Summary

1	Inleiding	1
2	Materiaal en methode	2
2.1	Energiebesparing	2
2.2	Praktijkproef	2
2.2.1	Inrichting van de proefafdelingen.....	3
2.2.2	Voer - en drinkwaterverstrekking	4
2.2.3	Ventilatie en verwarming.....	5
2.2.4	Duur en presentatie van het onderzoek.....	5
3	Waarnemingen.....	6
4	Resultaten	7
4.1	Klimaat.....	7
4.2	Energiegebruik.....	9
4.3	Technische resultaten	9
5	Discussie en conclusies	10
5.1	Praktische ervaringen	10
5.2	Energiegebruik.....	10
5.3	Simulatie Leuven	11
5.4	Haalbare energiebesparing ventilatie	11
5.5	Economische gevolgen	12
5.6	Conclusies	13
Literatuur	14
Bijlagen	15
Bijlage 1	Klimaatinstellingen tijdens onderzoek voor zeugen met biggen (Werkgroep Klimaatnormen, 1989).....	15
Bijlage 2	Temperatuurverloop in de proefafdeling en de referentieafdeling.....	15
Bijlage 3	Temperatuurverloop en ventilatiepercentage in de proefafdeling	16
Bijlage 4	Percentage van de tijd dat volledig via de natuurlijke wijze werd geventileerd gemeten over ronde 3 t/m 7 en gemiddeld in de proefafdeling	16
Bijlage 5	Gemeten elektrisch energiegebruik ventilatie (kWh/afdeling/per ronde)	16

Bijlage 6	Gemeten elektrisch energiegebruik biggennestverwarming (kWh/kraamhok/ronde).....	17
Bijlage 7	Enkele technische resultaten in de proefperiode per proefbehandeling (gemiddelden).....	17
Bijlage 8	Simulatie energiegebruik (Katholieke Universiteit Leuven)	17
Bijlage 9	Vergelijking kosten biggennestverwarming gedurende onderzoek en optimale situatie.....	18
Bijlage 10	Vergelijking van energiegebruik ventilator Fancom 1435 en ventilator Fancom NF45 (C. van Erp, Fancom b.v., 2000).....	18
Bijlage 11	Gemeten en berekend energiegebruik voor de optimale situatie per kraamhok/jaar	
Bijlage 12	Investeringen, terugverdientijd en jaarkosten (excl. BTW) van het gecombineerd natuurlijk/mechanisch ventilatiesysteem ten opzichte van het mechanisch ventilatiesysteem voor één afdeling van twaalf kraamhokken.....	19

1 Inleiding

Als gevolg van de ontwikkeling naar mechanisch geregelde ventilatiesystemen is het te verwachten dat het gebruik van fossiele energie voor de klimaatregeling van varkensstallen in de toekomst toeneemt. Daarbij gaat het wel om systemen die zuiniger omgaan met energie, maar nieuwe stallen worden in toenemende mate met meer technische hulpmiddelen geventileerd en verwarmd (en eventueel gekoeld). De systemen gebaseerd op natuurlijke ventilatie zijn vanwege de nadelen van handmatige regeling uit de belangstelling geraakt. Door technische ontwikkelingen zijn er echter steeds meer mogelijkheden voor een automatische regeling van het klimaat, zowel bij mechanische als bij natuurlijke ventilatie (Geurts et al, 1998). Omdat natuurlijke ventilatie zonder extra energie kan functioneren is het voordeliger om zoveel mogelijk van natuurlijke ventilatie gebruik te maken (Hoste, 1995).

Het relatief hoge niveau van de minimale ventilatie was tot voor kort de grootste veroorzaker van hoge verwarmingskosten (Huijben, 1997). Nu deze minimumventilatie door betere klimaatregelsystemen beperkt blijft, lijkt een verdere daling van het energiegebruik alleen bereikt te kunnen worden door de ventilator met minder weerstand en gedurende bepaalde tijd op natuurlijke wijze te laten draaien en door een verhoging van de efficiëntie van het ventileren (Huijben et al, 1998).

Door natuurlijke ventilatie (=trek) zal gedurende een bepaalde periode aan de nodige verversing van de stallucht kunnen worden voldaan. Onder bepaalde binnen- en buitencondities zal de luchtverversing of temperatuurverlaging echter niet voldoende zijn (Klooster, C.E. Van 't et al, 1991). Onder deze omstandigheden kan er een extra luchtbeweging op gang gebracht worden door mechanische ventilatie.

Voorafgaand aan het onderzoek is een voorstudie verricht naar de ontwikkeling van een systeem van natuurlijke ventilatie gecombineerd met mechanische ventilatie bij gespeende biggen. Hieruit bleek dat het perspectiefvol is om een onderzoek te doen naar nieuwe klimaatregelaars, die zowel natuurlijke als mechanische ventilatie kunnen regelen. Met behulp van het rekenprogramma ANIPRO (Ouwkerk, 1999) werd een mogelijke besparing van 25 - 30% berekend.

Het doel van het onderzoek is het bepalen van de technische en economische haalbaarheid van een ventilatiesysteem bij kraamzeugen dat gebaseerd is op een combinatie van natuurlijke en mechanische ventilatie. Het thermisch klimaat en de luchtkwaliteit voor mens en dier moeten hierbij vergelijkbaar blijven met de huidige normen of beter worden.

2 Materiaal en methode

Dit hoofdstuk gaat in op het werkingsprincipe en de theorie van een gecombineerd natuurlijk/mechanisch ventilatiesysteem. Hierbij komen enkele ontwerpisen aan de orde. Het tweede deel van dit hoofdstuk behandelt de proefafdelingen en de proefopzet.

2.1 Energiebesparing

De haalbare energiebesparing kan in drie onderdelen worden opgesplitst: op natuurlijke basis ventileren, verlagen van de weerstand en het optimaliseren van de ventilator.

Op natuurlijke basis ventileren

Door de natuurlijke trek zal het waaierblad van zowel de meetwaaier als de ventilator draaien en wordt er lucht uit de afdeling afgevoerd. Als de meetwaaier een grotere afvoer waarneemt dan op basis van de ventilatiebehoefte gewenst is, zal de regelklep de opening van de koker verkleinen, totdat er nog juist voldoende ventilatie plaatsvindt. Als er te weinig lucht wordt afgevoerd, komt de ventilator in de werkstand nadat eerst de regelklep opengeregeld wordt. De regeling vindt plaats op basis van de gewenste afdelingstemperatuur en het gewenst ventilatieniveau. De behoeften verschillen binnen een ronde als gevolg van de toename van het gewicht van de dieren en de afname van de behoefte aan een hogere temperatuur bij het ouder worden van de dieren.

Verlagen van de weerstand

Bij ventilatie is er weerstand in de luchtinlaatopening, bij de luchtverdeling in de afdeling en in de luchtafvoeropening.

Bij de aanvoer van de lucht zijn de openingen gebaseerd op 2 cm² per m³ maximaal te verplaatsen lucht. Dit wordt voor mechanische ventilatiesystemen als ruim voldoende ervaren. Voor natuurlijk geventileerde systemen wordt echter een opening van 2,5 cm² per m³ lucht aanbevolen. Bij de verdeling van de lucht moet een opening van 3 cm² per m³ lucht aangehouden worden, door per zeug een opening van tenminste 15 bij 60 cm te maken. In dit onderzoek is bij de afvoer van de lucht gekozen voor een koker van 45 cm doorsnede, terwijl in de referentie-afdeling een koker van 35 cm doorsnede aanwezig was. Door de grotere koker in de proefafdeling wordt de weerstand aanzienlijk verlaagd. Als extra weerstandverlaging is bij deze koker gekozen voor een eindstuk dat (boven het dak) nog 7 cm groter is. De laatste meter van de koker heeft dus een doorsnede die van 45 cm naar 52 cm toeneemt. Juist de weerstand die lucht ondervindt bij het verlaten van een koker (= uitredeweerstand) wordt door het grotere oppervlak belangrijk verminderd.

