

TOEPASSING VAN GRONDBUIZEN TEN BEHOEVE VAN DE VENTILATIE IN VARKENSSTALLEN

door

ir. J.M. Lange

Instituut voor Mechanisatie, Arbeid en Gebouwen
Wageningen

INHOUD

1	Inleiding	2
2	Onderzochte grondbuizensystemen	5
3	Proefopzet	9
4	Resultaten	10
4.1	Varkensproefbedrijf Sterksel	10
4.2	Verenigde Molenaarsfokbedrijf te Markelo	12
5	Economisch perspectief	16
5.1	Proefobject grondbuizen in het open veld te Sterksel	16
5.2	Proefobject grondbuizen onder de stal te Markelo	18
5.3	Kosten/baten-vergelijking grondbuizensysteem versus traditionele verwarming van een fokzeugenstal	21
5.4	Kosten/baten-vergelijking grondbuizensysteem versus traditionele verwarming van een mestvarkensstal	23
6	Conclusies en aanbevelingen	25
	Bijlagen	28

1 INLEIDING

Op de intensieve veebedrijven moet de stal voortdurend worden geventileerd om de dieren te voorzien van verse lucht voor de adembaling, om schadelijke gassen als koolzuurgas en ammoniak af te voeren, om vocht af te voeren en om de bacteriedruk en de temperatuur op een aanvaardbaar peil te houden. Als norm voor de maximale ventilatie wordt voor fokzeugen met biggen $250 \text{ m}^3/\text{h}$ per kraamopfokhok gehanteerd en voor mestvarkens $100 \text{ m}^3/\text{h}$ per mestvarkensplaats. Als minimum (winterventilatie) wordt 10% van de maximale ventilatie aangenomen.

Een goede luchtverversing is niet alleen van belang voor de gezondheid van de dieren maar in niet mindere mate voor die van de verzorgers. Vandaar dat op de meeste bedrijven, ook in het stookseizoen, meer lucht wordt ververst dan genoemde 10%.

Op de varkensbedrijven, zeker op de fokbedrijven, wordt in de winter bijverwarmd om de stal op temperatuur te houden. De voederconversie en daarmee de groei van de dieren wordt namelijk ongunstig beïnvloed wanneer de staltemperatuur een bepaalde grens onderschrijft. Het temperatuurtraject vanaf deze grens tot een bepaald maximum, is de zgn. behaaglijkheidszone of comfortzone* van de dieren.

Het zal duidelijk zijn dat naarmate meer wordt geventileerd, de stookkosten toenemen. Uiteraard zijn energieverliezen niet alleen het gevolg van ventilatie, maar ook van transmissie van warmte door wanden, vloer en dak.

Om de stookkosten te beperken worden verschillende technische hulpmiddelen toegepast, zoals verbeterde luchtinlaten, waardoor de invloed van de wind geringer wordt, recuperatieve warmtewisselaars, geperforeerde plafonds, centrale afzuiging, mengkleppen en geïnjecteerde luchtinlaten.

De dieren produceren zelf ook warmte, waardoor de stookgrens (de buitenluchttemperatuur waarboven niet meer hoeft te worden bijverwarmd) niet dezelfde is als de gewenste staltemperatuur.

* Comfortzone: de temperatuurzone waarbinnen een dier, afhankelijk van voerniveau en huisvesting, met een minimale inspanning zijn warmteproductie constant houdt (Sterrenburg en van Ouwkerk (1986), IMAG-rapport 79).

Wanneer de omgevingstemperatuur van het dier beneden de ondergrens van de comfortzone komt, neemt de warmteproductie van het dier toe. De ondergrens van de comfortzone valt samen met die van de zgn. thermoneutrale zone^{*}. De bovengrens van deze zone ligt hoger dan die van de comfortzone. Wanneer de omgevingstemperatuur boven die van de thermoneutrale zone komt, neemt de warmteproductie van het dier eveneens toe.

Het zal duidelijk zijn dat als de temperatuur buiten de thermoneutrale zone komt, de voederconversie ongunstiger wordt (meer voer nodig per geproduceerde kg). Het beste is uiteraard om de omgevingstemperatuur binnen de comfortzone te houden. Voor de gezondheid van mens en dier is het verder van belang dat de temperatuur van de ventilatielucht binnen een bepaalde tijd niet te sterk schommelt.

Nederland telde in 1985 1.426.400 fokzeugen en produceerde dat jaar 18.995.000 mestvarkens.

Voor een dergelijk aantal zeugen is voor de bijverwarming zo'n 140 miljoen m³ aardgas per jaar nodig (ongeveer 100 m³ per zeug). Voor het op temperatuur houden van een biggenruimte zijn per jaar ongeveer 50 m³ aardgas nodig. Een kraamopfokhok wordt gemiddeld door iets meer dan vier zeugen per jaar benut. Het aantal kraamopfokhokken bedraagt 345.000. Per kraamopfokhok worden ruim 400 m³ aardgas verbruikt, waarvan de helft voor de opwarming van de ventilatielucht.

Het aantal mestvarkensplaatsen bedraagt in Nederland ongeveer 8.259.000.

Voor mestvarkens zijn aan bijverwarming ongeveer 189 miljoen m³ aardgas per jaar nodig (ongeveer 10 m³ per mestvarken). Het energieverbruik per mestvarkensplaats bedraagt 23 m³ aardgas.

Grondbuizensysteem

In het buitenland (Duitsland, Oostenrijk, België, Zweden, Verenigde Staten), worden buizen of slangen in de bodem toegepast waar de ventilatielucht voor

* Thermoneutrale zone: de temperatuurzone waarbinnen een dier, afhankelijk van voerniveau en huisvesting, zijn warmteproductie constant houdt (Sterrenburg en van Ouwerkerk (1986), IMAG-rapport 79).

stallen doorheen wordt geleid om deze door de bodemwarmte te laten opwarmen ('s winters) dan wel om deze te laten afkoelen door afgifte van warmte aan de bodem ('s zomers). In het stookseizoen kan zo op energie worden bespaard en in de zomerperiode de ventilatielucht worden gekoeld. In de zomer kan de temperatuur beter binnen de comfortzone worden gehouden.

In het hier beschreven onderzoek is nagegaan of er onder Nederlandse omstandigheden mogelijkheden zijn voor deze toepassing.

In Nederland was tot dusverre nog weinig onderzoek naar dit principe verricht. Weinig was bekend omtrent het temperatuurverloop in de bodem gedurende het jaar op verschillende diepten (tot 2,5 m), zowel in horizontale als verticale zin, en de invloed van het grondwater op de bodemtemperatuur. Ook moest onderzoek worden verricht naar de invloed van de lengte van de grondbuizen op de warmte-uitwisseling. Ten slotte moest inzicht worden verkregen in de invloed van de lengte en doorsnede van de buizen op het ventilatieniveau, met andere woorden: wat is de luchtweerstand in de grondbuizen? Nagegaan diende te worden of de besparing op verwarmingskosten en op elektriciteitskosten voor ventilatie door een eventuele verlaging van het ventilatieniveau in de zomer, opwegen tegen de jaarkosten van de te maken investering.

2 ONDERZOCHE GRONDBUIZENSYSTEMEN

Op een tweetal varkensfokbedrijven, waar in het voorjaar van 1985 een grondbuizensysteem was aangelegd, t.w. het Varkensproefbedrijf te Sterksel en het Verenigde Molenaarsfokbedrijf te Markelo, is een onderzoek ingesteld naar de toepassingsmogelijkheden van dit systeem bij de ventilatie van de zeugenstal.

De grondbuizen of -slangen zijn vervaardigd door de Fa. Wavin te Hardenberg. Dit bedrijf levert buizen met drie doorsneden, t.w. 150, 200 en 300 mm. De buis met 300 mm doorsnede is slechts in beperkte lengte leverbaar (3,5 en 5,0 m), de andere twee buizen tot lengten van 40 m.

De buizen en slangen zijn geribd, waardoor ze flexibel zijn.

De vier grondbuizen op het Varkensproefbedrijf te Sterksel liggen in het open veld buiten de bedrijfsgebouwen. De lengte van de buizen bedraagt 35 m, de inwendige doorsnede is 148 mm. De buizen liggen in paren van twee op verschillende diepte in de grond met een verhang naar de stal. Aan het einde is elk paar gekoppeld door een gladde buis met een doorsnede van 300 mm. Aan dit einde kan het condenswater worden weggepompt. De gemiddelde diepte van het ondiep en het diep gelegen paar buizen bedraagt resp. 1,80 en 2,25 m. De buizen liggen op 0,5 afstand van elkaar.

De luchtinlaten van de buizen bevinden zich ongeveer 0,5 m boven het grondoppervlak. Om inregenen te voorkomen zijn de openingen benedenwaarts gericht.

Omdat tijdens een vooronderzoek bleek dat de luchtaanvoer te gering was, zijn twee steunventilatoren met een doorsnede van 30 cm in de aanvoerkanalen aangebracht. De totale luchtopbrengst werd hierdoor verhoogd met ongeveer $600 \text{ m}^3/\text{h}$.

