

373. beretning fra forsøgslaboratoriet

Udgivet af Statens Husdyrbrugsudvalg

Studier over energiomsætningen hos voksende svin

I. Opbygning og funktion af et nyt respirationsanlæg for svin.

Studies on energy metabolism in growing pigs

I. Construction and Function of a New Respiration Plant for Pigs.

Af

Grete Thorbek



I kommission hos Landhusholdningsselskabets forlag,

Rolighedsvej 26,

1958 København V.

Trykt i Frederiksberg Bogtrykkeri

1969

INDHOLDSFORTEGNELSE

(Index in English below)

1. INDLEDNING	5
2. RESPIRATIONSANLÆGGETS OPBYGNING	9
2.1. Generel beskrivelse	9
2.2. Respirationskammerets opbygning	12
2.3. Klima-anlæg	14
2.4. Ventilation	16
2.5. Apparatur til måling af luftvolumen	17
2.6. Apparatur til måling af luftens sammensætning	20
2.7. Omkostninger ved opbygning af respirationsanlægget	23
3. RESPIRATIONSANLÆGGETS FUNKTION	24
3.1. Anlæggets tæthed	24
3.2. Klima-anlæggets funktion og kapacitet	25
3.3. Luftmængde-målerens funktion	27
3.4. Luftanalyse-apparaturets funktion	28
4. RESPIRATIONSANLÆGGETS KALIBRERING	29
4.1. Princip for kalibrering	29
4.2. Teknisk udførelse af kalibrering	30
4.3. Kalibrerings-resultater	33
5. SAMMENFATNING	36
I. CONSTRUCTION OF THE RESPIRATION PLANT	37
Construction of the respiration chamber	37
Air-conditioning plant	38
Ventilation	39
Apparatus for measuring air-volume	39
Apparatus for measuring air-composition	40
Expenses in construction of the respiration plant	41
II. FUNCTIONING OF THE RESPIRATION PLANT	41
Functioning and capacity of the air-conditioning system	41
Functioning of instruments for measuring air volume and air composition	42
III. CALIBRATION OF THE RESPIRATION PLANT	43
Principle and method	43
Calibration results	44
IV. SUMMARY	45
LITTERATURLISTE	45

FORORD

Ved Landøkonomisk Forsøgslaboratorium i København blev det første respirationsanlæg for kvæg taget i brug i 1917 til undersøgelser over energiomsætningen hos malkende kvæg. I 1932/33 blev der bygget to mindre respirationsanlæg for svin, og de første forsøg til bestemmelse af energiomsætningen hos voksende svin påbegyndtes.

For at kunne intensivere undersøgelserne over husdyrenes energiomsætning er der i de sidste ti år givet bevillinger til bygning af nye respirationsanlæg for svin, høns og kvæg. Anlægget for svin blev færdigbygget i 1963, og de tekniske prøver afsluttedes i 1964, hvorefter anlægget blev taget i brug til gennemførelse af et to-årigt forsøg med voksende svin. Resultaterne fra disse forsøg er nu færdigbehandlede og vil blive publiceret i beretninger under fællestitlen »Studier over energiomsætningen hos voksende svin«.

Den første beretning vedrørende anlæggets opbygning og funktion fremlægges hermed, og jeg vil gerne benytte lejligheden til at bringe professor P. E. Jakobsen min hjertelige tak for en aldrig svigtende interesse for projektets gennemførelse og for en stadig støtte over for Statens Husdyrsbrugsudvalg til opnåelse af de nødvendige bevillinger fra Landbrugsministeriet.

Ved anlæggets projektering har vi modtaget hjælp fra mange sider, men en særlig tak ønsker jeg at rette til ingeniørerne H. Hjerrild, H. Engel og K. L. Schwennesen for inspirerende diskussioner under projekteringen, for et fortrinligt samarbejde under selve opbygningen og for den stadige interesse for anlæggets funktion.

Endelig vil jeg gerne takke maskinmester C. Albrechtsen for det store arbejde, han har nedlagt i hele det praktiske opbygnings- og installationsarbejde og for de gode forslag, han har fremsat under arbejdets gang, ikke mindst vedrørende recipienternes udformning.

1. Indledning

I slutningen af det 18. århundrede opstillede *Lavoisier* som den første teorien om, at nedbrydningsprocesserne i den levende organisme måtte anses for at være oxydationsprocesser, og han viste eksperimentelt, at der ved den langsomme forbrænding i organismen af en vis stofmængde blev dannet nøjagtig den samme mængde kulsyre som ved den hurtige forbrænding uden for organismen. Da *Lavoisier* i 1794 blev henrettet under den franske revolution, gik udviklingen i stå inden for dette område, og det varede næsten 100 år, inden hans tanker og hypoteser blev taget op til eksperimentel afprøvning.

Som følge af den tekniske udvikling var man nu blevet i stand til at bygge apparater, der muliggjorde nøjagtige målinger af det respiratoriske stofskifte hos mennesker og dyr. De eksperimentelle undersøgelser, der fuldt ud bekræftede *Lavoisier's* teorier, blev gennemført ved dette århundredskifte af forskere som *Regnault* og *Reiset*, *Voit*, *Pettenkofer*, *Zuntz* og *Rubner*.

Derfra var vejen åben til undersøgelser over husdyrenes energiomsætning og energibehovet ved de forskellige produktioner, og i forbindelse hermed udvikledes hele læren om den energetiske fodermiddelvurdering. De grundlæggende forsøg og hele den teoretiske udformning af de principper, der må iagttages ved måling af dyrenes energiomsætning og foderets energetiske næringsværdi, kan vi tilskrive forskere som *Kellner*, *Armsby*, *Forbes*, *Benedict*, *Kleiber* og *Møllgaard*. En udførlig beskrivelse af de ældre, klassiske respirationsapparater er bl. a. givet af *Paechtner* (1931) og *Kleiber* (1961).

Efter den anden verdenskrig begyndte en ny udvikling inden for det energetiske forskningsområde med bygning af nye respirationsanlæg for større husdyr. En væsentlig årsag til denne udvikling må tilskrives behovet for at opnå et dybere kendskab til dyrenes energiomsætning under forskellige fysiologiske betingelser for derved at kunne sammenkæde den viden, de foregående årtier havde bragt os vedrørende de biokemiske processers forløb i den levende organisme. En anden årsag må søges i den stigende interesse for at få bestemt husdyrenes energibehov ved de forskellige produktionsformer og at få bestemt fodermidlernes energetiske værdi for derved bedre at kunne opbygge en mere rationel fodringslære.

I de sidste 10–20 år er der rundt om i verden sket en stærk udbygning af respirationsanlæg for større husdyr, og en oversigt vedrørende de eksisterende anlæg indtil 1958 vil man finde i beretningen fra det første Energi-Symposium, der blev afholdt i København. (*Proceedings. 1. Symposium on Energy Metabolism (1958)*).

Der foregår en stadig udbygning af respirationsanlæg opbygget efter forskellige principper, og der skal gives en kort fremstilling heraf, inden der gives en mere detaljeret beskrivelse af det nye respirationsanlæg for svin, der i 1964 blev taget i brug ved Landøkonomisk Forsøgslaboratorium i København.