Optimaliseren van de ventilatormotor

Voor deze proef is een ventilatormotor gebruikt van een ventilator van 35 cm doorsnede. Op de as van deze motor is een waaier geplaatst van 45 cm doorsnede. De opbrengst van de ventilator in deze koker, bij de genoemde geringe weerstand en tegendruk, kwam uit op ruim 3500 m³ lucht per uur. In de regeling is de capaciteit beperkt tot 3000 m³ per uur. De motor was dus eigenlijk nog te krachtig voor deze situatie, omdat de standaardsituatie uitgaat van een weerstand van 30 – 50 Pa. Op dit moment zijn er ventilatoren te koop die voor het natuurlijke/mechanische ventilatiesysteem zijn ontwikkeld. Deze besparingsmogelijkheid is in deze proef dus niet ten volle benut.

2.2 Praktijkproef

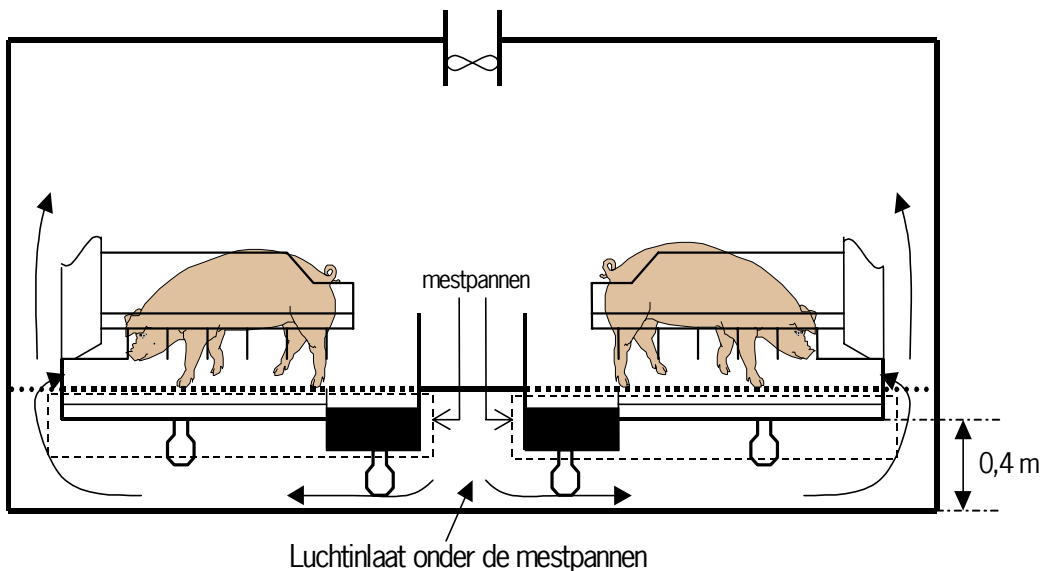
Een proef- en een referentieafdeling voor kraamzeugen zijn met elkaar vergeleken ten aanzien van de werking van een systeem van gecombineerde natuurlijke en mechanische ventilatie. Op het

Praktijkcentrum voor innovatie in de varkenshouderij te Sterksel zijn twee ongeveer identieke afdelingen voor dit onderzoek gebruikt. De te vergelijken systemen bevonden zich naast elkaar in dezelfde stal. Bij het inleggen van de dieren is zoveel mogelijk geprobeerd de afdelingen gelijktijdig vol te leggen. Er zat nooit meer dan een week tijdsverschil tussen de inlegdata van de proef- en de referentieafdeling.

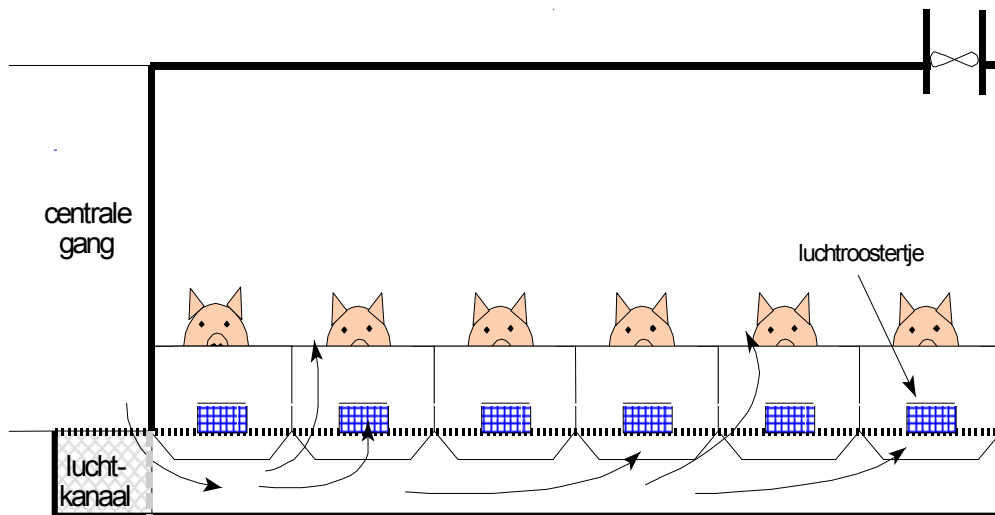
2.2.1 Inrichting van de proefafdelingen

Het onderzoek werd verricht in afdelingen met twee rijen van zes kraamzeugen op een volledig roostervloer en een dicht biggennest met daarboven een verwarmingselement. Figuur 1 toont een dwarsdoorsnede van de afdeling.

Figuur 1 Dwarsdoorsnede van een afdeling in het onderzoek



De ondiepe prefab bak (=mestpan) onder het gehele kraamhok had twee gescheiden opvangkanalen: één voor afvalwater en één voor mest. De luchtaanvoer vond plaats via een centrale gang (voorverwarming tot $\pm 7^{\circ}\text{C}$), van waaruit de lucht naar de ruimte onder de mestpannen werd geleid. Aan de voorkant van de kraamhokken kwam de lucht via openingen bij de dieren. In de afdelingen waren deltabuizen aanwezig om bij een koude aanvoertemperatuur de lucht te kunnen bijverwarmen. De afvoer van de ventilatielucht vond in beide afdelingen plaats via een ventilatiekoker met ventilator en regelklep, die op ongeveer 2,50 m hoogte achter in de afdeling in het plafond (zie figuur 2) was geplaatst.

Figuur 2 Lengtedoorsnede van een afdeling in het onderzoek

In de proefafdeling is mestpanventilatie met een combinatie van natuurlijke en mechanische ventilatie toegepast. Hierbij komt de aangevoerde lucht vanuit de centrale gang naar een ruimte onder de mestpannen (die de ruimte onder de kraamhokken aan de onderkant afsluiten). De verdeling van de lucht in de afdeling vindt plaats via een opening aan de voorzijde van de kraamhokken en via openingen in de vloer. De luchtafvoer vindt plaats via een ventilatiekoker met ventilator, regelklep en meetwaaier.