De ventilatielucht komt in de gang de stal binnen en gaat vervolgens door een opening in de wand in de afdeling met acht zeugenplaatsen. Via een afzuigkanaal, dat is aangesloten op een centrale ventilator voor vier afdelingen (32 zeugenplaatsen), wordt de stallucht afgevoerd. In het afvoerkanaal bevindt zich een luchthoeveelheidsregeling die wordt gestuurd op basis van de afdelingstemperatuur, waardoor een klep meer of minder wordt geopend. De proefafdeling is tijdens het vooronderzoek beter afgedicht tegen luchtlekken.

Op het Verenigde Molenaarsfokbedrijf te Markelo liggen de grondbuizen onder de stal, onder de mestput. In totaal zijn er tijdens een renovatie van deze stal 143 buizen gelegd.

De buizen liggen ongeveer 0,5 m uit elkaar. De lengte ervan bedraagt ca. 20 m, de inwendige doorsnede 148 mm. De luchtinlaten liggen aan de noordwest-zijde van de stal, ongeveer 0,5 m boven het grondoppervlak tegen de buitenmuur.

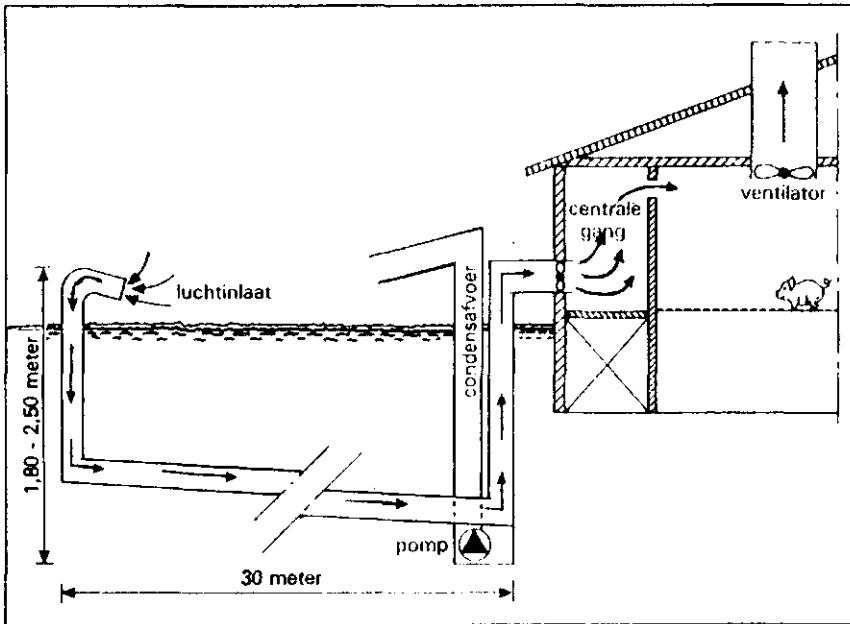
Midden onder de stal zijn de buizen op een gemeenschappelijke leiding voor de afvoer van het condenswater aangesloten. Deze leiding ligt ongeveer 0,5 m onder de buizen en heeft een verhang naar een eindput waar het condenswater automatisch wordt weggepompt.

De ventilatielucht komt in de gang de stal binnen. Van hier gaat de lucht via een rooster in de gangvloer een luchtkanaal in, dat onder de voergang van de afdelingen doorloopt. Er zijn in totaal 17 afdelingen in de stal met elk 16 kraamopfokhokken, en één biggenopvangruimte.

De ventilatielucht kan in de gang worden opgewarmd met behulp van straalkappen. In de kraamopfokhokken is in de biggenruimte vloerverwarming aanwezig, die wordt gestookt met twee in serie geplaatste hoogrendement-aardgasketels.

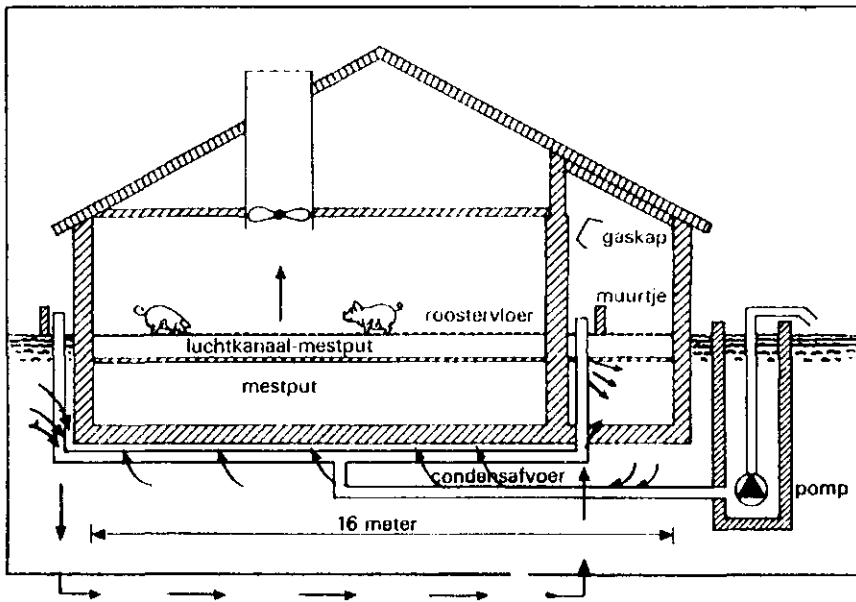
De ventilatoren waarmee de stallucht uit de afdelingen wordt gezogen, hebben een doorsnede van 35 cm. In de biggenopvangruimte zijn twee afvoer-ventilatoren met een doorsnede van 40 cm.

De gehele stal is aan het begin van de onderzoekperiode beter afgedicht tegen luchtlekken.



GRONDBUIZENSYSTEEM OP HET VARKENSPROEFBEDRIJF IN STERKSEL

(bron: Boerderij/Varkenshouderij - 72 (1987) - 6 januari).



GRONDBUIZENSISTEEM OP HET VERENIGDE MOLENAARSFOKBEDRIJF
IN MARKELO

(Bron: Boerderij/Varkenshouderij - 72 (1987) - 6 januari)

3 PROEFOPZET

In een vooronderzoek is op beide bedrijven nagegaan of verder onderzoek zonder meer zin had. Alhoewel aan de systemen hier en daar tekortkomingen kleefden, bleken ze na enige aanpassingen voldoende perspectief te bieden voor het beoogde onderzoek.

Bij beide proefobjecten zijn 38 meetopnemers geplaatst: op het Varkensproefbedrijf 36 temperatuurmeters en 2 luchtsnelheidsmeters, en op het Verenigde Molenaarsfokbedrijf 34 temperatuurmeters en 4 luchtsnelheidsmeters.

Verder zijn op het laatste bedrijf een tweetal gasmeters en een energiemeter geplaatst. Met de gasmeters is het totale aardgasverbruik van de 18 afdelingen* resp. het aardgasverbruik van de vloerverwarming in de biggenruimten van de kraamopfokhokken nagegaan. Het verschil tussen de meterstanden levert het aardgasverbruik van de straalkappen voor de bijverwarming van de ventilatielucht in de gang.

Uit de aan de vloerverwarming afgegeven energie, geregistreerd met de energiemeter, en het aardgasverbruik, kan het gebruiksrendement van de hoogrendement-ketels worden berekend. Elke week werden door medewerkers van het bedrijf de meterstanden genoteerd.

Voor de registratie van de metingen is gebruik gemaakt van een Hewlett Packard microprocessor met datalogger.

Alle kanalen van de datalogger werden om de 30 seconden gescand. Het gemiddelde van de waarnemingen werd om het halfuur weggeschreven op tape. Van de tape werden de gegevens overgezet op de VAX-computer van het IMAG voor verdere verwerking. Uit de halfuursgemiddelden zijn gemiddelden per dag, per maand en per jaar berekend. Deze zijn vergeleken met gegevens van het K.N.M.I. te De Bilt om te komen tot cijfers voor een gemiddeld jaar. Regelmatig vond controle plaats naar de werking van de meetapparatuur.

* De biggenopvangruimte wordt als 18^e afdeling geteld.

4 RESULTATEN

4.1 Varkensproefbedrijf Sterksel

De van belang zijnde temperaturen: staltemperatuur, aanvoerluchttemperatuur en buitenluchttemperatuur, zijn op het varkensproefbedrijf te Sterksel over de maanden augustus 1985 tot en met juli 1986 gemeten. Ook zijn bodemtemperatuur-metingen gedaan tussen de diep (gem. 1,80 m) en ondiep (gem. 2,25 m) gelegen grondbuizen op een afstand van 15 m vanaf de luchtinlaat.

Gebleken is dat het grondbuizensysteem een duidelijk nivellerende werking heeft op de temperatuur van de buitenlucht. Bij de ondiep gelegen grondbuizen was dat overigens in minder sterke mate het geval dan bij de diep gelegen buizen.

Tochtverschijnselen deden zich niet voor. Ook een invloed van de windrichting op de stalventilatie was niet waarneembaar.