Emnet skal begrænses til kun at omfatte anlæg for svin beregnet til langvarige målinger af varmeproduktionen hos enkelt-individer. Varmeproduktionen kan bestemmes efter 2 hovedprincipper:

1. Direkte kalorimetri
2. Indirekte kalorimetri

Efter det første princip bestemmes ved direkte målinger dyrets samlede varmeafgift, medens man ved det andet princip beregner varmeproduktionen på grundlag af målinger af dyrets respiratoriske stofskifte.

Direkte kalorimetri.

De første målinger over menneskers og dyrs varmeproduktion blev gennemført ved direkte kalorimetri. En kort oversigt vedrørende de måleprincipper, der har været og stadig er i brug ved direkte kalorimetri, er givet af *Blaxter (1962)*.

Efter at *Benzinger og Kitzinger (1949)* havde videre udviklet teorien om, hvorledes man kunne bygge et kalorimeter efter det såkaldt »gradient-layer« princip, der hviler på Fouriers lov, lykkedes det *Pullar (1958)* ved Rowett Instituttet at bygge et sådant kalorimeter, der var i stand til at måle den samlede varmeafgift hos svin op til 25 kg legemsvægt. Varmeafgiften registreredes ved hjælp af mere end 10.000 par termoelementer bestående af kobber/konstantan. Anlægget arbejder med overordentlig stor sikkerhed, idet den sandsynlige fejl er omkring ± 15 kcal pr. dag, hvilket for de større dyr er under 1 % af den samlede varmeafgift. Anlægget er senere blevet udstyret med instrumenter til registrering af den udgående luftstrøms sammensætning med hensyn til ilt, kulsyre og metan. Senere er der efter samme princip bygget endnu et kalorimeter, der kan tage svin op til 100 kg, *Pullar (1962)*.

Indirekte kalorimetri.

Dyrets varmeproduktion kan beregnes enten efter RQ-metoden eller efter NC-metoden. Den første metode forudsætter bestemmelse af iltforbrug, kulsyreproduktion, evt. metanproduktion samt bestemmelse af kvælstofudskillelsen i urinen. Varmeproduktionen kan herefter beregnes efter den nu internationalt anvendte ligning. (Brouwer, 1965).

Varmeproduktion (RQ), kcal = $3.866 \times \text{I O}_2 + 1.200 \times \text{I CO}_2 \div 0.518 \times \text{I CH}_4 \div 1.431 \times \text{g N i urin}$.

Ved NC-metoden beregnes varmeproduktionen som differens mellem omsættelig energi og den totale energibalance, der er bestemt som summen af kulstofbalancen (C) og kvælstofbalancen (N) udtrykt i energetiske værdier efter følgende funktion (Brouwer, 1965).

Varmeproduktion (NC), kcal = $\text{Omsættelig energi} \div (12.388 \times \text{g aflejret C} \div 4.636 \times \text{g aflejret N})$.

For at kunne beregne kulstofbalancen er det nødvendigt at kende dyrets kulsyreproduktion og eventuelle metanproduktion. Det ses heraf, at uanset hvilken metode man vælger til beregning af varmeproduktionen, er det nødvendigt, at man kan bestemme det respiratoriske stofskifte eller en del deraf.

Dette kan foregå efter to metoder, der adskiller sig fra hinanden med hensyn til luftcirkulationen og derfor karakteriseres som:

1. Lukket system
2. Åbent system

Lukket system.

I det lukkede system befinder dyret sig i et tæt tillukket respirationskammer, og herfra ledes luften kontinuerligt over et anlæg, hvor den producerede kulsyre- og vandmængde absorberes, inden luften atter pumpes tilbage til respirationskammeret. Ved hjælp af et særligt system tilføres der kammeret en iltmængde svarende til dyrets iltforbrug. Ved vejning af absorptionsbeholderne før og efter forsøget fås et direkte udtryk for den producerede kulsyremængde, og ved volumetrisk måling af den tilførte iltmængde bestemmes dyrets samlede iltforbrug under forsøget. Hertil må føjes en korrektion for ændringer i luftens sammensætning i respirationsanlægget før og efter forsøget.

Blaxter og hans medarbejdere har bygget en serie af sådanne respirationsanlæg, dels ved Hannah-Instituttet og dels ved Rowett-Instituttet. Disse anlæg har fortrinsvis været benyttet til forsøg med kvæg og får, men i det sidste år har et af anlæggene ved Rowett været benyttet til forsøg med svin.

En beskrivelse af anlæggenes tekniske udformning og en diskussion af de anvendte principper er givet af *Blaxter, Graham & Rook* (1954) og *Wainmann, Blaxter* (1958) samt *Blaxter* (1962).

Åbent system.

I det åbne system befinder dyret sig i et respirationskammer med indsugning af frisk luft, der efter blanding med respirationsluften udsuges og passerer over målesystemer, der tillader en nøjagtig bestemmelse af det samlede luftrumfang og af den udgående lufts sammensætning med hensyn til ilt, kulsyre og eventuelt metan. På grundlag af disse målte værdier kan dyrets iltforbrug, kulsyreproduktion og metanproduktion beregnes.

De fleste anlæg til måling af det respiratoriske stofskifte hos svin er bygget efter det åbne princip, således anlæggene ved Oskar Kellner Instituttet, Rostock, hvor *Nehring* og medarbejdere (1958) samt *Schiemann* (1958) har givet en indgående beskrivelse af anlæggets opbygning og funktion. Det anlæg, som *Hörnigke* (1958) har bygget til kontinuerlig registrering af det respiratoriske stofskifte hos svin, er ligeledes bygget efter det åbne princip.

Ved Landøkonomisk Forsøgslaboratorium byggede *Møllgaard* i 1932/33 et respirationsanlæg med to kamre for svin efter det åbne princip. Den første, der benyttede anlægget til måling af energiomsætningen hos svin, var *Breirem* (1935), der i sin beretning har givet en kort beskrivelse af apparatets opbygning og funktion. Senere blev anlægget benyttet til bestemmelse af energiomsætningen hos svin under A-vitaminmangel, (*Lund*, 1938) og under aureomycintilførsel (*Ludvigsen & Thorbek*, 1955).

Det nævnte anlæg var ikke klimatiseret, men ved hjælp af vandkøle-ribber kunne temperaturen holdes ned omkring 20–21°, hvilket imidlertid medførte, at kammerluften var næsten mættet med vanddamp. Da anlægget ikke var udstyret med registrerende instrumenter til måling af temperatur og tryk, og da det samtidig manglede sikkerhedsanordninger for dyrene, var det nødvendigt at have konstant tilsyn døgnet rundt. Selve analysearbejdet og kalibreringerne ved respirationsforsøgene var stærkt arbejdskrævende, og kapaciteten derfor begrænset. Med de stærkt stigende arbejds lønninger steg driftsudgifterne for respirationsforsøg ganske betydeligt, og på grund af disse såvel fysiologiske som teknisk-økonomiske overvejelser blev der i 1958 givet bevilling til at bygge et helt nyt respirationsanlæg for svin. I 1959 påbegyndtes opbygningen af det nye anlæg, og i begyndelsen af 1964 blev anlægget efter en lang række tekniske afprøvninger taget i brug, og har siden kørt kontinuerligt.

Foreløbige meddelelser om konstruktion og funktion af det nye respirationsanlæg, der er bygget efter det åbne system, er givet ved det andet og

trede »Symposium on Energy Metabolism« (Thorbek, (1961) og Thorbek & Neergaard, (1965)). Her skal gives en samlet fremstilling af anlæggets opbygning og funktion og af dets kalibrering og nøjagtighed med hensyn til bestemmelse af kulsyreproduktionen.