In de andere afdeling is mestpanventilatie toegepast met alleen mechanische ventilatie (=referentieafdeling). Hierbij komt de aangevoerde lucht ook vanuit de centrale gang naar de ruimte onder de mestpannen. De verdeling van de lucht in de afdeling vindt op dezelfde manier plaats als in de proefafdeling: via openingen in de vloer. De luchtafvoer vindt plaats via een ventilatiekoker met ventilator, regelklep en meetwaaier.

De luchtweerstand bij de aanvoer van de lucht werd beperkt door de ruime openingen (40 bij 80 cm) tussen de centrale gang en de ruimte onder de mestpannen. Dit komt neer op een opening van ongeveer 2 cm^2 per m^3 maximaal te vervensen hoeveelheid lucht per uur. Voor het onderzochte systeem van een combinatie van natuurlijke en mechanische ventilatie kan dit echter als een beperkende factor werken. Daarbij is dan een regeling op de inlaatopening wenselijk als die rechtstreeks op de buitenmuur is aangesloten, om eventuele windinvloed te beperken. Voor een nadere beschrijving van mestpanventilatie wordt verwezen naar Van Wagenberg et al (2000).

2.2.2 Voer - en drinkwaterverstrekking

Alle zeugen werden tweemaal daags individueel gevoerd. De zeugen kregen zeugenkorrel lactatie verstrekt ($\text{EW} = 1,06$). Drinkwater werd onbeperkt ter beschikking gesteld via drinknippels in de trog. De biggen bij de zeug kregen vanaf tien dagen na de geboorte onbeperkt de beschikking over melkkorrels. Via een drinkbakje konden de biggen onbeperkt drinkwater opnemen.

2.2.3 Ventilatie en verwarming

In de proefafdeling, met een combinatie van natuurlijke en mechanische ventilatie, vond de luchtafvoer plaats door een conisch uitgevoerde ventilatiekoker. Het conische gedeelte zat in het eindstuk boven het dak. De gebruikte ventilator was een samenstelling van de motor van een standaardventilator van 35 cm doorsnede met op de as een waaier van een ventilator van 45 cm doorsnede.

In de referentieafdeling met mechanische ventilatie waren de doorsnede van de ventilator (35 cm) en de vorm van de koker (=recht uitlopend) uitgevoerd zoals normaal gebruikelijk is. De luchtafvoer vond plaats via een standaardventilator (Ø 35 cm) met regelklep.

In de beide afdelingen zijn kokers van gelijke lengte (± 5 m) en klimaatinstellingen met dezelfde temperatuur- en ventilatiecurve gehanteerd (bijlage 1).

2.2.4 Duur en presentatie van het onderzoek

Het onderzoek heeft plaatsgevonden van september 1999 tot en met november 2000. In die periode zijn acht opeenvolgende rondes gevolgd. Een ronde begon als de eerste zeug geworpen had en eindigde bij het spenen van de eerste zeug in een afdeling.

Tabel 1 Overzicht van metingen gedurende verschillende perioden

Periode	Ronde	Energie/techn. resultaten	Temperatuur	Ventilatie-percentage	Uren natuurlijke ventilatie
03-09-99/04-10-99	1	wel	niet	niet	niet
05-11-99/03-12-99	2	wel	niet	niet	niet
24-12-99/21-01-00	3	wel	wel	wel	wel
04-02-00/02-03-00	4	wel	wel	wel	wel
31-03-00/27-04-00	5	wel	wel	wel	wel
12-05-00/09-06-00	6	wel	wel	wel	wel
15-09-00/13-10-00	7	wel	niet	niet	wel
27-10-00/24-11-00	8	wel	niet	niet	niet

Voor de presentatie van sommige resultaten is de keuze gemaakt niet de resultaten van de gehele meetperiode weer te geven, maar de resultaten van enkele willekeurige dagen. Dit geldt voor de gevallen waarin de willekeurige dagen een representatief beeld laten zien voor een bepaalde periode van het jaar. Voor de uiteindelijke verwerking van de gegevens met betrekking tot het energiegebruik is gerekend met de gegevens van de gehele periode.

3 Waarnemingen

Klimaat

Op 1,5 meter boven de vloer, boven de hokafscheiding tussen het tweede en het derde hok rechts, is de afdelingstemperatuur gemeten. Ook is de buitenluchttemperatuur in de schaduw gemeten. Met behulp van een datalogsysteem zijn elk uur de momentane waarden weggeschreven.

De hoeveelheid afgevoerde lucht is in de afdelingen continu gemeten door een meetwaaier. Het signaal van de meetwaaier werd, evenals dat van de afdelingstemperatuur, gebruikt voor de klimaatregeling. Met behulp van het centrale stuurprogramma zijn ieder uur de waarden weggeschreven van de momentane hoeveelheid luchtverplaatsing.

Energiegebruik

Het energiegebruik door de ventilator is gemeten met behulp van een analoge kWh-meter die vóór de klimaatcomputer op de afdelingsmuur geïnstalleerd was. Wekelijks is de cumulatieve waarde geregistreerd. Ook het energiegebruik van de biggennestverwarming is met behulp van een kWh-meter in één representatief hok (derde hok links) gemeten en wekelijks geregistreerd.

Het energiegebruik voor verwarming is gemeten met behulp van warmtemeters. Deze meters meten de temperatuur van het ingaande en uitgaande verwarmingswater en ook de hoeveelheid water. Wekelijks zijn de waarden bij de kraamafdelingen geregistreerd. Op basis van deze gegevens is de warmteafgifte van de verwarming berekend. Het energiegebruik van de voorverwarming op de centrale gang is niet gemeten.

Technische resultaten

In het zeugenmanagementsysteem zijn de technische resultaten van de dieren bijgehouden. Deze gegevens zijn niet statistisch geanalyseerd, maar dienen als achtergrondinformatie bij dit onderzoek.

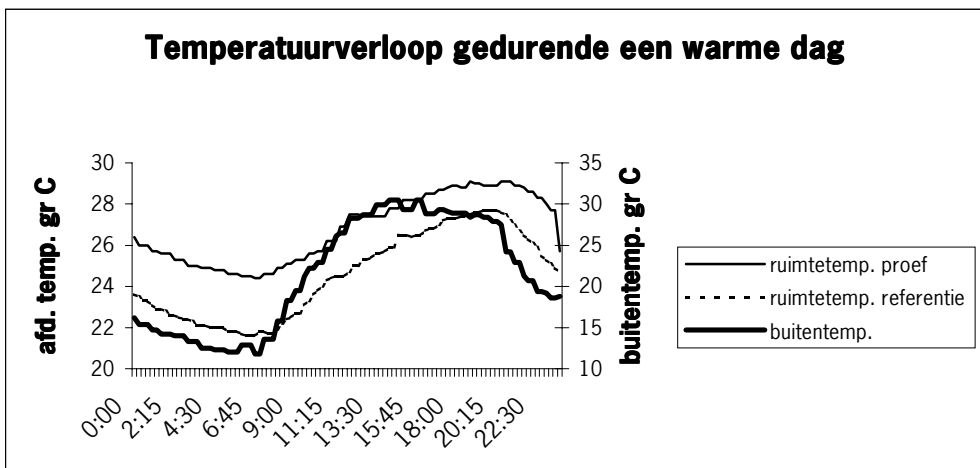
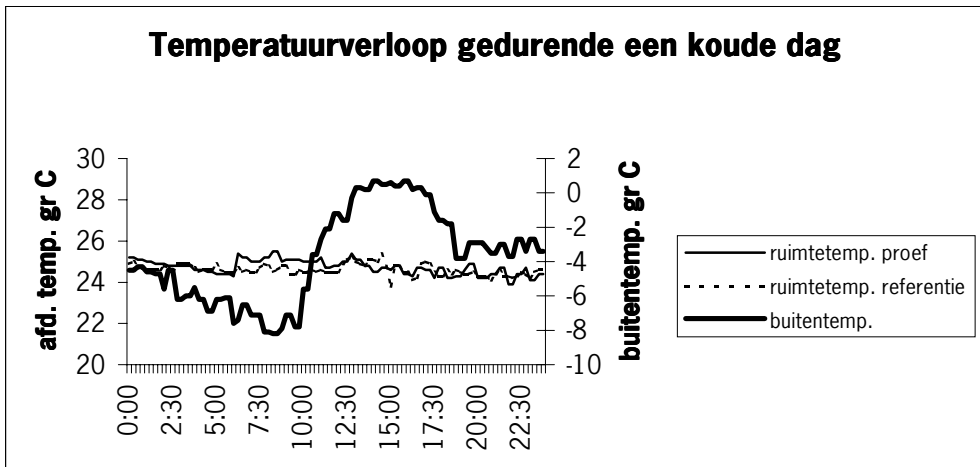
4 Resultaten