De grafieken van de bijlagen 1 t/m 4 geven een indruk van de nivellerende invloed van de grondbuizen op de temperatuur van de ventilatielucht. Het betreft hier een tweetal dagen waarop min of meer extreme buitenluchttemperaturen voorkwamen. De gekozen data zijn 22 februari en 17 juni, resp. als extreem voor de winter en extreem voor de zomer.

De meetgegevens van 22 februari zijn weergegeven in de bijlagen 1 en 2.

De maximale opwarming op 22 februari bedroeg voor de diep gelegen buizen $11,5^{\circ}\text{C}$ en voor de ondiep gelegen buizen $9,2^{\circ}\text{C}$ bij een gemiddelde buitenluchttemperatuur van $-8,3^{\circ}\text{C}$. Voor de diep gelegen buizen is dit een afwijking van 9,5 % boven het daggemiddelde en van 10,8% boven het daggemiddelde van de ondiep gelegen buizen.

De meetresultaten van 17 juni zijn weergegeven in de bijlagen 3 en 4.

De maximale afkoeling op 17 juni bedroeg voor de diep gelegen buizen $9,5^{\circ}\text{C}$ en voor de ondiep gelegen buizen $6,5^{\circ}\text{C}$ bij een gemiddelde buitenluchttemperatuur van 24°C . Voor de diep gelegen buizen is dit een afwijking van ruim 9% boven het daggemiddelde en van ruim 8% boven het daggemiddelde van de ondiep gelegen buizen.

In bijlage 7 is een jaaroverzicht gegeven voor de diep gelegen grondbuizen.

In dit overzicht zijn een aantal kengetallen, gemiddelden over het jaar, weergegeven.

De luchtweerstand in de diep gelegen grondbuizen is gemiddeld zeer hoog (136,5 Pa). Dit is een gevolg van de hoge luchtsnelheid (4,35 m/s) in deze buizen. De maximum luchtweerstand heeft boven de 200 Pa gelegen.

Het aantal uren dat de lucht werd afgekoeld komt overeen met ruim vijf maanden in het zomerhalfjaar. De gemiddelde afkoeling bedroeg slechts 2,5 °C. Hierboven bleek reeds, dat bij hogere buitenluchttemperaturen het effect duidelijk groter is.

Het temperatuuruitwisselings-rendement (95%) van het systeem is zeer goed te noemen. De hoeveelheid afkoelingsenergie van 5,24 kWh per m³/h lucht per jaar is aanzienlijk. Het aantal uren dat geen warmte-uitwisseling heeft plaatsgevonden (5) is van geen betekenis.

Het aantal uren dat de lucht werd opgewarmd komt ongeveer overeen met zeven maanden in het winterhalfjaar. De gemiddelde opwarming bedroeg 3,4 °C. Zoals reeds hiervoor bleek, is bij extreme temperaturen de opwarming duidelijk groter.

Uit de bijlage blijkt verder dat de luchttopbrengst gedurende het jaar bij de diep gelegen grondbuizen gemiddeld 539 m³/h bedroeg. De gemiddelde luchtafvoer uit de afdeling bedroeg 1801 m³/h. De twee diep gelegen buizen leverden dus ongeveer 30% van de luchtafvoer.

De 1100 m³/h wordt aangevoerd door de vier grondbuizen samen (vóór het aanbrenge van de twee steunventilatoren in de aanvoerkanalen was dit 500 m³/h). Dit houdt in dat 61% van de luchtafvoer door de grondbuizen wordt geleverd en 39% door luchtlekken in de stal komt.

Dat de lucht uit de grondbuizen in de gang wordt opgewarmd van 10,3 tot 14,4 °C is een gevolg van warmtetransmissie van de afdeling naar de gang.

In de tekening is verder te zien dat de lucht van het eind van de grondbuis (10,2 °C) tot de gang (10,3 °C) met 0,1 °C wordt opgewarmd. Al kan dit verschil wel een afrondingsverschil zijn, vermeld moet worden dat is gebleken dat de temperatuur over dit traject in de zomer opliep en in de winter afnam. Dit is mogelijk een gevolg van transmissie van warmte onder de stal naar de verticale stijgbuis, maar vermoedelijk eerder de invloed van de buitenluchttemperatuur op de ongeïsoleerde buis.

In bijlage 8 is een jaaroverzicht gegeven voor de ondiep gelegen grondbuizen.

Bij de ondiep gelegen grondbuizen is de gemiddelde luchtweerstand nog hoger (148 Pa). Dit is een gevolg van de hogere luchtsnelheid (4,53 m/s) in de buizen.

Door de minder diepe ligging van de buizen is het koeleffect hier geringer (gem. afkoeling 1,8 °C). Het aantal uren dat de lucht werd gekoeld is iets hoger dan bij de diep gelegen buizen. Door de hogere luchtsnelheid is het temperatuuruitwisselings-rendement (85%) iets kleiner.

De hoeveelheid afkoelingsenergie van 4,74 kWh per m³ lucht per jaar is vrij aanzienlijk. Het aantal uren dat geen uitwisseling heeft plaatsgevonden is 12, hetgeen te verwaarlozen is.

Het aantal uren dat de lucht werd opgewarmd bedraagt 4.651. De gemiddelde opwarming (2,7 °C) was iets geringer dan bij de diep gelegen grondbuizen. Dit houdt in dat de nivellerende invloed op de buitenluchttemperatuur bij de diep gelegen buizen minder is dan bij de ondiep gelegen buizen.

De luchtopbrengst bij de twee ondiep gelegen buizen bedroeg gemiddeld 561 m³/h, ruim 31% van de luchtafvoer.

Het grondbuizensysteem heeft een besparing gegeven van ruim 60% op de energiekosten verband houdend met de ventilatie.

Het extra elektriciteitsverbruik voor de twee steunventilatoren bedroeg 8760 h/a x 0,2 kW x 0,2 gld./kWh = 350 gld. per jaar.

Voor zowel de diep als de ondiep gelegen buizen ligt het keerpunt van opwarming en afkoeling tussen de 8 en 9 °C buitenluchttemperatuur.

Om de lucht vorstvrij in de gang of afdeling te laten komen, is een temperatuuruitwisselings-rendement van minimaal 85% nodig. Een hoog temperatuuruitwisselings-rendement is óók voorwaarde om al te grote temperatuurschommelingen in de aanvoerlucht te voorkomen.

4.2 Verenigde Molenaarsfokbedrijf te Markelo

De van belang zijnde temperaturen: staltemperatuur, aanvoerluchttemperatuur en buitenluchttemperatuur, zijn op het Verenigd Molenaarsfokbedrijf te Markelo over de maanden november 1985 tot en met oktober 1986 gemeten. Ook zijn temperaturen op 7 m vanaf de inlaat van de grondbuizen en temperaturen

in de bodem aan de noordwestzijde van de stal op 1 m van de buitenmuur gemeten. De laatste vonden plaats op 1 ; 1,5 ; 2 en 2,5 m diepte. Gebleken is dat het grondbuizensysteem een duidelijk nivellerende werking heeft op de temperatuur van de buitenlucht. Tochtverschijnselen deden zich niet voor.

Wanneer de luchttemperatuur bij de uitgang van de buizen boven 16°C kwam (juni, juli, augustus), liep de staltemperatuur op tot boven 24°C . De luchtverversing werd dan te gering (te hoge weerstand in de grondbuizen) om voldoende vocht af te voeren.

De grafieken van de bijlagen 5 en 6 geven een indruk van de nivellerende invloed van de grondbuizen op de temperatuur van de ventilatielucht. Het betreft hier een tweetal dagen waarop min of meer extreme buitenluchttemperaturen voorkwamen. De gekozen data zijn 22 februari en 17 juli, resp. als extreem voor de winter en extreem voor de zomer.

De maximale opwarming op 22 februari bedroeg $10,7^{\circ}\text{C}$ bij een gemiddelde buitenluchttemperatuur van $-8,2^{\circ}\text{C}$. De buitenluchttemperatuur zal zeker lager zijn geweest omdat gemeten is in de luchtaanvoer van de buis (geen invloed van stralingsverliezen).

De maximale afkoeling op 17 juli bedroeg $7,8^{\circ}\text{C}$ bij een gemiddelde buitenluchttemperatuur van $26,8^{\circ}\text{C}$. In werkelijkheid zal de buitenluchttemperatuur hoger zijn geweest (geen invloed van straling in de luchtaanvoer van de buis); een momentane waarneming op een willekeurige dag gaf bij directe zonnestraling een verschil van 5 graden te zien wanneer wel en niet in de schaduw werd gemeten.

In bijlage 9 is een jaaroverzicht gegeven van de verkregen resultaten. In dit overzicht zijn enige kengetallen, gemiddelden over het jaar, weergegeven.

De gemiddelde luchtsnelheid en daarmee de luchtweerstand in de grondbuizen ($34,2\text{ Pa}$) valt nogal mee. Hierbij moet worden bedacht dat tijdens de zomermaanden de gangdeuren open zijn geweest waardoor de luchtsnelheid en daarmee de tegendruk in de grondbuizen toen aanzienlijk kleiner waren. De weerstand in de buizen op dagen waarop de deuren gesloten waren, was gemiddeld vrijwel 100 Pa bij een luchtsnelheid van ruim 4 m/s (bij geopende deuren resp. 10 Pa en ruim 1 m/s).