2. Respirationsanlæggets opbygning

2.1. Generel beskrivelse.

Anlægget består af to separate respirationskamre, der arbejder ganske uafhængigt af hinanden, men som det ses af foto nr. 1, der viser anlægget set bagfra, er de to kamre bygget tæt op ad hinanden. Kamrene er indvendigt forsynede med vinduer, så dyrene kan se hinanden, hvilket synes at have en beroligende indflydelse på dem, desuden kan det forventes, at dette arrangement vil animere forsøgsdyrenes ædelyst, når der arbejdes med fodermidler, som dyrene har mindre lyst til at æde.

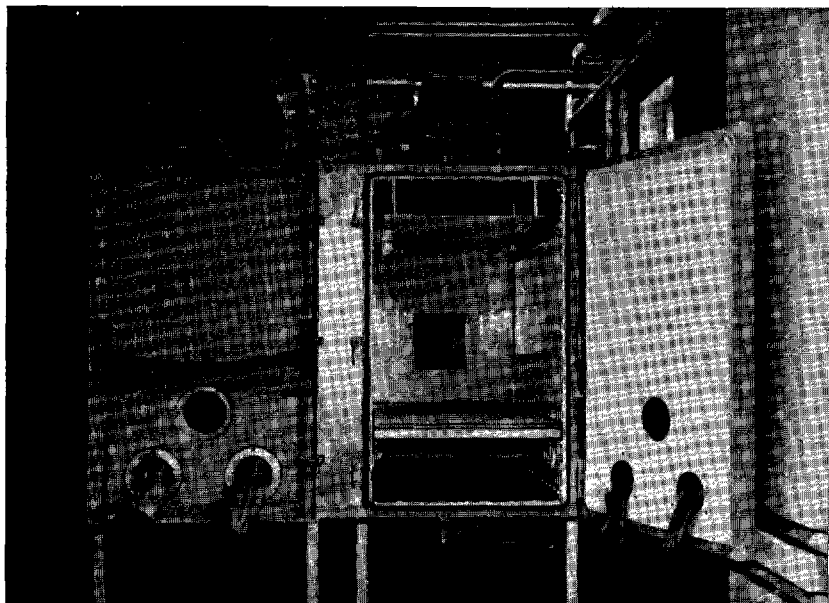


Foto nr. 1. Respirationskamrene set bagfra.
Photo 1. Respiration plants from behind.

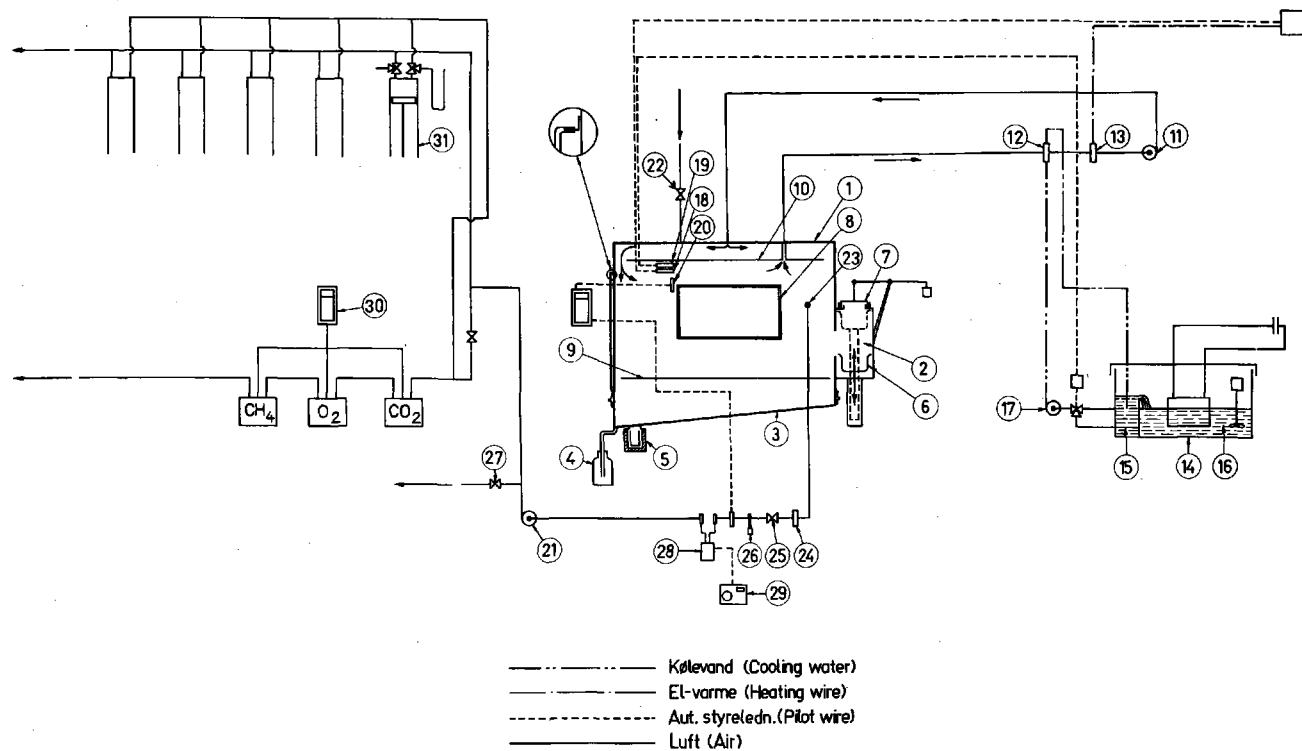


Fig. 1. Diagram over respirationsanlægget for svin.

Fig. 1. Diagram of the respiration plant for pigs.

1. Hovedkammer
2. Foderrum
3. Opsamlingsgulv
4. Urinflaske
5. Gødningsbeholder
6. Foderkrybbe
7. Låg til foderrum
8. Ydre vindue
9. Standrist
10. »Falsk loft«
11. Centrifugal-ventilator
12. Køleflade
13. Varmeflade
14. Køleanlæg
15. Returkammer for kølevand
16. Hovedkammer for kølevand
17. Centrifugalpumpe for kølevand
18. Termostat for tør temperatur
19. Termostat for våd temperatur
20. Litiumklorid- og temperaturfølere
21. Centrifugal-ventilator
22. Ventil for indgående luft
23. Ledning for udgående luft
24. Luftrense-filter
25. Ventil for udgående luft
26. Temperaturføler
27. Ventil for udgående luft
28. Apparatur til måling af luft-volumen
29. Tælleværk til registrering af luft-volumen
30. Apparatur til måling af luftens sammensætning
31. Recipienter for udgående luft-prøve

1. Main chamber
2. Feeding box
3. Collecting floor
4. Urine bottle
5. Faeces container
6. Feeding trough
7. Lid to feeding box
8. Outer window
9. Standing grate
10. »False« ceiling
11. Centrifugal ventilator
12. Cooling plates
13. Heating plates
14. Cooling plant
15. Return chamber for cooling water
16. Main chamber for cooling water
17. Centrifugal pump for cooling water
18. Thermostat for dry bulb temperature
19. Thermostat for wet bulb temperature
20. Thermometers for registration of climate
21. Centrifugal ventilator
22. Valve for ingoing air
23. Pipe for outgoing air
24. Gas filter
25. Valve for outgoing air
26. Temperature bulb
27. Valve for outgoing air
28. Apparatus for measuring air volume
29. Counter for registration of air volume
30. Apparatus for measuring air composition
31. Recipients for outgoing air sample

Som det vil fremgå af diagrammet (fig. 1), består hvert anlæg i princippet af et respirationskammer, der kan lukkes lufttæt. Hvert kammer er forsynet med en kombineret fodrings- og sikkerhedsanordning, udstyr for opsamling af gødning og urin samt et automatisk styret klima-anlæg. Ved hjælp af en gastæt ventilator suges der frisk luft ind i kammeret, hvor der foregår en intern luftcirkulation til blanding med respirationsluften og til opretholdelse af det ønskede klima. Den blandede luft suges ud af kammeret og passerer et målesystem, der tillader en nøjagtig bestemmelse af den udgående luftmængde.