4.1 Klimaat

Temperaturen

Een grafiek van het temperatuurverloop in de proefafdeling en de referentieafdeling en de buitentemperatuur in de periode van 24 december 1999 tot en met 20 juni 2000 is weergegeven in bijlage 2. De grafiek geeft aan dat de afdelingstemperatuur in de proefafdeling op een vergelijkbaar niveau ligt als in de referentieafdeling. De regeling van het klimaat voldeed aan de verwachtingen. Uit de veelheid van gegevens zijn ter illustratie twee dagen nader beschouwd. Op de eerste plaats is dat een koude dag (24 januari 2000), waarvoor het temperatuurverloop per kwartier is weergegeven (figuur 3). Datzelfde is ook gedaan voor een dag waarop de buitentemperatuur opliep tot boven de 30 °C (15 mei 2000).

Figuur 3 Afdelingstemperatuur in de kraamafdelingen en buitentemperatuur gedurende een koude en een warme dag



Uit figuur 3 blijkt dat tijdens een koude periode de afdelingstemperatuur in de beide afdelingen nagenoeg gelijk is. Tijdens een warme periode is de gemeten afdelingstemperatuur in de beide afdelingen minder hoog dan de buitentemperatuur. Ook is het nauwelijks warmer geweest dan 28^o C. Er is een geringe verhoging van de afdelingstemperatuur in de proefafdeling (± 3 °C) geconstateerd gedurende de warme dag. Deze verhoging is volledig te verklaren uit het verschil in dagnummer vanaf de start van de nieuwe ronde op deze dag, waardoor de gewenste temperatuur op basis van de klimaatinstellingen in de proefafdeling 3 °C hoger ligt (7 dagen verschil).

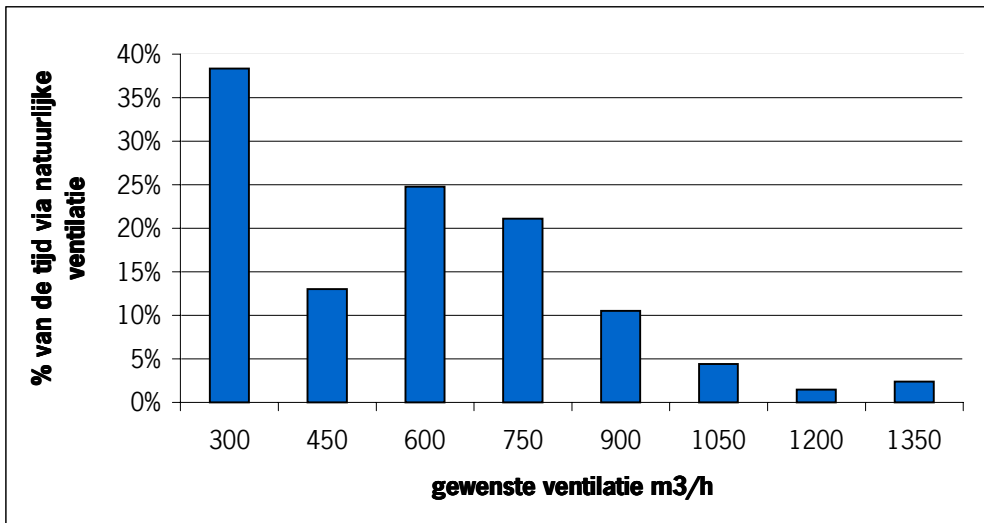
Luchthoeveelheid

In bijlage 3 is een grafiek weergegeven van het temperatuurverloop en het ventilatiepercentage gedurende de periode van 1 januari 2000 tot en met 15 juni 2000 voor de afdeling met gecombineerde natuurlijke en mechanische ventilatie. Hierbij is het gemeten ventilatiepercentage de som van de natuurlijke en de mechanische ventilatie, namelijk het totaal van de meting door de meetwaaier.

Uit bijlage 3 blijkt dat het ventilatiepercentage duidelijk reageert op basis van het starten en stoppen van een ronde in de kraamafdeling. Ronde 5, 6 en 7 zijn in de grafieklijn duidelijk te herkennen. Gedurende de eerste week na het begin van een nieuwe ronde is het gemeten ventilatiepercentage laag.

In figuur 4 is het percentage van de tijd weergegeven dat volledig natuurlijke ventilatie in de proefafdeling werd geregistreerd in ronde 3 tot en met 7. Deze verdeling is weergegeven in verhouding tot de ingestelde gewenste ventilatiehoeveelheden. In bijlage 4 is de procentuele verdeling per ronde weergegeven in verhouding tot het gewenste ventilatiepercentage.

Figuur 4 Percentage van de tijd dat gemiddeld over ronde 3 t/m 7 volledige natuurlijke ventilatie werd geregistreerd bij de verschillende ingestelde gewenste ventilatiehoeveelheden per uur



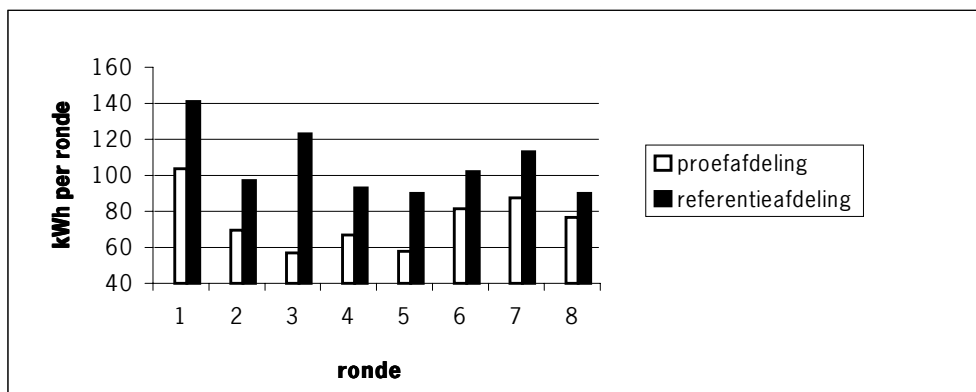
Uit figuur 4 kan worden afgelezen dat bij een ingestelde gewenste ventilatiebehoefte van 300 m³/h in bijna 40% van de tijd de natuurlijke trek voldoende was om deze hoeveelheid te realiseren.