Het aantal uren dat de lucht werd afgekoeld, komt vrijwel overeen met drie zomermaanden. De gemiddelde afkoeling bedroeg slechts $1,4^{\circ}\text{C}$ als gevolg van de hoge omslagtemperatuur ($16-17^{\circ}\text{C}$). Hiervoor (bijlage 6) is al vermeld dat bij hogere buitenluchttemperaturen het koeffect groter is.

De hoeveelheid afkoelingsenergie van $0,87$ kWh per jaar per m^3 lucht per uur is vrij klein. Het aantal uren dat er geen warmte-uitwisseling plaats had (1) is van geen betekenis.

Het aantal uren dat de buitenlucht werd opgewarmd, komt overeen met ongeveer 9 maanden. De gemiddelde opwarming bedroeg $3,8^{\circ}\text{C}$. Zoals reeds eerder vermeld, is bij extreem lage temperaturen de opwarming relatief hoog door het hoge temperatuuruitwisselings-rendement (89%) van het systeem.

Uit bijlage 9 blijkt verder dat de gemiddelde luchtopbrengst per afdeling gedurende het jaar slechts $1183 \text{ m}^3/\text{h}$ bedroeg. Dit is een gevolg van de geringe zomerventilatie door de buizen. De gemiddelde luchtafvoer bedroeg $2004 \text{ m}^3/\text{h}$. De acht grondbuizen per afdeling leverden dus ongeveer 60% van de luchtafvoer. Alhoewel de afdelingen redelijk zijn afgedicht, moet toch worden aangenomen dat 15 à 25% van de afvoerlucht binnenkomt door luchtlekken.

Dat de lucht in de gang vanuit de grondbuizen werd opgewarmd van $11,4$ tot $13,8^{\circ}\text{C}$ is een gevolg van warmtetransmissie van de afdeling naar de gang.

Het grondbuizensysteem heeft een besparing van 60% op de energiekosten verband houdend met de ventilatie gegeven.

Uit de metingen van het energieverbruik voor verwarming blijkt dat aan aardgas in totaal 39.688 m^3 of 138 m^3 per kraamopfokhok is verbruikt. Voor vloerverwarming werd aan energie verbruikt 31.179 m^3 aardgas of 108 m^3 per kraamopfokhok per jaar. Voor voorverwarming van de aanvoerlucht in de stalgang is dus $138 - 108 = 30 \text{ m}^3$ aardgas per kraamopfokhok per jaar verbruikt. Omdat het hier open gasbranders (gaskappen) betreft is het rendement 100% op bovenwaarde geweest.

De energie-afgifte aan het water van de vloerverwarming bedroeg 212.837 kWh per jaar. Dit komt overeen met 21.767 m^3 aardgas (*) op bovenwaarde of 24.209 m^3 aardgas op onderwaarde. De gemiddelde opwarming van het water in een vorstperiode bedroeg 23°C en in een warme zomerperiode 10°C . De doorstroming bedroeg gemiddeld over het hele jaar 1.366 l/h.

Op bovenwaarde was het ketelrendement over het hele jaar gemiddeld 70% en op onderwaarde 78%.

Vergelijking met het gemiddelde verbruik in Nederland van 410 m^3 aardgas per kraamopfokhok laat zien dat hier slechts 34% van dit gemiddelde is verbruikt. Deze lage verwarmingskosten zijn te danken aan het grondbuizensysteem (120 m^3 minder aardgas), het goed afdichten van de stal, de isolatie van de stal en de toepassing van een hoogrendement-verwarmingsetel voor de vloerverwarming (rendement 78% i.p.v. 60%).

Op het proefobject is voor de opwarming van de ventilatielucht aan energie nodig geweest 120 (warmteterugwinning) + 30 (bijverwarming) = 150 m^3 aardgaseenheden.

Op de overige praktijkbedrijven wordt bij een ketelrendement van 60% 123 m^3 netto verbruikt. Dit kan inhouden dat op andere praktijkbedrijven minder wordt geventileerd of dat de verhouding van het energieverbruik tussen opwarming van ventilatielucht en vloerverwarming $65 : 35$ bedraagt in plaats van $50 : 50$.

Uitgaande van de veronderstelling dat in Nederland op varkensfokbedrijven 50% (205 m^3 aardgas per kraamopfokhok) van het energieverbruik voor de vloerverwarming van de biggenruimte wordt gebruikt, wordt hier per kraamopfokhok 53% gebruikt van het gemiddelde. Omgerekend naar het netto verbruik in de vloerverwarming bij een ketelrendement van 60% op de overige praktijkbedrijven komt dit neer op $0,60 \times 205 = 123 \text{ m}^3$ aardgas.

Op het proefobject is bij een ketelrendement van 78% het netto verbruik $0,78 \times 108 = 84,2 \text{ m}^3$ aardgas per kraamopfokhok. Dit is 68% van het gemiddelde in Nederland.

* 1 m^3 aardgas heeft een energie-inhoud van 35,2 MJ of 8408,9 kcal op bovenwaarde en 31,65 MJ of 7560,8 kcal op onderwaarde.

5. ECONOMISCH PERSPECTIEF

5.1 Proefobject grondbuizen in het open veld te Sterksel

Het totaal aan bespaarde energie bedraagt voor de diep gelegen grondbuizen $500 \text{ m}^3/\text{h} \times 5,62 \text{ kWh}/\text{m}^3$ per jaar = 2.810 kWh per jaar, en voor de ondiep gelegen grondbuizen $510 \text{ m}^3/\text{h} \times 4,44 \text{ kWh}/\text{m}^3$ per jaar = 2.264 kWh per jaar.

In totaal werd door de vier grondbuizen 5.074 kWh aan opwarmingsenergie geleverd.

Bij een ketelrendement van 60% (bij een traditionele verwarmingsketel is dit ongeveer 10% minder (onderzoek uit 1985) en bij een hoogrendementsketel 10% meer) en een aardgasprijs van $0,60 \text{ gld.}/\text{m}^3$ is de besparing op energie 962 m^3 aardgas of 577 gld. per jaar. Dit komt neer op 72 gld. per kraamopfokhok.

Het extra elektriciteitsverbruik voor de twee steunventilatoren bedraagt $8.760 \text{ h/a} \times 0,2 \text{ kW} \times 0,2 \text{ gld.}/\text{kWh} = 350 \text{ gld. per jaar}$.

Het totaal aan afkoelingsenergie bedraagt voor de diep gelegen grondbuizen $590 \text{ m}^3/\text{h} \times 5,24 \text{ kWh}/\text{m}^3$ per jaar = 3.092 kWh per jaar, en voor de ondiep gelegen grondbuizen $620 \text{ m}^3/\text{h} \times 4,74 \text{ kWh}/\text{m}^3$ per jaar = 2.932 kWh per jaar.

De vier grondbuizen leverden in totaal 6.024 kWh aan afkoelingsenergie. Aangezien er bij varkensstallen traditioneel zelden of nooit geforceerde koeling wordt toegepast, is de waarde hiervan moeilijk in geld uit te drukken.

De investeringen die voor dit systeem moeten worden gedaan zijn:

4 buizen van 35 m lengte à 8,33 gld. per m [*]	1200 gld.
graafwerkzaamheden: sleuf van 35 m lang, 2,6 m breed en 2,5 m diep	1200 gld.
pomp voor het verpompen van condenswater	300 gld.
beter afdichten van de afdeling tegen luchtlekken	100 gld.
twee steunventilatoren	<u>400 gld.</u>
	3200 gld.

In mindering te brengen bouwkosten:

geen winddrukappen	600 gld.	
minder verwarmingselementen ^{**}	<u>300 gld.</u>	
		<u>900 gld.</u>
Totaal		2300 gld.

Investering per kraamopfokhok	288 gld.
Terugverdienperiode	2300/227 = 10,1 jaar

Vermeld moet worden dat bij bovenstaande berekening geen rekening is gehouden met Energietoeslag (10%) en Kleinschaligheidstoeslag (max. 6%).

* Thans worden grondbuizen geleverd à ± 4,00 gld. per m (excl. B.T.W.).

** geschat bedrag

5.2 Proefobject grondbuizen onder de stal te Markelo

De gehele stal bestaat uit 17 afdelingen met elk 16 kraamopfokhokken, en één biggenopvangruimte. Onderstaande berekening is gemaakt voor één afdeling. Voor de stal als totaal mag het resultaat met 18 worden vermenigvuldigd.

Het totaal aan bespaarde energie per afdeling bedraagt:

$1.300 \text{ m}^3/\text{h} \times 7,78 \text{ kWh}/\text{m}^3$ per jaar = 10.114 kWh per jaar. In totaal werd door de 143 grondbuizen 180.788 kWh aan opwarmingsenergie geleverd. Bij een ketelrendement van 80% is de besparing op aardgas 1.487 m^3 per jaar per afdeling of 93 m^3 per kraamopfokhok. Bij een aardgasprijs van $0,60 \text{ gld.}/\text{m}^3$ bedraagt de energiebesparing 892 gld. per afdeling of 56 gld. per kraamopfokhok.