Efter at have passeret ventilatoren deles luftstrømmen, således at hovedparten udstødes i det fri, medens en mindre prøve sendes gennem et måle-anlæg til bestemmelse af luftens sammensætning med hensyn til kulsyre, ilt og metan. Dette sker dels ved kontinuerlig registrering og dels ved en aliquot opsamling af den udgående luft i recipienter, hvorfra luften senere analyseres til bestemmelse af gennemsnitsværdierne for 24 timer.

2.2. Respirationskammerets opbygning.

Hovedkammeret (1), der har et indre mål på $172 \times 84 \times 145$ cm højt og foderrummet (2), der måler $49 \times 35 \times 80$ cm højt, er bygget af 4 mm jernplader boltet til $6 \times 6 \times 0.8$ cm vinkeljern nedstøbt i gulvet. For at sikre et lufttæt system er der overalt anvendt et specielt pakningsmateriale (Minnesota Mining and Manufacturing Co., 3 M-Sealer, Formula EC-800), der har vist sig at være særdeles velegnet til dette formål.

Til kammerets bagside er fastspændt en U-ramme med indlagt gummi-liste, hvori dørens kant glider ind og fastholdes lufttæt ved hjælp af 5 skruegreb, således som det fremgår af foto nr. 1. I døren er anbragt et cirkulært vindue, 17 cm i diameter samt et par gummihandsker, således at man er i stand til at se ind i kammeret og skrabbe gødningen ned i gødningsbeholderen.

Kammerets opsamlingsgulv (3) er støbt ud i eet af PVC-materiale og boltet til kammerets sider ved hjælp af en ramme. Gulvet har fra alle sider fald (max. 12 %) til en stuts til opsamling af urinen, der ledes ned i en urinflaske (4). I gulvet er desuden anbragt en gødningsbeholder (5), der kan rumme en gødningsspan på 4 liter. Gødningsbeholderen, der er lukket med et tæt låg, har dobbelte vægge, hvor igennem der ledes kølevæske, således at den gødningsmængde, der skrabes ned i spanden under forsøget, holdes afkølet.

Foderkrybben (6), der er fremstillet af rustfrit stål, måler $47 \times 30 \times 20$ cm. Dimensionerne for foderrummet og foderkrybben er således afpasset til hinanden, at krybben kan glide uhindret op og ned i foderrummet. Krybben, der bevæges hydraulisk ved et olietryk på 5 atm. kan fixeres

i alle stillinger. Når der skal fodres, hæves krybben helt op og presses fast mod en gummibeklædt ramme i foderrummets top, hvorved der sker en lufttæt aflukning til selve kammeret. Låget til foderrummet (7) kan nu hæves, og foderet hældes i krybben, hvorefter låget atter bringes på plads, og krybben sænkes til et niveau, der passer til dyrets ædestilling. Selve foderhullets dimensioner er 32×35 cm højt, men det er forsynet med flytbare stænger, således at åbningen kan afpasses efter forsøgsdyrets størrelse.

Et nærbillede af anlægget set forfra (foto nr. 2) viser foderrummenes placering og den fælles betjening fra det hydrauliske anlæg i midten. Som det fremgår af diagrammet (fig. 1), hviler foderrummets låg (7) i en rende,

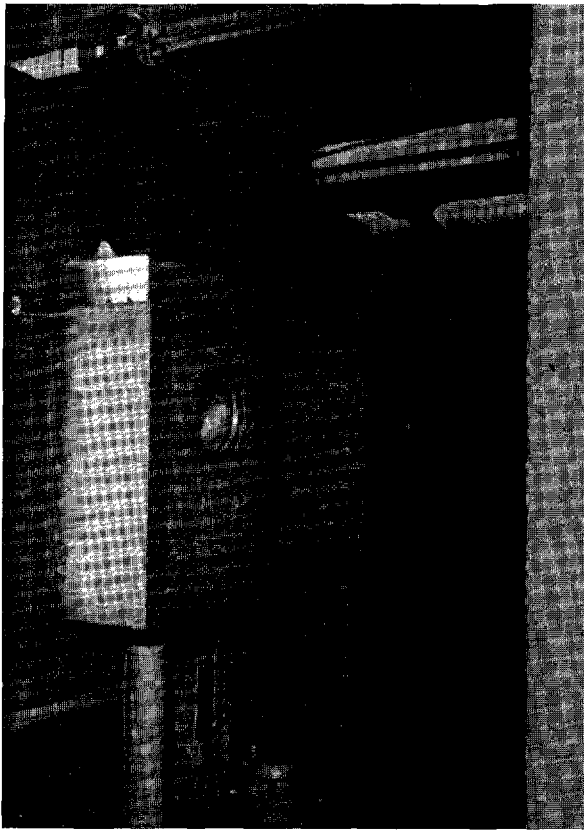


Foto nr. 2. Foderrum med fælles hydraulisk anlæg.
 Photo 2. Feeding boxes with a common hydraulic system.

der er fyldt med vand, hvorved aflukningen er lufttæt, så længe anlægget holdes under et svagt vacuum. Dette låg fungerer samtidig som sikkerheds-ventil efter samme princip som beskrevet af *Schiemann* (1958). Låget, der er ophængt i et snoretræk over kuglelejer, er afbalanceret ved en kontravægt, således at det dykker et godt stykke ned i den vandfyldte rende, når anlægget står under et vacuum på 3–4 cm petroleum, hvorved der opnås en lufttæt aflukning. Såfremt den elektriske strøm svigter, og ventilatorerne sætter ud, ophører undertrykket i anlægget, og låget hæves af kontravægten, hvorved dyret får frisk luft ind gennem foderrummet. Hovedkammer + foderrum har et rumfang på ca. 2.4 m³.

Hvert kammer er forsynet med to vinduer, et ydre (8) af dimensionen 99×54 cm højt og et indre på 33×58 cm højt, hvorfra dyrene kan se hinanden. Vinduerne består af to lag acryl, og luftmellemrummet er udfyldt med N₂ for at undgå kondensvand.

Som det fremgår af diagrammet og foto nr. 1, er kammeret forsynet med en standrist (9) af 15×15 mm trådvæv, der kan fixeres i forskellige højder afpasset efter dyrenes størrelse. Dyrene transporteres fra stalden til respirationsanlægget i en lille vogn, hvorfra de kan gå lige over på risten, således at man undgår at ophidse dyrene med risiko for at forstyrre deres respiratoriske stofskifte.