4.2 Energiegebruik

Energiegebruik voor ventilatie

In figuur 5 zijn de resultaten weergegeven van de energiemetingen in de periode van 3 september 1999 tot en met 24 november 2000 (ronde 1 tot en met 8) ten behoeve van de ventilatie (inclusief energie voor regelapparatuur, zie bijlage 5 voor de gegevens).

Figuur 5 Resultaten van de energiemetingen ten behoeve van de ventilatie per ronde



In de afdeling met een combinatie van natuurlijke en mechanische ventilatie bedroeg het gebruik gemiddeld 75 kWh/ronde. In de afdeling met mechanische ventilatie bedroeg het gebruik gemiddeld 106 kWh/ronde. Dit betekent een gemiddelde besparing op elektrische energie van 29% bij gecombineerde natuurlijke/mechanische ventilatie ten opzichte van uitsluitend mechanische ventilatie.

Energiegebruik voor biggennestverwarming

De resultaten van de registraties van het energiegebruik voor de biggennestverwarming hebben betrekking op de metingen van het verbruik van een representatief kraamhok per afdeling. Ze zijn weergegeven in bijlage 6. Het gemiddeld energiegebruik per kraamhok per ronde verschilt 13% tussen de proefafdeling en de referentieafdeling (99 kWh en 113 kWh).

Energiegebruik voor ruimteverwarming

Het energiegebruik voor de ruimteverwarming was in de beide afdelingen nihil. Dit heeft onder andere te maken met de hoge warmteproductie van de kraamzeugen, de voorverwarming op de centrale gang en het gebruik van de biggennestverwarming.

4.3 Technische resultaten

De gemiddelde technische resultaten gedurende de proefperiode staan weergegeven in bijlage 7. Hieruit kan worden afgelezen dat de technische resultaten niet negatief beïnvloed zijn door toepassing van gecombineerde natuurlijke/mechanische ventilatie in plaats van mechanische ventilatie met mestpanventilatie bij kraamzeugen. De resultaten hebben betrekking op 96 worpen per proefbehandeling in de periode van 3 september 1999 tot en met 24 november 2000 en zijn bijgehouden onder de omstandigheden waaronder het onderzoek heeft gelopen.

5 Discussie en conclusies

5.1 Praktische ervaringen

De diervverzorgers vonden het klimaat in de afdeling met een combinatie van natuurlijke en mechanische ventilatie en ook in de afdeling met uitsluitend mechanische ventilatie zeer goed. Het mestpanventilatiesysteem voorkomt het ontstaan van tocht. Bij een buitenaanvoer is afscherming van directe windinvloed noodzakelijk.

Het ventilatiesysteem moet voldoen aan een luchtinlaat die zo laag mogelijk in de afdeling is gesitueerd (bijvoorbeeld mestpanventilatie) en een zo hoog mogelijk gelegen punt voor de luchtafvoer. Dit is mede een voorwaarde om voldoende gebruik te kunnen maken van de natuurlijke trek (opstijgen van warmte) en dus van natuurlijke ventilatie.

In de referentieafdeling is de stroomtoevoer naar de ventilator begrensd in het minimumtoerental bij ongeveer 60 Volt om de weerstand (bij gebruik van de regelklep) te kunnen overbruggen. In de proefafdeling is deze begrenzing van het minimumvoltage niet opgenomen om op natuurlijke wijze te kunnen ventileren zonder dat er sprake is van stroomverbruik. Op momenten dat de ventilator in de proefafdeling vanuit de natuurlijke ventilatiestand mechanisch aangedreven moest gaan draaien om aan de gewenste ventilatiehoeveelheid te voldoen, gebeurde dat bij een minimum van tussen de 25 en 30 Volt. Hieruit kan worden afgeleid dat het gecombineerde natuurlijke/mechanische ventilatiesysteem werkt bij een lagere weerstand en minder geforceerd dan het mechanische ventilatiesysteem. In de proef is niet gebleken dat als gevolg van de grotere doorsnede van de ventilatiekoker bij de geringere luchtweerstand inregenen heeft plaatsgevonden.

Na het spenen bleven de biggen enkele dagen tot een week in de kraamafdeling liggen. Gedurende die dagen was er in tegenstelling tot de zoogperiode ruimteverwarming nodig. Deze periode valt echter niet binnen de vooraf gedefinieerde proefperiode, zodat geen verbruik voor afdelingsverwarming kon worden vastgesteld. Het houdt echter wel in dat voor een bedrijfsvoering waarbij de biggen in de kraamafdeling blijven liggen gedurende enkele dagen tot een week na spenen plaatsing van verwarming in de afdeling (of in het grondkanaal voor luchtaanvoer) noodzakelijk is.

5.2 Energiegebruik

De totale luchtafvoercapaciteit (ongeveer 3000 m³/h) in de afdeling met gecombineerde natuurlijke/mechanische ventilatie speelt een rol bij de hoogte van het energiegebruik. Op basis van de nu bekende gegevens over de gewenste verversing bij mestpanventilatie (van Wagenberg et al, 2000) zou een maximale capaciteit van 2100 m³/h voldoende geweest zijn. Er zou meer elektrische energie bespaard kunnen zijn door een ventilator met kleinere capaciteit te installeren.

De gemeten besparing op het energiegebruik (29%) voldoet aan de berekende besparing in de voorstudie (25-30%). De grootste besparing op de energiekosten is te bereiken bij lage ventilatieniveaus, doordat een groter gedeelte van de tijd volstaan kan worden met een regeling in de natuurlijke ventilatiestand. Deze situatie doet zich voor bij koude buitencondities en in het begin van een nieuwe ronde, wanneer de totale warmteproductie het laagst is en de afvoer van de ventilatielucht op natuurlijke wijze al voldoende kan zijn (zie figuur 4). In ronde 4 werd gemeten dat in de eerste week van die ronde gedurende 70% luchtafvoer via natuurlijke ventilatie, dus zonder mechanische ondersteuning, plaatsvond. Naarmate de warmteproductie van de dieren in de afdeling groter is, neemt het gedeelte mechanische ventilatie toe en zal de energiebesparing minder zijn.

5.3 Simulatie Leuven

Op de Katholieke Universiteit in Leuven werd een simulatie naar de mogelijke energiebesparing uitgevoerd. Uitgangspunt daarbij was een biggenlamp van 100 W voor de nestverwarming. Het gemeten en berekende verbruik voor de biggennestverwarming staat vermeld in bijlage 9. Uit de metingen blijkt dat het energiegebruik voor verwarming van het biggennest in het onderzoek veel hoger ligt dan in de berekening en in de simulatie. Tijdens de proef is de extra opgenomen energie van de nestverwarming vrijgekomen voor de afdeling, waardoor meer ventilatie nodig was dan noodzakelijk. Berekening van het toepassen van een verwarmingslamp van 100 Watt in plaats van de in dit onderzoek gebruikte verwarming komt uit op een extra besparing van 8% op energie voor ventilatie.