Bij een ketelrendement van 60% (bij een traditionele verwarmingsketel is dit ongeveer 10% minder (onderzoek uit 1985) en bij een hoogrendementsketel 10 tot 20% meer) en een aardgasprijs van $0,60 \text{ gld.}/\text{m}^3$, is de besparing op energie 35.449 m^3 aardgas of 21.269 gld. per jaar. Dit komt neer op ongeveer 74 gld. per kraamopfokhok of 1184 gld./per afdeling.

De afkoelingsenergie per m^3 ventilatielucht is 0,87 kWh per jaar. Het geringe aantal uren dat de ventilatielucht wordt afgekoeld en de geringe afkoelingsenergie zijn een gevolg van de hoge mesttemperatuur in de zomer (tot $18 \text{ }^\circ\text{C}$). Hierdoor ligt de omslagtemperatuur van opwarmen naar afkoelen relatief hoog ($16-17 \text{ }^\circ\text{C}$).

Wanneer de buitenlucht in de grondbuizen tot boven $14 \text{ }^\circ\text{C}$ wordt opgewarmd, treden er problemen op. Omdat de ventilatoren van de afdelingen waar meer wordt geventileerd (afdelingen met grote biggen) de langzamer draaiende ventilatoren in de afdelingen met jonge biggen tot stilstand brengen, loopt in de laatste de temperatuur te hoog op. Door de hoge weerstand in de grondbuizen wordt dan de buitenlucht door de afvoerventilatiekoker in de afdeling gezogen. Het is echter niet uitgesloten dat dit mede een gevolg is van een slechte werking van de computerbesturing.

Het totaal aan afkoelingsenergie bedroeg voor de onderzochte afdeling $800 \text{ m}^3/\text{h} \times 0,87 \text{ kWh}/\text{m}^3$ per jaar = 696 kWh per jaar; voor de totale stal komt dit neer op 12.528 kWh per jaar. Aangezien er bij varkensstallen traditioneel zelden of nooit geforceerde koeling wordt toegepast, is de waarde hiervan moeilijk in geld uit te drukken.

In het "Handboek voor de Varkenshouderij 1985" wordt vermeld dat 14% van de biggen doodgaan. Bij een produktie van 18 biggen per zeug per jaar komt dit neer op 2,5 biggen per zeug per jaar. Uitgaande van de veronderstelling dat als gevolg van een betere klimaatregeling met het grondbuizensysteem één big meer in leven kan blijven, is er een meeropbrengst van 130 gld. minus 65 gld. voerkosten, dat is 65 gld. per zeug of $4,1 \times 65 \text{ gld.} = 266,50 \text{ gld.}$ per kraamopfokhok per jaar.

De kosten voor ziektebestrijding bedragen ongeveer 70 gld. per zeug per jaar. Wanneer er van wordt uitgegaan dat deze door toepassing van het grondbuizensysteem met 2% verminderen, dan betekent dit een besparing van $4,1 \times 1,4 = 5,74 \text{ gld.}$ per kraamopfokhok per jaar.

Omdat de temperatuur in de stal door de toepassing van het grondbuizensysteem beter binnen de comfortzone kan worden gehouden, is een daling van de voerkosten te verwachten. Stelt men die op 5%, dan houdt dit een besparing in van 75 gld. per zeug of $4,1 \times 75 \text{ gld.} = 308 \text{ gld.}$ per kraamopfokhok per jaar.

Sommeert men bovenstaande bedragen, dan komt men tot een besparing van 580 gld. per kraamopfokhok en per afdeling van 16 kraamopfokhokken tot een besparing van 9.280 gld. per jaar.

De investeringen die voor dit systeem moeten worden gedaan zijn:

143 buizen van 20 m lengte à 8,33 gld. per m	33000 gld.
extra graafwerkzaamheden (renovatie)	5000 gld.
pomp voor het verpompen van condenswater	300 gld.
beter afdichten van de afdelingen tegen luchtlekken	<u>2000 gld.</u>
	40300 gld.

In mindering te brengen bouwkosten:

geen winddrukappen	14300 gld.	
minder verwarmingselementen *	<u>3700 gld.</u>	<u>18000 gld.</u>
Totaal		22300 gld.
Investering per afdeling 8/143 x 22300		1248 gld.
Investering per kraamopfokhok		78 gld.
Terugverdienperiode **	1248/862 =	1,4 jaar

Bij bovenstaande berekening is geen rekening gehouden met Energietoeslag (10%) en Kleinschaligheidstoeslag (max. 6%).

* geschat bedrag

** Wanneer sprake is van een lager ketelrendement, b.v. 60%, dan is de terugverdienperiode iets korter.

5.3 Kosten/baten-vergelijking grondbuizensysteem versus traditionele verwarming van een fokzeugenstal

Uitgangspunten:

60 kraamopfokhokken (246 fokzeugen)

lengte grondbuis	20	m	
doorsnede grondbuis	150	mm	
minimale ventilatiehoeveelheid	100	m ³ /h	per kraamopfokhok
aardgasprijs	46,2	ct/m ³	
ketelrendement	70	%	
stookgrens	16	°C	
Energietoeslag 10% en Kleinschaligheidstoeslag 6%.			
aardgasverbruik bij een ventilatie van 100 m ³ /h	19.159	m ³ /a	
aardgasverbruik voor biggenruimteverwarming	<u>12.300</u>	<u>m³/a</u>	
Totaal	31.459	m ³ /a	

Investeringsen grondbuizensysteem:

grondbuizen 60 x 1,57 x 20 x 5,5	10.362	gld.
condensafvoerleiding met pomp	12.500	gld.
grondwerkzaamheden	10.000	gld.
diversen	<u>3.000</u>	<u>gld.</u>
	35.862	gld.
bijverwarming	<u>3.000</u>	<u>gld.</u>
	38.862	gld.
minus 16% (premie en toeslagen)	<u>6.218</u>	<u>gld.</u>
Totaal	32.462	gld.

Investering traditionele verwarming:

winddrukcapen	8.000 gld.
verwarmingsinstallatie	<u>12.000 gld.</u>
Totaal	20.000 gld.

Jaarkosten:

grondbuizensysteem	traditionele verwarming		
Vaste kosten			
11% van 32.644 gld.	3.591 gld.	18% van 20.000 gld.	3.600 gld.
Variabele kosten			
<u>aardgasverbruik 19.964 m³</u>	<u>9.223 gld.</u>	<u>31.459 m³</u>	<u>14.543 gld.</u>
Totaal	12.814 gld		18.143 gld.

Jaarlijks financieel voordeel grondbuizensysteem:

$$18.143 - 12.814 = 5.329 \text{ gld.}$$

Terugverdienperiode van het grondbuizensysteem bij de huidige aardgasprijs van 46,2 ct/m³: $\frac{32.644}{14.534 - 9.223} = 6,1$ jaar

(Bij gebruikmaking van grondbuizen met een doorsnede van 200 mm is het resultaat vrijwel gelijk).

5.4 Kosten/baten-vergelijking grondbuizensysteem versus traditionele verwarming van een mestvarkensstal

Uitgangspunten:

480 mestvarkensplaatsen

lengte grondbuis	20	m	
doorsnede grondbuis	150	mm	
minimale ventilatiehoeveelheid	50	m^3/h	
aardgasprijs	46,2	ct/ m^3	
ketelrendement	70	%	
stookgrens	10	$^{\circ}C$	
Energietoeslag 10% en Kleinschaligheidstoeslag 6%			
aardgasverbruik bij een ventilatie van 50 m^3/h			33.434 m^3/a

Investeringsen grondbuizensysteem:

grondbuizen 480 x 0,79 x 20 x 5,5	41.712 gld.
condensafvoerleiding met pomp	12.500 gld.
grondwerkzaamheden	10.000 gld.
diversen	<u>3.000 gld.</u>
	67.212 gld.
bijverwarming	<u>3.000 gld.</u>
	70.212 gld.
minus 16% (premie en toeslagen)	<u>11.234 gld.</u>
Totaal	58.978 gld.

Investering traditionele verwarming:	
winddrukappen	8.000 gld.
verwarmingsinstallatie	<u>12.000 gld.</u>
Totaal	20.000 gld.

Jaarkosten:

grondbuizensysteem	traditionele verwarming
--------------------	-------------------------

Vaste kosten

11% van 58.978 gld.	6.488 gld.	18% van 20.000 gld.	3.600 gld.
---------------------	------------	---------------------	------------

Variabele kosten per jaar

<u>aardgasverbruik 13.374 m³</u>	<u>6.179 gld.</u>	<u>33.434 m³</u>	<u>15.447 gld.</u>
Totaal	12.667 gld.		19.047 gld.

Jaarlijks financieel voordeel grondbuizensysteem:

19.047 - 12.667 = 6.380 gld.

Terugverdienperiode van het grondbuizensysteem bij de huidige aardgasprijs van 46,2 ct/m³: $\frac{58.978}{15.447 - 6.179} = 6,4$ jaar

(Bij gebruikmaking van grondbuizen met een doorsnede van 200 mm is het resultaat vrijwel gelijk).