Til ind- og udgående luftføring er anvendt rustfri stålørør med en dimension af 60×5 mm. Den interne luftcirkulation til klimatisering af luften foregår igennem 250×250 mm kanaler, og luften returnerer over et »falsk« loft (10), der er ophængt 16 cm under kammerets øverste flade og med en afstand af 5 cm fra de tre ydre sider i kammeret.

Hele kammeret, foderrummet og luftkanalerne er stærkt isolerede med 3 cm Flamingo Foam, der er beklædt med hessian og derefter malet.

2.3. Klima-anlæg.

Ved planlægning af respirationsanlæggene blev der stillet krav om, at de i modsætning til de gamle anlæg skulle være udstyrede med klima-anlæg, dels for at man kunne køre med et fastlagt konstant klima under de enkelte forsøg, og dels for at man kunne udnytte anlæggene ved klimaforsøg til bestemmelse af dettes indflydelse på dyrenes energistofskifte.

Ved projektering af klima-anlægget var udgangspunktet, at respirationsanlægget var beregnet til svin fra 25–250 kg legemsvægt med en maximal varmeproduktion på 6–7000 kcal/24 timer, og at vi ønskede et regulerbart klima inden for et temperaturinterval på 5–28 °C og et fugtighedsinterval fra ca. 65–95 % rel. fugtighed.

For at opnå en ensartet temperatur og fugtighed i hele kammeret er det nødvendigt at anvende en stor luftmængde i den interne cirkulation. Herved

opnås samtidig et minimum af trækfornemmelse for dyret, idet den indblæste lufts temperatur afviger mindst muligt fra kammertilstanden.

Den interne luftcirkulation sker ved hjælp af en lufttæt centrifugal ventilator (11) med en kapacitet på ca. 800 m³/time (Nordisk Ventilator Co. Type CL-250). Kammerluften suges først over en køleflade (12) og derefter over en varmefflade (13), inden den atter presses tilbage i kammeret over det »falske loft«, som vist på diagrammet (fig. 1).

Kølefladen har et areal på 25,6 m², der er i stand til pr. m² at fjerne 12 kcal pr. time pr. C° temperaturdifferens mellem kølevæske og lufttemperatur. Varmefladeren, der er elektrisk opvarmet, er delt i tre afsnit hver med en maximal kapacitet på 900 watt.

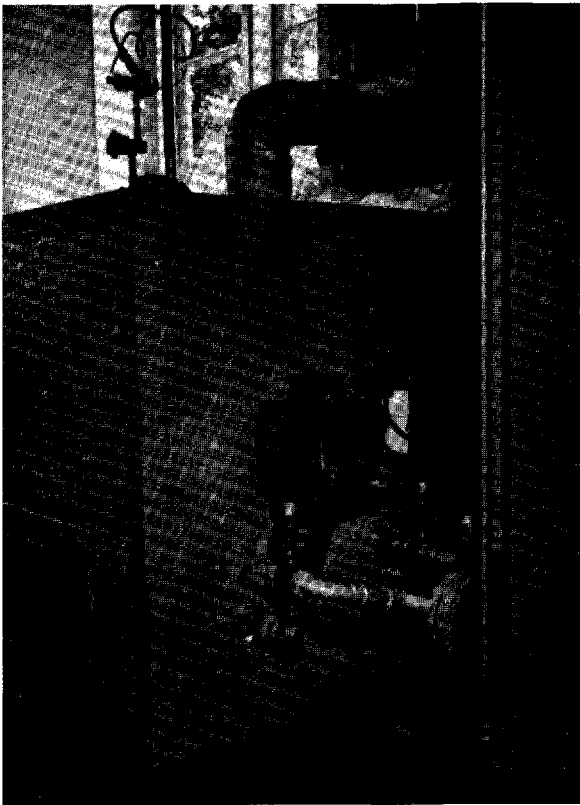


Foto nr. 3. Køletank og automatik med modutrol motorer og trevejsventil for blanding af kølevand.

Photo 3. Coolingtank and automatics with modutrol motors and three-way valve for mixing cooling water.

Kølevæsken leveres fra et køleanlæg (14), der rummer ca. 2000 l vand. Anlægget er delt i et mindre returkammer (15) og i et hovedkammer (16), hvor vandet konstant er nedkølet til 2–3 C° ved hjælp af en semihermetisk freon-kompressor (Atlas A/S. Type AVN 572). Ved hjælp af en centrifugal pumpe (17) cirkulerer kølevæsken gennem systemet med en konstant hastighed af ca. 420 l pr. time.

Klima-anlægget styres ved hjælp af to termostater af samme type (Honeywell Temp. controllers. T 915C). Den ene termostat (18) følger den tørre temperatur og den anden (19) den våde temperatur i kammeret. Ved hjælp af modutrol motorer (Honeywell Type M 904 E) styrer de to termostater henholdsvis en autotransformator for varmesystemet og en trevejsventil for kølesystemet, således som det er vist på diagrammet (fig. 1).

Den elektriske opvarmning er styret fra nul til maximum i trin på ca. 110 watt (se senere side 25). Kølevandet kan blandes fra hovedkammer og returkammer i ethvert forhold ved hjælp af den styrede trevejsventil, der er vist i foto nr. 3. Ved hjælp af dette princip opnås en meget nøjagtig og jævn styring af luftkølingen. Den ønskede temperatur og fugtighed opnås ved en simpel indstilling på de to termostater, idet den fugtige termostat indstilles på den temperatur, der svarer til den ønskede fugtighed aflæst på et IX-diagram.

Ved hjælp af litiumklorid-følere og temperaturfølere (20) (Hartmann & Braun. Type TLF 8) i forbindelse med en 6-farvepunktsskriver (H&B Type ARB 6/192) foregår der en kontinuerlig registrering af luftens temperatur og relative fugtighed i de to respirationskamre. Der er foretaget en række undersøgelser vedrørende klima-anlæggets sensitivitet og kapacitet; disse vil blive omtalt i et senere afsnit (side 25).

2.4. Ventilation.

Ved anlæggets projektering blev der regnet med, at den maximale kulsyreproduktion fra et forsøgsdyr ville være omkring 1500–1700 l CO₂ pr. døgn, således at ventilations-kapaciteten ikke måtte være under 250 m³ pr. døgn, såfremt den gennemsnitlige kulsyreprocent ved maximal produktion ikke skulle overskride 0.8 % i kammeret. Til dette formål valgtes en gastæt centrifugal ventilator fra Nordisk Ventilator Co. (Type CP-315/50).

Da det af hensyn til måling af luftvolumen (se senere) er nødvendigt, at der kan holdes et stabilt undertryk lige efter målebånden, er der anvendt en ventilator karakteriseret ved, at løbehjulet har en lille bredde i forhold til indsugningsdiameteren. Ventilatoren, der er udført med gastæt løbehjulsaksel, har bagover krummede skovle. Arbejdsområdet inden for ventilatorens arbejdsområde fremgår af diagrammet i fig. 2.