In bijlage 8 is de procentuele verdeling weergegeven van het aantal draaiuren van de ventilator met de verschillende ventilatiebehoeften voor kraamhokken, volgens de simulatie die in Leuven is uitgevoerd. Deze verdeling van het aantal draaiuren geeft aan dat een ventilatiestand tot en met 20% gedurende ruim 55% van de tijd voorkomt. Uit de metingen blijkt dat ventilatiestanden tot en met 20% voor meer dan 75% van de tijd via de natuurlijke ventilatie hebben plaatsgevonden (figuur 4).

5.4 Haalbare energiebesparing ventilatie

De energiebesparing bij een combinatie van natuurlijke en mechanische mestpanventilatie zoals in dit onderzoek is vastgesteld, kan om een aantal redenen hoger uitvallen. Mogelijke extra besparingen ten opzichte van de situatie in dit onderzoek kunnen zijn:

- *Direkte luchtaanvoer*

De aanvoer van de ventilatielucht via de centrale gang heeft extra energiekosten voor de ventilatie opgeleverd, zonder dat er besparing op verwarming tegenover staat. Door de voorverwarming van de centrale gang was het in de afdelingen vaak warmer dan nodig voor een optimale productie. Dit betekent extra kosten voor ventilatie (en verwarming) in de praktijkproef. Door een directe luchtaanvoer via de buitenmuur is een extra besparing van 20% mogelijk op ventilatiekosten.

- *Nestverwarming*

Op de KU in Leuven is een simulatie van de mogelijke energiebesparing uitgevoerd. Hierbij is gekeken naar de frequentieverdeling van de ventilatiepercentages bij een beter passende nestverwarming. Uit de frequentieverdelingen blijkt dat de ventilatiestanden zoals gemeten in het onderzoek hoger liggen dan in de simulaties. Tijdens de proef is er extra energie vrijgekomen door de te grote capaciteit van de nestverwarming, die in het onderzoek iedere ronde ongeveer drie weken voluit heeft gewerkt. Berekening volgens de simulatie in Leuven geeft aan dat met het toepassen van een verwarmingslamp van 100 Watt in plaats van de in dit onderzoek gebruikte nestverwarming gedurende de eerste week van iedere ronde, een extra besparing van 8% mogelijk is.

- *Passende ventilator*

Te verwachten is dat bij een geoptimaliseerde motor nog eens 15% extra energie te besparen zal zijn voor de uren dat er mechanische ventilatie nodig is omdat de capaciteit van de gebruikte motor te groot was (zie bijlage 10). Uit de metingen kan via de simulatie uit bijlage 8 het volgende worden berekend:

- 55% van de tijd is tot 20% van de ventilatiebehoefte voor 75% gerealiseerd via natuurlijke ventilatie;

- 25% van de tijd is van 25% tot en met 45% van de ventilatiebehoefte voor 40% gerealiseerd via natuurlijke ventilatie;
- 20% van de tijd is de ventilatiebehoefte voor meer dan 45% gerealiseerd via enkel mechanische ventilatie.

Over de gehele simulatietijd is de ventilatiebehoefte voor 51,5% gerealiseerd via natuurlijke ventilatie. Dat wil zeggen dat 48,5% van de tijd mechanische ventilatie heeft plaatsgevonden. Als gevolg van het gebruik van een geschikte ventilator kan er nog 7% (15% besparing volgens bijlage 10 en 48,5% van de tijd) besparing bij komen.

- *Verantwoorde ventilatiecapaciteit*

Uit het onderzoek naar het functioneren van het mestpan-ventilatiesysteem (Van Wagenberg et al, 2000) kwam naar voren dat de maximumventilatiecapaciteit met 30% omlaag kan ten opzichte van de traditionele instellingen (van 250 naar 175 m³/h per kraamhok), zonder dat dit ten koste gaat van de kwaliteit van het stalklimaat. Bij de start van dit onderzoek was deze conclusie nog niet bekend, vandaar dat het onderzoek gebruikt gemaakt heeft van traditionele instellingen. De maximaal gewenste capaciteit (= 100% ventilatie) komt op basis van de eerder genoemde conclusie op 2100 m³/uur, terwijl die in het onderzoek ingesteld werd op 2966 m³/uur. De werkelijke capaciteit van de gebruikte ventilator in het onderzoek bedroeg echter 4040 m³/uur. Voor toepassing in dit onderzoek had een nog kleinere ventilatormotor gebruikt kunnen worden. Ook voor de berekeningen in de simulatie had een geringere capaciteit aangenomen kunnen worden. Hierdoor hadden de efficiëntie en het specifiek vermogen (W/1000 m³/h) nog verder verbeterd kunnen worden.

5.5 Economische gevolgen

De extra jaarkosten van het gecombineerde natuurlijke/mechanisch ventilatiesysteem ten opzichte van mechanisch ventileren worden gevormd door de extra investering in een koker met een grotere doorsnede en een passende ventilator met geschikte regelaar. De vergelijking in deze paragraaf betreft een afdeling met natuurlijke/mechanische mestpanventilatie en een afdeling met mechanische mestpanventilatie. Voor beide situaties wordt bij de berekening uitgegaan van nieuwbouw of nieuwe inrichting. Uit dit onderzoek is gebleken dat er f 4,85 per kraamhok per jaar (f 11,35 ten opzichte van f 16,20, zie bijlage 11) op elektriciteitskosten voor ventilatie bespaard kan worden. Met een geoptimaliseerde ventilator zal de besparing per kraamhok f 0,85 per jaar (extra) toenemen ten opzichte van een mechanisch ventilatiesysteem. In de situatie waarbij een directe luchtaanvoer van buiten aanwezig is, zal een besparing per kraamhok van f 2,00 per jaar extra mogelijk zijn. Door toepassing van een geschikte nestverwarming zal er nog eens een extra besparing van f 0,80 mogelijk zijn. Het totaal van de mogelijke besparingen komt daarbij uit op f 8,50 per kraamhok per jaar.

De totale energiebesparing komt uit op 29% (zie bijlage 5). De berekende terugverdientijd is 2,7 jaar (zie bijlage 12). De berekende jaarkosten komen uit op een voordeel van f 46,91 voor een afdeling van twaalf kraamhokken.

De haalbare energiebesparing komt voor de geoptimaliseerde situatie uit op 52,5% (zie bijlage 11). De berekende terugverdientijd is daarbij 1,4 jaar (zie bijlage 12). De berekende haalbare jaarkosten komen uit op een voordeel van f 114,11 voor een afdeling van twaalf kraamhokken.

5.6 Conclusies

Het praktisch en technisch functioneren van het natuurlijk/mechanisch ventilatiesysteem bij mestpanventilatie is goed. Dit geldt ook voor de regeling van het klimaat. Er is geen verschil geconstateerd in de kwaliteit van de lucht. Dit alles rechtvaardigt het praktijkrijp verklaren van het gecombineerde natuurlijk/mechanische ventilatiesysteem.

Er is in het onderzoek een energiebesparing van 29% op ventilatie-energie gemeten, terwijl uit de theoretische benadering valt op te maken dat een besparing tot 52,5% mogelijk is.

Natuurlijk/mechanische ventilatie bij mestpanventilatie leidt tot energiebesparing. Uit de meting is gebleken dat de energiekosten voor ventilatie f 4,85 per kraamhok per jaar lager zijn. De berekende jaarkosten komen uit op een voordeel van f 46,91 voor een afdeling van twaalf kraamhokken. De berekende terugverdientijd in de beproefde situatie bedraagt 2,7 jaar.