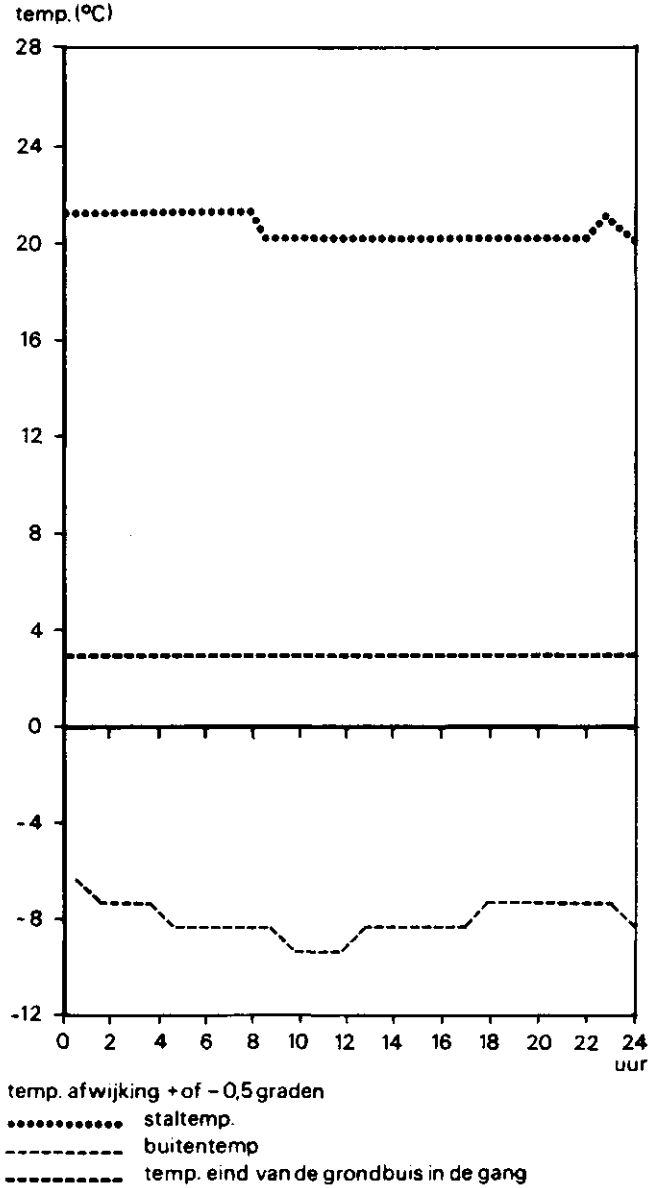
6. KONKLUSIES EN AANBEVELINGEN

- Toepassing van het grondbuizensysteem geeft een besparing op verwarmingskosten. Uitgaande van een gemiddeld energieverbruik van 100 m^3 aardgas per fokzeug, waarvan, naar uit berekeningen blijkt, ca. 50 % wordt gebruikt voor het op temperatuur houden van de biggenruimte en de rest voor opwarming van de ventilatielucht, is het aardgasverbruik voor de opwarming van de ventilatielucht per kraamopfokhok $4,1 \times 50 = 205 \text{ m}^3$ per jaar.
- Het aantal grondbuizen dat moet worden gelegd is afhankelijk van de buisdiameter. Zo is bij een buisdoorsnede van 150 mm 1,57 buis per kraamopfokhok en 0,79 buis per mestvarkensplaats benodigd; bij een buisdoorsnede van 200 mm 0,88 buis per kraamopfokhok en 0,44 buis per mestvarkensplaats.
- De lengte van de grondbuizen is afhankelijk van de doorsnede (de luchtsnelheid), de luchtweerstand en het temperatuuruitwisselings-rendement.
- De diepteligging van grondbuizen moet ongeveer 2 tot 2,5 m bedragen. Naarmate de buizen dieper liggen, is de nivellerende invloed ervan op de buitenluchttemperatuur groter.
- Bij een goed aangelegd grondbuizensysteem en een goed tegen luchtlekken afgedichte stal kan een besparing worden verkregen van 60 % op kosten voor opwarming van de buitenlucht voordat deze de afdeling ingaat.
- Bij de huidige aardgasprijs ($46,2 \text{ ct./m}^3$) is de terugverdientijd van een grondbuizensysteem ongeveer 6 jaar, zowel voor fokzeugen- als voor mestvarkensstallen.
- De nivellerende werking van de grondbuizen op de binnenkomende luchttemperatuur zal, door het voorkómen van tocht, de gezondheid (ook minder stress) van de dieren ten goede komen.
- Door de toepassing van de grondbuizen wordt de comfortzone van de dieren beter gehandhaafd, waardoor de voederconversie en daarmee de produktie worden verbeterd.
- Door de nivellerende invloed op de temperatuur van de ventilatielucht door het grondbuizensysteem kan in de winter meer dan minimaal (b.v. $100 \text{ m}^3/\text{h}$ i.p.v. $25 \text{ m}^3/\text{h}$) worden geventileerd, terwijl in de zomer de maximum ventilatie lager (b.v. $200 \text{ m}^3/\text{h}$ i.p.v. $250 \text{ m}^3/\text{h}$) kan zijn dan zonder toepassing van grondbuizen. Bij een goed aangelegde installatie kan dan worden volstaan met kleinere ventilatoren en dus een lager elektriciteitsverbruik. Door de opwarming van de stallucht maakt het grondbuizensysteem bij mestvarkens 's winters een ventilatieniveau van max. $50 \text{ m}^3/\text{h}$ mogelijk.

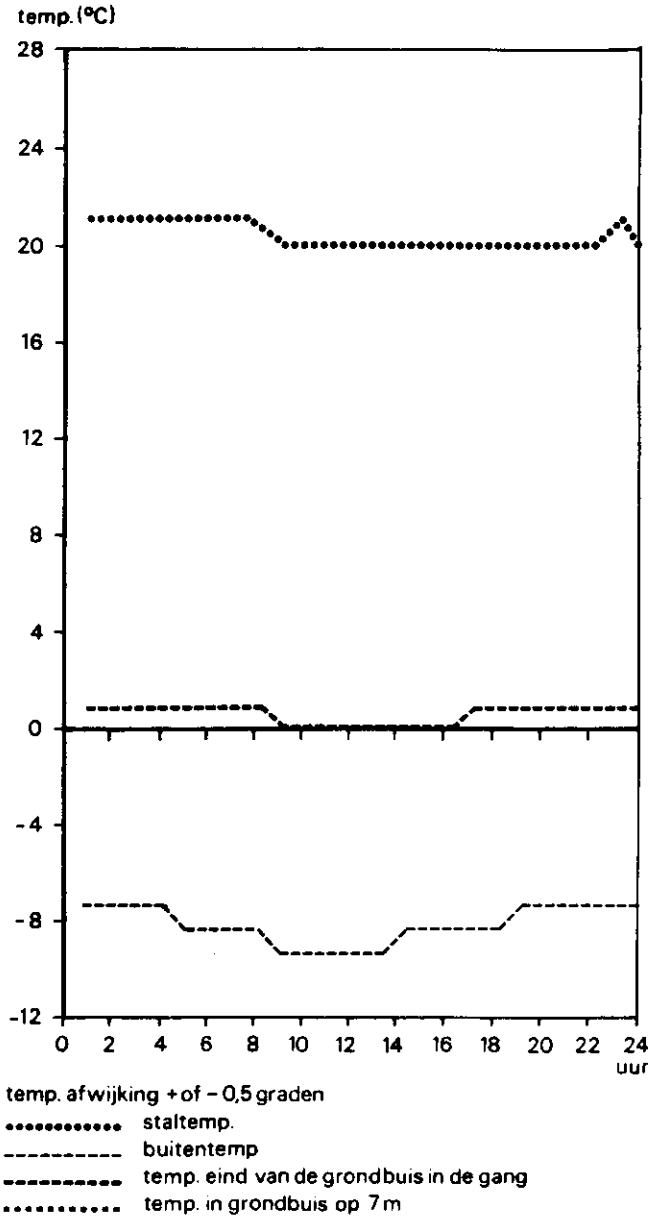
- Er zijn aanwijzingen dat een lager ventilatieniveau in de zomer leidt tot een lagere geur- en ammoniakemissie.
- Door de koelende werking van de grondbuizen in warme perioden is de kans op doodliggen van biggen door de zeugen geringer.
- Gebleken is dat een hoogrendement-verwarmingsetel een rendement heeft van 70 % op bovenwaarde en 78 % op onderwaarde, hetgeen 20 tot 30 % hoger is dan bij de nog veel gebruikte traditionele verwarmingsetels.
- De stal moet goed zijn afgedicht. Wanneer luchtlekken in de stal voorkomen, zal de lucht uit de grondbuizen 's winters worden vermengd met de koudere buitenlucht, ook al is het ventilatieniveau laag. 's Zomers, bij een hoog ventilatieniveau, zal luchtlekkage aanleiding geven tot een hoge mengluchttemperatuur, waardoor het ventilatieniveau nog verder moet worden verhoogd. De luchtweerstand in de buizen neemt hierdoor toe, waardoor nog meer leklucht wordt aangezogen.
- Buiten het bedrijfsgebouw moet ruimte aanwezig zijn om de grondbuizen te kunnen leggen.
- Ten opzichte van de traditionele stalverwarming vergt het grondbuizen-systeem een extra investering. Behalve de grondbuizen moet een voorziening worden getroffen voor de afvoer van condenswater (putje met afvoerpomp). Daarentegen kan de investering voor bijverwarming geringer zijn en vervalt de investering voor voorzieningen om windinvloeden uit te schakelen (winddrukkappen e.d.).
- De gebruikelijk toegepaste geribde grondbuizen worden niet gegarandeerd op waterdichtheid.
- Gladde kunststof buizen worden wel gegarandeerd op waterdichtheid. Deze zijn in meerdere diameters (vanaf 160 en oplopend met ongeveer 50 mm tot 630 mm) en lengten (5 en 10 m) leverbaar. De prijs is ongeveer tweemaal zo hoog als die van de geribde buizen, het temperatuuruitwisselings-rendement is nagenoeg gelijk. De luchtweerstand in de buis is lager alhoewel veelal haakse bochten zullen worden toegepast.
- Om met traditionele stalventilatoren te kunnen volstaan, mag de luchtweerstand in de grondbuizen niet boven de 30 Pa uitkomen.
- Voor een goed effect moet het temperatuuruitwisselings-rendement van de grondbuizen tenminste 70 % zijn.