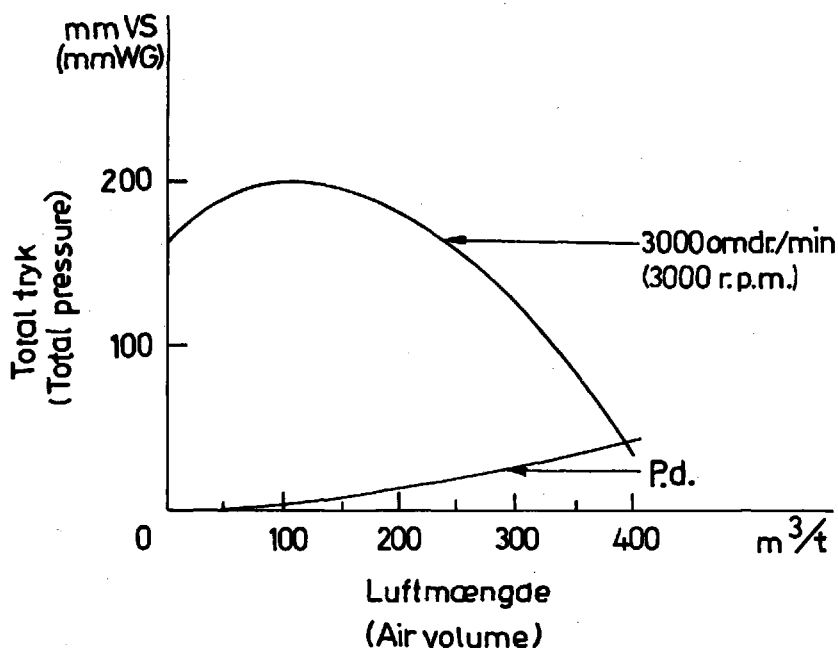


Fig. 2. Karakteristik for ventilator CP-315/50 (Nordisk Ventilator Co.).

Fig. 2. Characteristic curve of ventilator CP-315/50.

Ventilatoren (21) suger den friske luft udefra ind over en ventil (22) og efter intern cirkulation suges kammerluften ud ved (23), hvorefter den passerer et luftrensefilter (24) og endnu en ventil (25), inden den når frem til luftmålings-apparaturet (se senere). Da ventilatoren kører med konstant hastighed, reguleres den gennemstrømmende luftmængde ved hjælp af ventilerne 22 og 25, der samtidig indstilles på en sådan måde, at der opstår et svagt vacuum i hele respirationsanlægget på 3–4 cm petroleum.

Efter at have passeret ventilatoren (21) deles luftmængden ved hjælp af en ventil (27), således at hovedparten af luften stødes ud i det fri, medens en aliquot prøve på omkring 200 l pr. time ledes frem til luftanalyseapparatet (se senere) og derfra ud i det fri. Samtlige anvendte ventiler er stilbare kontra-ventiler.

2.5. Apparatur til måling af luftvolumen.

Ved afdelingens første respirationsanlæg for svin blev den udgående luftmængde bestemt ved hjælp af en 20 liters præcisions-gasmåler af våd type, således som det er beskrevet af Breirem (1935). Det var særdeles ar-

bejdskrævende at benytte disse målere, idet de skulle kalibreres før og efter hvert respirationsforsøg, for at man kunne opnå den fornødne sikkerhed på bestemmelse af luftmængden. Rent metodisk er der desuden et usikkerhedsmoment ved disse kalibreringer, idet det ikke er muligt at udføre dem ved den hastighed, som målerne arbejder med under selve forsøgene.

Ved projekteringen af det nye anlæg var der enighed om, at vi ville opgive det gamle målesystem, og det blev diskuteret, om vi skulle gå over til at benytte pumpesystemet med anvendelse af kviksølv som ved respirationsanlægget for kvæg, beskrevet af *Møllgaard & Andersen* (1917). Dette måtte imidlertid opgives alene af rent økonomiske grunde.

Efter forskellige overvejelser blev det besluttet at gå over til at benytte tryk-differens-princippet ved måling af den udgående luftmængde, idet den tekniske udvikling synes at ligge i denne retning. Princippet hviler på Bernoullis teori, der siger, at summen af statisk og dynamisk tryk er konstant i en luftstrøm, der bevæger sig i en ledning uden friktion. Indsættes der en normalblænde, det vil sige en tynd metalplade med et rundt koncentrisk hul i et rørsystem, hvor luften passerer frit, vil der ske en forøgelse af luftens hastighed og et fald i det statiske tryk efter blænden, således som det fremgår af diagrammet i fig. 3. Trykfaldet er proportionalt med kvadratet på den

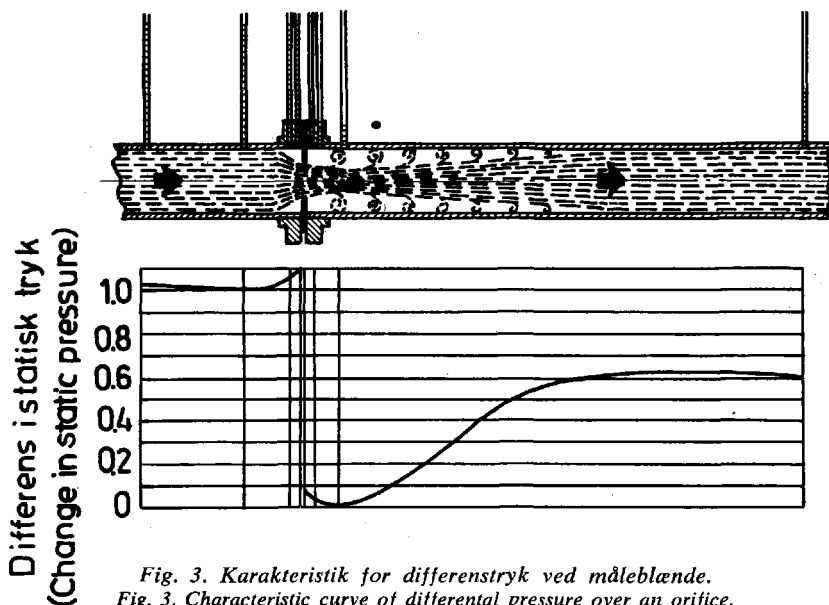


Fig. 3. Karakteristik for differenstryk ved måleblænde.
Fig. 3. Characteristic curve of differential pressure over an orifice.

forøgede hastighed, og det er denne relation, der danner basis for den tekniske udformning af måleinstrumenter efter tryk-differens-princippet.

Apparater efter dette princip er anvendt ved respirationsanlæg efter det åbne system, beskrevet af *Struss* (1958) og *Hörncke* (1958)), der begge har benyttet en registrerende »Ringwage« med væskefyldning. Ved anlægget her i København valgte vi at benytte et apparatur, hvor måleklokken hviler i kviksølv (Honeywell, Bell meter body, type 293BC-E3), og hvor udslaget omsættes til et elektrisk signal, der overføres til en elektronisk integrator.

Foto nr. 4 viser de to måleklokker med tilhørende blænde anbragt i ledningerne for den udgående luft fra de to kamre. Desuden ses de elektriske ledninger, der fører fra målelegeme til integrator. Målelegemernes placering i respirationsanlægget er vist som nr. 28 i diagrammet, fig. 1.

Målelegemet er beregnet for et maksimalt differentialtryk på 100 mm vandsøjle (VS) og for en maximal lufthastighed af 12.5 m³ pr. time, således at det dækker det ønskede måleområde.