Literatuur

Erp, C. van, Fancom b.v., 2000. Persoonlijke mededelingen over het gecombineerd natuurlijk/mechanisch ventilatiesysteem; Specifiek vermogen bij 0 Pa (W/1000 m³/h) voor ventilator Fancom 1435 en ventilator Fancom NF45; Simulatie energiegebruik Katholieke Universiteit Leuven.

Geurts, P.J.W.M., G.P. Binnendijk, J.J.H. Huijben en J.W.G.M. Swinkels, 1998. Energiegebruik en technische resultaten van zeugen en biggen bij verlagen van de instelling van de ruimtetemperatuur in kraamafdelingen. Proefverslag P 1.202, Praktijkonderzoek Varkenshouderij, Rosmalen.

Hoste, R. 1995. Oorzaken van verschillen in energiegebruik op varkensbedrijven. Publicatie 3.161, Landbouw Economisch Instituut (LEI-DLO), Den Haag.

Huijben, J.J.H. 1997. Maximumcapaciteit kan vaak heel stuk lager. Boerderij/Varkenshouderij 83-no.24, blz. 18-19, 1997.

Huijben, J.J.H., D.J.P.H. van de Loo. A.V. van Wagenberg, J.W.G.M. Swinkels en P.C. Vesseur, 1998. Technisch functioneren van de Air Pathogen Free (APF)-stal: luchtbehandeling en hygiënemaatregelen. Proefverslag P 1.209, Praktijkonderzoek Varkenshouderij, Rosmalen.

Klooster, C.E. van 't, W. van der Hel, J.J.H. Huijben, A. van 't Ooster, E.N.J. Ouwerkerk, H.G. Pluygers, C.J.M. Scheepens, G.J.W. Visscher en P.H. van der Voorst, 1991. Meten van klimaat in varkensstallen. Proefverslag P 1.68, Praktijkonderzoek Varkenshouderij, Rosmalen.

Ouwerkerk, E.N.J. van, 1999. ANIPRO klimaat- en energiesimulatiesoftware voor stallen, IMAG Nota V99-109. Wageningen, 87 pp.

Wagenberg, A.V. van, J.H.C. Rooseboom, A.I.J. Hoofs, M.A.H.H. Smolders, P.F.M.M. Roelofs, 2000. Het praktisch en technisch functioneren van mestpanventilatie in kraamafdelingen. Proefverslag P 1.241, Praktijkonderzoek Varkenshouderij, Rosmalen.

Werkgroep Klimaatnormen 1989. Klimaatnormen voor varkens. Proefverslag P 1.43, Praktijkonderzoek Varkenshouderij, Rosmalen.

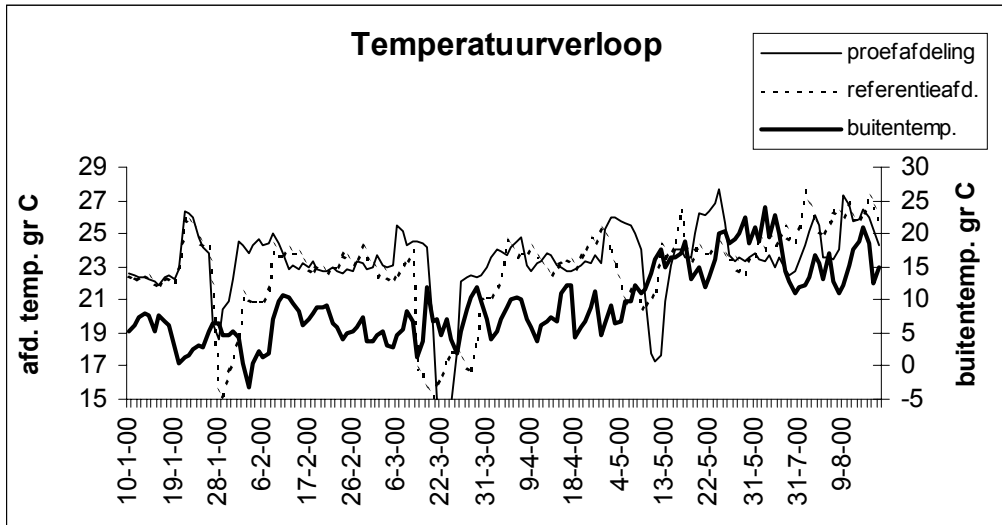
Bijlagen

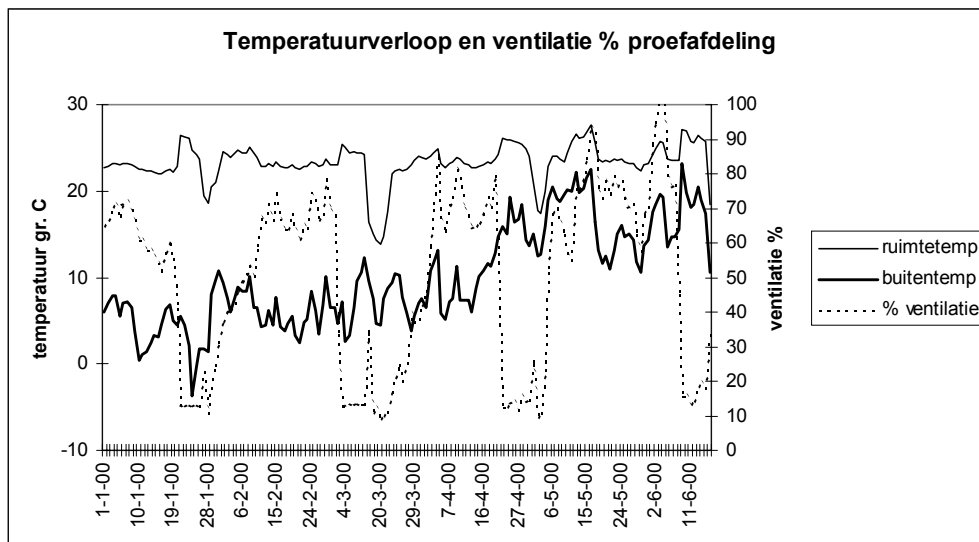
Bijlage 1 Klimaatinstellingen tijdens onderzoek voor zeugen met biggen (Werkgroep Klimaatnormen, 1989)

Temperatuurcurve kraamzeugen			
	Streefwaarde verwarming (°C)	Begintemperatuur ventilatie (°C)	
Voor werpen	19	21	
Tijdens werpen	22	25	
Na werpen	20	22	
4 weken na werpen	20	22	

Ventilatiecurve kraamzeugen			
	P-band (°C)	Min. ventilatie (m ³ /h.dier)	Max. ventilatie (m ³ /h.dier)
Voor werpen	5	40	200
Tijdens werpen	5	40	200
Na werpen	5	50	250
4 weken na werpen	5	50	250

Bijlage 2 Temperatuurverloop in de proefafdeling en de referentieafdeling



Bijlage 3 Temperatuurverloop en ventilatiepercentage in de proefafdeling**Bijlage 4** Percentage van de tijd dat volledig via de natuurlijke wijze werd geventileerd gemeten over ronde 3 t/m 7 en gemiddeld in de proefafdeling

Ingesteld ventilatie %	Ronde 3	Ronde 4	Ronde 5	Ronde 6	Ronde 7	Gemiddeld
10	23,8	50,0	35,2	44,4		38,4
15	7,3	30,9		13,0	1,0	13,0
20	17,7	49,5	38,0	13,1	5,6	24,8
25	8,2	46,1	19,9	10,2		21,1
30	1,2	11,6	26,8	2,6		10,5
35	0,7	5,8		3,5	7,7	4,4
40	1,1	2,3	1,0			1,5
45	3,6		1,2			2,4