- Tevens blijkt dat de investering voor beide verschillende buisdiameters gelijk is. De grotere diameter (200 mm) zal over het algemeen beter passen bij de breedte van de afdeling.
- De luchtsnelheid in de buizen mag zonder toepassing van een steunventilator niet hoger zijn dan 2 m/s. Bij toepassing van een steunventilator met een gelijke capaciteit als de afvoerventilator mag de luchtsnelheid niet hoger zijn dan 3 m/s. Alleen bij toepassing van speciale ventilatoren (duurder in aanschaf en meer vermogen vragend) zijn hogere luchtsnelheden toegestaan. Door de verhoogde investering en elektriciteitsverbruik verdient een steunventilator geen aanbeveling.
- Van een invloed van het grondwater op de temperatuuruitwisseling is niets gebleken. Vermoedelijk is de stroming van het grondwater in horizontale en verticale richting daarvoor te gering.
- De grondbuizen moeten geleidelijk naar de condensput aflopen. Er mag geen doorbuiging voorkomen anders is de kans op verstopping door condenswater of stof groot.

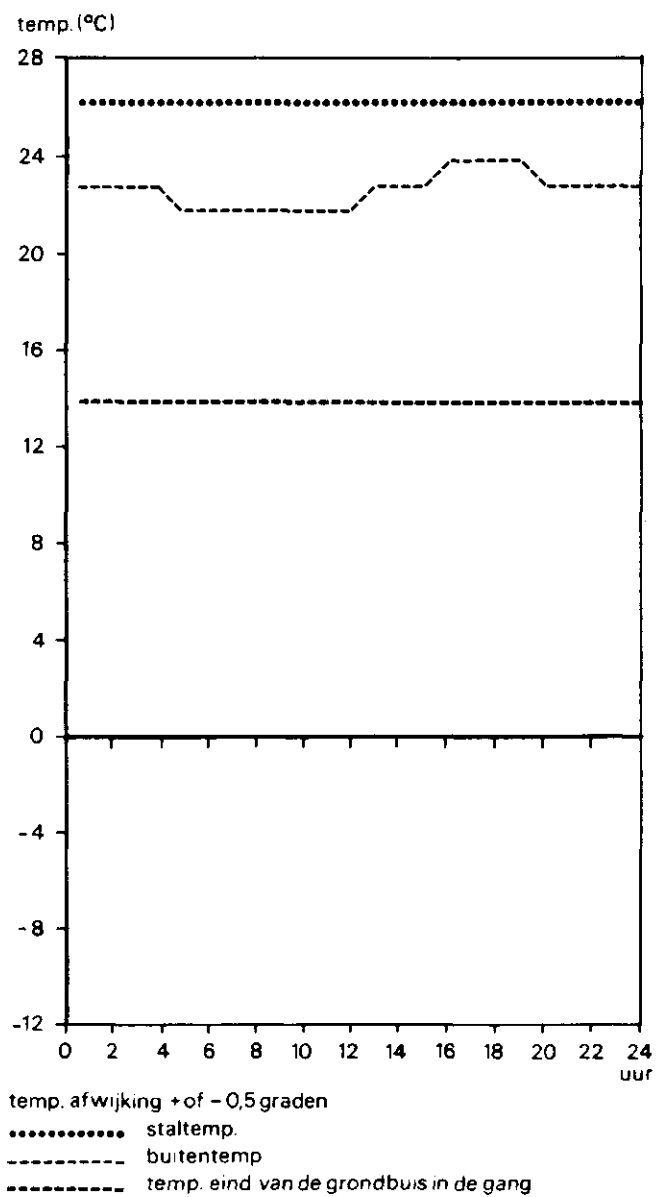
Bijlage 1 Temperatuurmetingen op 22 februari 1986 bij de diep (gem. 2,25 m) gelegen grondbuizen op het Varkensproefbedrijf te Sterksel.



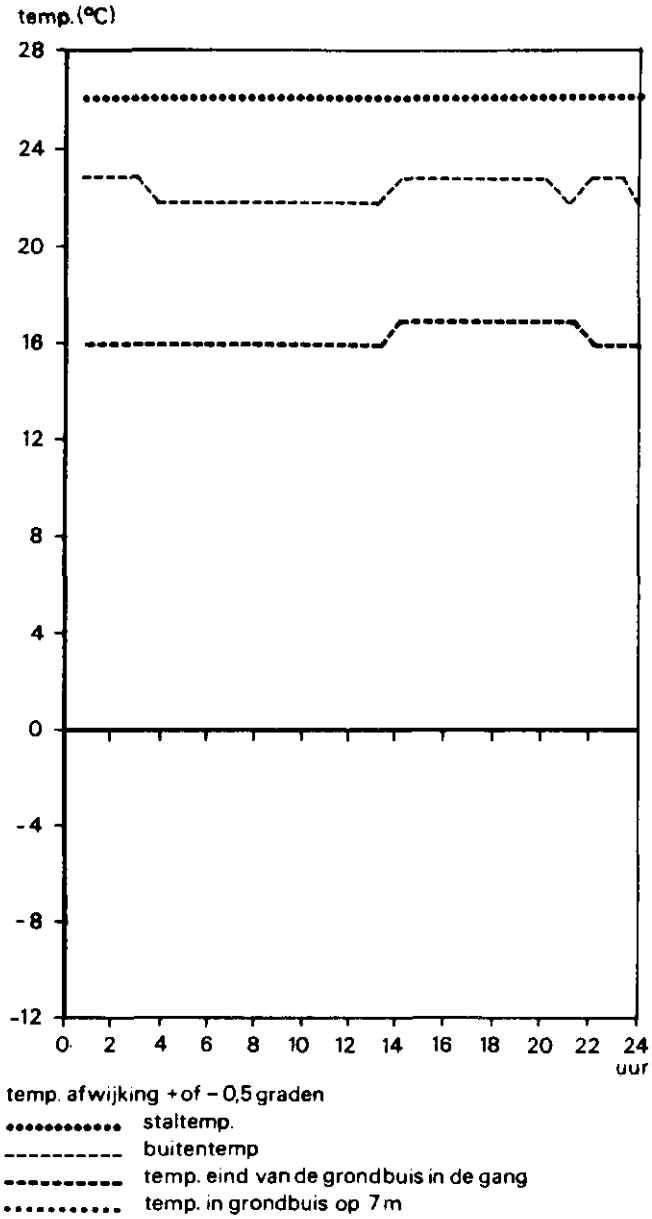
Bijlage 2 Temperatuurmetingen op 22 februari 1986 bij de ondiep (gem. 1,80 m) gelegen grondbuizen op het Varkensproefbedrijf te Sterksel.