På måleklokkens overside er fastgjort en rund, tynd jernkærne, der kan bevæge sig frit op og ned i en induktionsspole. Ved ændringer i lufthastigheden og dermed i differentialtrykket sker der en tilsvarende ændring i den

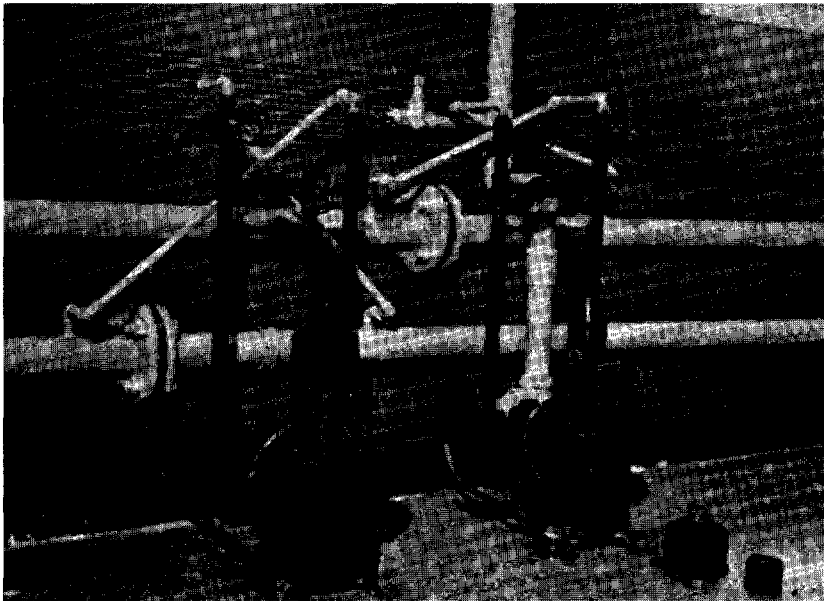


Foto nr. 4. Apparat til måling af luftvolumen (Honeywell).
Photo 4. Apparatus for measurements of air volume.

elektriske spænding og derved i signalet til den elektroniske integrator med tilhørende tælleværk (29).

Medens der er anvendt samme type måleklokke til begge kamre, har vi af forsøgsmæssige grunde ønsket at sammenligne to typer registreringsanlæg. Det første anlæg, der er anvendt til kammer B, arbejder over et mekanisk princip (Honeywell, type 202 EIF), medens det andet, til kammer A, arbejder elektrisk over en Wheatstone-bro (Honeywell, type 152X23-BB-X-19). Begge typer har vist sig at fungere tilfredsstillende, således som det vil blive diskuteret i et senere afsnit (side 27).

For at kunne reducere det målte luftrumfang til normal-omstændigheder er det, udover barometerstanden og luftfugtigheden, nødvendigt at kende luftens temperatur, tryk og vægtfylde ved målelegemets arbejds punkt. Temperaturen måles kontinuerligt ved hjælp af en temperaturføler (26) og registreres på den tidligere omtalte 6-punktskriver, der registrerer klimaet i kamrene. Trykket, der udover barometerstanden, er betinget af det svage vacuum, hvorunder respirationsanlægget arbejder, er praktisk taget konstant i forhold til barometerstanden, og det aflæses ved forsøgets start og slut på et Hg-manometer. Den udgående lufts vægtfylde, der vil være betinget af dens sammensætning, afviger ved respirationsforsøgene maksimalt 0,2 % fra vægtfylden af den atmosfæriske luft, hvorfor denne korrektion har været udeladt.

2.6. Apparatur til måling af luftens sammensætning.

Ved afdelingens første respirationsanlæg for svin blev såvel den indgående som den udgående lufts sammensætning analyseret efter den kemiske absorptionsmetode på et Carpenter-apparat modificeret af Bohr og Tobiesen. Ved hjælp af mindre Bohr-målere og særlige kviksløv-recipienter blev der kontinuerligt udtaget en lille aliquot del af den udgående luftmængde, der passerede systemet i løbet af forsøgsperiodens 24 timer, således som det er beskrevet af *Breirem* (1935). Disse recipientprøver på ca. 1 liter analyseredes derefter for ilt, kulsyre og eventuel metan på det nævnte luftanalyseapparat. Denne metode gav særdeles pålidelige resultater med hensyn til luftens gennemsnitsindhold over 24 timer. Ved mange undersøgelser vil det imidlertid være af stor betydning at have kendskab til døgn-svingninger i det respiratoriske stofskifte og dermed til ændringer i varmeproduktionen. Det blev derfor besluttet, at de nye respirationsanlæg foruden recipienter til opsamling af gennemsnitsprøver skulle udstyres med apparatur til kontinuerlig registrering af den udgående lufts sammensætning med hensyn til ilt, kulsyre og metan.

Efter en vurdering af eksisterende måleudstyr valgte vi at benytte Hartmann & Braun's instrumenter. Til iltbestemmelsen valgtes en MAGNOS 2,

der arbejder efter det paramagnetiske princip. Apparatet er udlagt til et måleområde på 19.0–21.0 % O_2 med undertrykt nulpunkt. Kulsyren bestemmes ved hjælp af en URAS 1, der arbejder på grundlag af den infrarøde absorptionsmetode. Apparatet har et måleområde på 0–1.5 % CO_2 , og det er udstyret med intern N_2 -cirkulation (10 l/time). Senere blev der anskaffet endnu en URAS 1 til bestemmelse af metan inden for måleområdet 0–0.2 % CH_4 .

Som tidligere omtalt deles den udgående luftmængde ved hjælp af en ventil (27), således at en aliquot prøve på ca. 200 l pr. time ledes frem til luftanalyseapparatet. Ved hjælp af en lille strømningsmåler kontrolleres det, at den ønskede luftmængde passerer gennem ledningerne. Som det vil fremgå af diagrammet (fig. 1) deles luftstrømmen endnu en gang, idet en del ledes gennem luftanalyseapparatet (30) til kontinuerlig måling og registrering, medens resten ledes frem til recipienterne (31).

Kontinuerlig måling og registrering.

Da vi kun er i besiddelse af eet sæt måleinstrumenter, der skal anvendes til begge respirationsanlæg, må der ske en alternerende luftudtagning af 6 minutters varighed fra de to anlægs udgående luftledninger. Dette sker ved hjælp af små membranpumper (Hartmann & Braun, Wisa G5), der styres fra skriveren. Analyseluften, der til de anskaffede instrumenter skal have en hastighed på 30 l i timen, ledes over et sæt absorptionsflasker med $CaCl_2$ og $Mg(ClO_4)_2$ til fjernelse af al fugtigheden, inden luften passerer gennem URAS- og MAGNOS-anlæggene til analysering og registrering. Det elektriske målesignal fra URAS og MAGNOS føres gennem en spændingsdeler, hvorfra signalspændingen bliver taget henholdsvis til skriveren eller til galvanometret (se senere, side 23). Til registrering af de målte værdier er anvendt en 6 farve punktskriver (Hartmann & Braun) med en punktfølge på 120 sekunder og en papirhastighed på 10 mm i timen.

Ved at vælge denne forsøgsopstilling, hvor luftudtagningen alternerer fra det ene til det andet kammer med 6 minutters interval, opnår vi, at der er tilstrækkelig tid til, at instrumenterne bliver »skyllet rene« for den foregående luft, og at registreringen bliver nøjagtig.