Bijlage 5 Gemeten elektrisch energiegebruik ventilatie (kWh/afdeling/per ronde)

Periode	Ronde	Natuurlijke/mech. ventilatie	Mechanische ventilatie
03-09-99/04-10-99	1	103,7	141,0
05-11-99/03-12-99	2	69,6	97,0
24-12-99/21-01-00	3	56,9	123,0
04-02-00/02-03-00	4	66,8	93,0
31-03-00/27-04-00	5	57,8	90,0
12-05-00/09-06-00	6	81,4	102,0
15-09-00/13-10-00	7	87,4	113,0
27-10-00/24-11-00	8	76,7	90,0
Gemiddeld		75,0 (71%)	106,0 (100%)

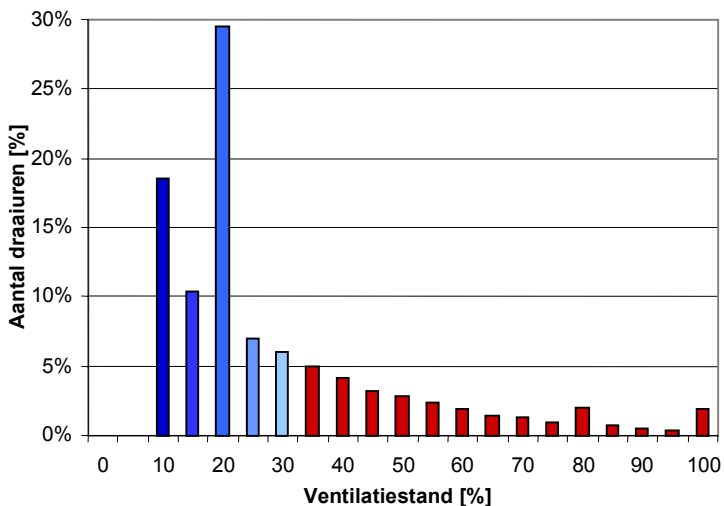
Bijlage 6 Gemeten elektrisch energiegebruik biggennestverwarming (kWh/kraamhok/ronde)

Periode	Ronde	Natuurlijk/mechanisch	Mechanisch
03-09-99/04-10-99	1	n.g.	n.g.
05-11-99/03-12-99	2	n.g.	n.g.
24-12-99/21-01-00	3	62	79
04-02-00/02-03-00	4	157	172
31-03-00/27-04-00	5	79	88
12-05-00/09-06-00	6	105	77
15-09-00/13-10-00	7	78	117
27-10-00/24-11-00	8	112	145
gemiddeld		99 (87%)	113 (100%)

n.g. = niet gemeten

Bijlage 7 Enkele technische resultaten in de proefperiode per proefbehandeling (gemiddelden)

Ventilatieregeling:	Natuurlijk/mechanisch	Mechanisch
Levend geboren biggen per worp	11,7	11,5
Lengte zoogperiode (dagen)	26,9	27,3
Voeropname zeugen per ronde (kg)	130	128
Groei per big per dag (g)	235	229
Percentage gestorven biggen (%)	6,7	8,5
Gespeende biggen per worp (gecorrigeerd na overleggen)	10,1	10,0
Speengewicht per big (kg)	7,8	7,7

Bijlage 8 Simulatie energiegebruik (Katholieke Universiteit Leuven)

Bijlage 9 Vergelijking kosten biggennestverwarming gedurende onderzoek en optimale situatie

	Gemeten in onderzoek	Berekend in optimale situatie
Biggennestverwarming	warmte-element à 250 W	warmtelamp à 100 W
Gebruik gedurende	n.g.	7 dagen x 24 uur
Gemeten/ronde/kraamhok	113 kWh	-
Berekend/ronde/kraamhok	-	7*24*100W = 16,8 kWh
Kosten (1kWh=f0,2025)	f 22,90	f 3,40

n.g. = niet gemeten

Bijlage 10 Vergelijking van energiegebruik ventilator Fancom 1435 en ventilator Fancom NF45 (C. van Erp, Fancom b.v., 2000)

Type ventilator (FANCOM)	Debiet bij 0 Pa (m ³ /h)	Spec. Vermogen bij 0 Pa (W/1000 m ³ /h)
1435 (Ø = 35 cm)	3460	59,9
NF 45 (Ø = 45 cm)	4040	36,6

Bijlage 11 Gemeten en berekend energiegebruik voor de optimale situatie per kraamhok/jaar

Ventilatie	Natuurlijk/mechanisch		Mechanisch	
	kWh	f	kWh	f
Verbruik ventilatie ¹⁾				
- gem./ronde/afdeling	75	15,20	106	21,50
- kraamhok/jaar	56	11,35	80	16,20
Verbruik ventilatie ²⁾	kWh	f	kWh	f
- optimale ventilator:				
7% besparing Fancom NF45 in plaats van Fancom 1435	52	10,50	80	16,20
- directe luchtaanvoer:				
20% besparing van buiten in plaats van centrale gang	42	8,50	80	16,20
- geschikte nestverwarming:				
8% besparing via 100 W in plaats van 250 W	38	7,70	80	16,20

¹⁾ berekend op basis van twaalf kraamhokken per afdeling en negen ronden per jaar (f 0,2025/kWh excl. BTW)²⁾ hetzelfde berekend, maar dan voor de optimale situatie

Bijlage 12 Investeringsen, terugverdientijd en jaarkosten (excl. BTW) van het gecombineerd natuurlijk/mechanisch ventilatiesysteem ten opzichte van het mechanisch ventilatiesysteem voor één afdeling van twaalf kraamhokken

Ventilatiesysteem	Natuurlijk/Mechanisch		Mechanisch	
Type/Investeringsen	Type	Prijs (f)	Type	Prijs (f)
Klimaatregelaar		1069,00		1023,00
Ventilator (Ø)	45 cm	487,00	35 cm	465,00
Meet-regel-unit (Ø)	45 cm	1091,00	35 cm	996,00
Dakkoker (Ø)	45 cm	253,00	35 cm	223,00
Dakplaat	standaard	190,00	standaard	190,00
Totaal		3090,00		2897,00
		106.7%		100%
Terugverdientijd en jaarkosten in gemeten situatie	Natuurlijk/mechanisch		Mechanisch	Vershil
Verbruikskosten (f) ¹⁾		168,00	240,00	72,00
Investering (f)		3090,00	2897,00	193,00
Terugverdientijd (j)				2,7
Gem. rente + Afschr. + Onderh. (6/2)% + 10% + 0% (f) ²⁾		401,70	376,61	25,09
Jaarkosten (f)		569,70	616,61	46,91
¹⁾ Verbruikskosten zijn berekend uit de gemeten kosten uit tabel 11				
²⁾ KWIN-V september 1999				
Terugverdientijd en jaarkosten in berekende optimale situatie	Natuurlijk/mechanisch		Mechanisch	Vershil
Verbruikskosten (f) ¹⁾		100,80	240,00	139,20
Investering (f)		3090,00	2897,00	193,00
Terugverdientijd (j)				1,4
Gem. rente + Afschr. + Onderh. (6/2)% + 10% + 0% (f) ²⁾		401,70	376,61	25,09
Jaarkosten (f)		502,50	616,61	114,11

¹⁾ Verbruikskosten zijn berekend uit de gemeten kosten uit tabel 11

²⁾ KWIN-V september 1999