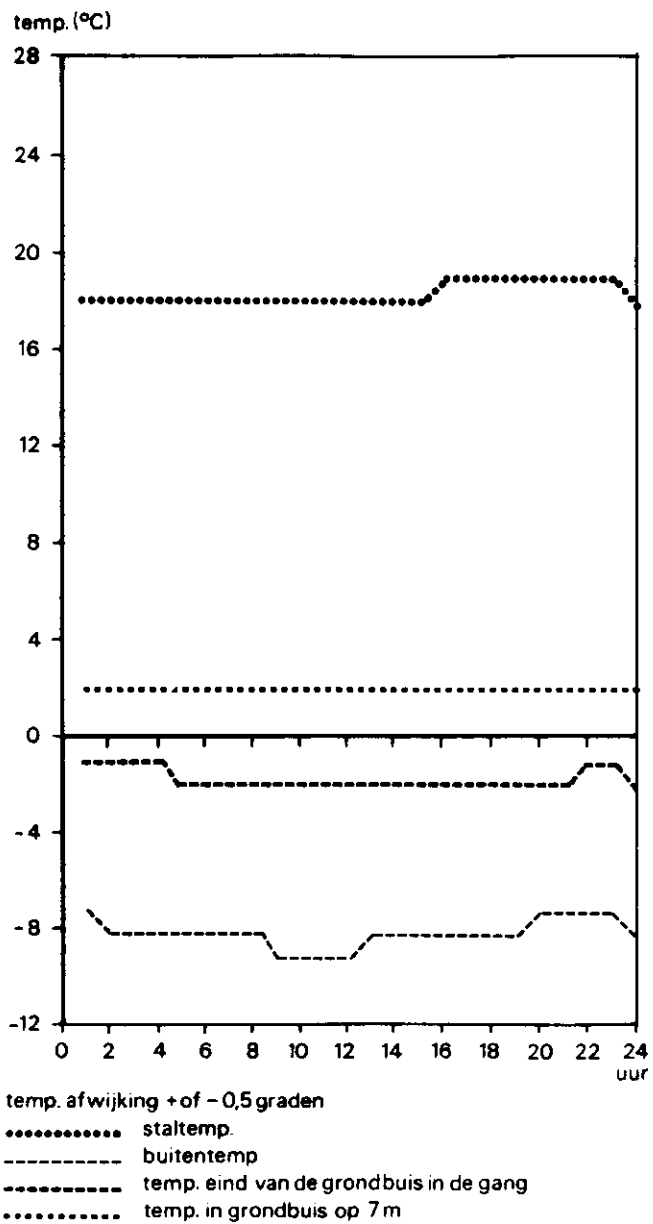
Bijlage 3 Temperatuurmetingen op 17 juni 1986 bij de diep (gem. 2,25 m) gelegen grondbuizen op het Varkensproefbedrijf te Sterksel.



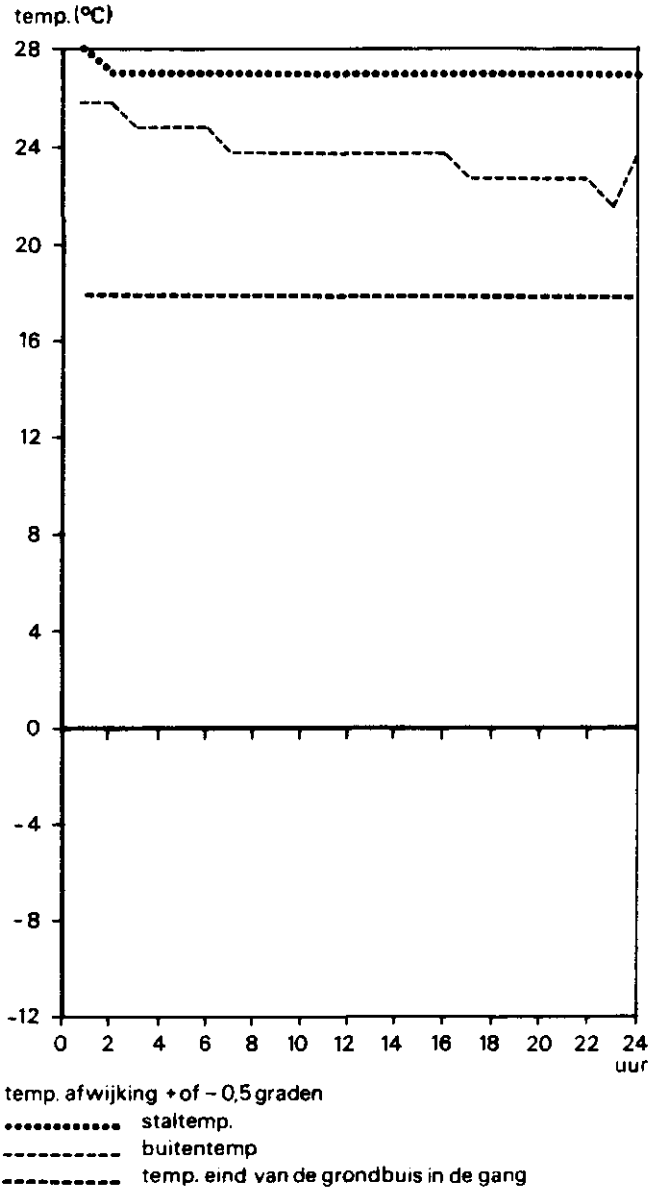
Bijlage 4 Temperatuurmetingen op 17 juni 1986 bij de ondiep (gem. 1,80 m) gelegen grondbuizen op het Varkensproefbedrijf te Sterksel.



Bijlage 5 Temperatuurmetingen op 22 februari 1986 bij de grondbuizen op het Verenigde Molenaarsfokbedrijf te Markelo.



Bijlage 6 Temperatuurmetingen op 17 juli 1986 bij de grondbuizen op het Verenigde Molenaarsfokbedrijf te Markelo.



Bijlage 9 Jaaroverzicht van de resultaten bij de grondbuizen op het Verenigde Molenaarsfokbedrijf te Markelo.

(nov. '85 - nov. '86; totaal aantal uren: 8760). Het betreft hier één afdeling.

Gem. luchtweerstand in de buizen	34,2 Pa
Gem. luchtsnelheid in de buizen	2,39 m/s
Aantal uren dat de lucht is afgekoeld	2040
Gem. afkoeling	1,4 °C
Temperatuuruitwisselings-coëfficiënt	0,61
Afkoelingsenergie per m ³ lucht per jaar	0,87 kWh
Aantal uren dat <u>geen</u> opwarming of afkoeling heeft plaatsgehad	1
Aantal uren dat de lucht is opgewarmd	6719
Gem. opwarming	3,8 °C
Temperatuuruitwisselings-coëfficiënt	0,89
Opwarmingsenergie per m ³ lucht per jaar	7,78 kWh

	I		I	<-I-820
	I	2004 m ³ /h	I	13.8 I m ³
	I	21.8 22 21.4 22	I	I
	I		I	1183 m ³ /hI
8.8	I		I	11.4 I
I I I			I I I	I
I I I			I I I	I
I I I			I I I	I
I I I			I I I	I
//////////	I I I		I I I	I
I I I			I I I	I
I I I		bovenste mestput	I I I	I
I I I		15.2	I I I	12.8 I
I I I			I I I	I
I I I		onderste mestput	I I I	I
10.8	I I I		I I I	I
I I I			I I I	I
I I I		(mest)	I I I	I
10.5	I I I	12.9 13.3	10.7 I I I	I
I I I			I I I	I
I I			I I	I
10.4	I	10.3 10.4	I	//////////
I			I	I
10.4		I I		
		I I		
		I I		
		condens		
		5537 kg water		

Bijlage 10 Benadering van de weerstand in grondbuizen.

$$\text{Reynolds getal} = \frac{V \text{ (m/s)} \times Dh \text{ (m)}}{1,4 \times 10^{-5} \text{ (m}^2\text{/s)}}$$

V = gemiddelde lichtsnelheid in m/s.
Dh = hydraulische doorsnede (voor een buis de doorsnede)

Bocht lengte bij een hoek van 90 graden $L_b = 0,5 \times \pi \times R$
 $\pi = 3,1416$
R = straal van de bocht die de grondbuis maakt in m.

$$\text{druktoename } P_k = ((-0,100815 \times (\text{EXP}(-0,783552 \times (R/D)))) + (-0,53894 \times 10^{-3} \times (\text{EXP}(-0,312541 \times 10^{-2} \times (R/D)))) + (0,2211 \times (\text{EXP}(-0,841076 \times 10^{-1} \times (R/D))))$$

P_k = druktoename in bochten in Pascal
D = diameter van de grondbuis in meters.
EXP = de e macht

Indien de hoek groter is dan 90 graden dan geldt;

$$\text{druktoename } P_h = 1,4 \times ((H/90 - 1) \times P_k)$$

H = de werkelijke hoek

$$P_b = AB \times (L_b/D) \times P_k \text{ (of } P_h) \times 0,5 \times D_1 \times V^2$$

Indien het Reynoldsgetal kleiner is dan 2300 dan is $L_1 = 0,2 \times 64/Re$
Indien het Reynoldsgetal ligt tussen 2300 en 10000 dan is $L_1 = 0,056$
Indien het Reynoldsgetal ligt tussen 10000 en 100000 dan is $L_1 = 0,050$
Indien het Reynoldsgetal groter is dan 100000 dan is $L_1 = 0,048$

De druktoename in een rechte buis is:

$$P_r = L_1 \times ((L - (AB \times L_b))/D) \times 0,5 \times D_1 \times V^2$$

P_r = weerstand in een rechte buis in Pascal

L_1 = weerstandsfactor
L = lengte van de grondbuis in m.
AB = aantal bochten die worden gemaakt.
D = doorsnede grondbuis in m.
 L_b = lengte van de bocht in m
 D_1 = dichtheid van de lucht in kg/m^3 .
V = lichtsnelheid in m/s

$$P_{\text{totaal}} = P_b + P_r$$

De totale druktoename is de som van beide (zowel de bocht(en) als het rechte stuk.