Recipient-måling.

Det er af afgørende betydning for respirationsforsøgenes anvendelighed, at anlægget er forsynet med funktionsdygtige recipienter, der er i stand til at udtage og opbevare en repræsentativ prøve af den forbipasserende, udgående luftmængde. De anvendte recipienter er bygget på eget værksted med forbedring af de principper, der er beskrevet af *Schneider* (1958) og *Schiemann* (1958).

For at kunne gennemføre uafhængige dobbeltbestemmelser af den udgående lufts sammensætning er hvert respirationsanlæg forsynet med 2 recipienter til prøveudtagning af udgående luft, således som det er vist på diagrammet (fig. 1). Recipienterne, der er 90×660 mm høje, er bygget af Plexiglas® 233 (Röhm og Hass, Darmstadt), der er tæt for de luftarter, der kan forekomme ved respirationsforsøg. De udgående luftledninger er ved hjælp af tynde stålrør og lufttæt indførte glasrør med haner sat i forbindelse med recipienterne. Hver recipient er udstyret med et lufttæt kviksølvstempel, der ved hjælp af en lille gearmotor sænkes fra top til bund i løbet af 24 timer, hvorved der indsuges en gennemsnitsprøve på ca. 4 liter fra den udgående luft, der som tidligere omtalt strømmer forbi med en hastighed på 170–200 l i timen. Såfremt man ønsker at udtage en prøve over et kortere tidsrum, hvilket bl. a. finder sted ved kalibrering af det samlede respirationsanlæg, forøges hastigheden på gearmotoren, således at den udtagne prøve stadig er på 3–4 liter, hvilket er nødvendigt af hensyn til luftanalysens gennemførelse (se senere).

Selv ved omhyggelig udvælgelse af recipientrørene var det ikke muligt at få rør med nøjagtig samme diameter overalt. Dette medførte visse tekniske vanskeligheder med hensyn til at få kviksølv-stemplet absolut lufttæt, men til slut lykkedes det for værkstedet at overvinde vanskelighederne og at

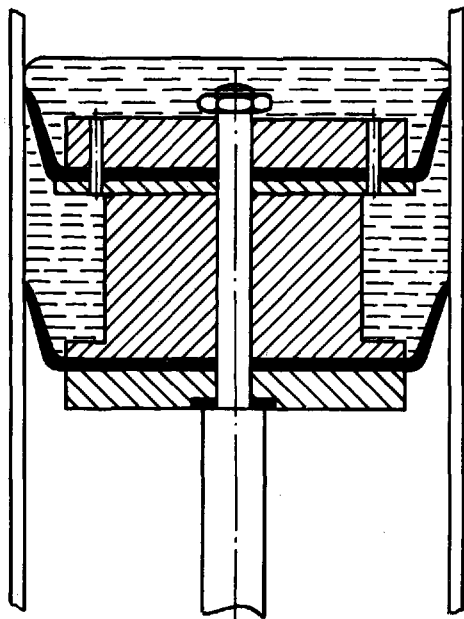


Fig. 4. Detailtegning af recipient-stempel.
Fig. 4. Details of recipient-piston.

fremstille absolut tætte ventiler med anvendelse af den mindst mulige mængde kviksølv. Af detailtegningen, fig. 4, fremgår det, at stemplet består af en akrylplade, der bærer en gummibremsemanchet af den type, der anvendes i lastbilers bremsesystemer. I manchetten er anbragt en akrylblok, der atter bærer en bremsemanchet og akrylplade, der begge er gennemborede. Stemplet er fyldt med kviksølv, men på grund af de anvendte akryl-elementer skal der kun anvendes en forholdsvis ringe mængde kviksølv. Stemplet får her ved en passende vægt samtidig med, at der er tilstrækkelig kraft til presse gummimanchetterne fuldstændig tæt ud mod recipientcylinderen.

Under stemplets bevægelse vil gummimanchetterne nøje følge enhver variation i cylinderens diameter, således at intet kviksølv kan slippe forbi. På grund af forbindelsen mellem det øverste og nederste kviksølvrum kan kviksølvet passere frit frem og tilbage, idet det følger bremsemanchetternes bevægelse samtidig med, at den øverste kviksølvflade lukker absolut lufttæt.

Ved forsøgets afslutning sættes analyse-luften i recipienterne under et svagt overtryk, indtil URAS- og MAGNOS-instrumenterne er justerede og klar til måling. Recipientluften sættes derefter i forbindelse med måleinstrumenterne ved hjælp af en tregangshane som vist på diagrammet (fig. 1). Ved at dreje stemplet mod top presses luften ud af recipienterne og gennem måleinstrumenterne.

Stemplet blev oprindelig bevæget ved håndkraft, men dette er senere ændret, således at det nu bevæges ved hjælp af endnu en gearmotor, hvorved der spares arbejdskraft. Det URAS-MAGNOS-anlæg, vi har til rådighed, er beregnet for en lufthastighed på 0.5 l pr. minut, hvorfor det af hensyn til målesikkerheden er nødvendigt, at der er 3-4 l recipientluft til rådighed samtidig med, at afstanden fra recipienter til måleinstrumenter er så kort som muligt.

Som tidligere omtalt er det ved hjælp af en spændingsdeler muligt at føre signalspændingen fra instrumenterne uden om skriveren til et specielt galvanometer. Når vi har valgt denne opstilling, skyldes det, at galvanometret kan aflæses med langt større nøjagtighed, end der kan opnås ved aflæsning på skriveren. Det anvendte galvanometer er et specielt skalagalvanometer fra Zeiss, Jena (Type 326366 Uldan). Det er overordentlig følsomt med et lysbånd på 2.7 meter og med en skala-inddeling på 1000 enheder, der tillader en sikker aflæsning på 0.5 enheder svarende til henholdsvis 0.0025 % CO₂ og 0.001 % O₂.

2.7. Omkostninger ved opbygning af respirationsanlægget.

Med de priser, der var gældende i bygningsperioden 1959-62, blev de samlede anskaffelsesudgifter til instrumenter, forskellige komponenter samt materialer i alt 120.000 kr. Udgifterne fordeler sig som vist:

Klima-anlæg	29.000 kr.
Ventilatorer	6.000 »
Apparatur til måling af luftvolumen	18.000 »
» » » » luftens sammensætning	48.000 »
Materialer	19.000 »
I alt	120.000 kr.

I dette beløb er ikke medregnet arbejds løn, idet opbygning og montering er udført på laboratoriets eget værksted. Ved en sådan forsøgsmæssig opbygning af et nyt respirationsanlæg, hvor vi har forsøgt at sammenknytte erfaringer opnået ved driften af det gamle anlæg med det nyeste inden for den tekniske udvikling, har det været af stor betydning, at vi har haft rådighed over et værksted, hvor vi trinvis har kunnet arbejde os frem til de bedst mulige løsninger uden at skulle tage for store hensyn til arbejds lønnen.

Med en kapacitet på 200 respirationsforsøg om året og med en afskrivning over 10 år vil de direkte investeringsudgifter beløbe sig til ca. 60 kr. pr. respirationsforsøg, hvilket må anses for et særdeles rimeligt beløb.

3. Respirationsanlæggets funktion

3.1. Anlæggets tæthed.

Respirationsanlæg efter det åbne system kræver ikke den absolutte tæthed, som er nødvendig ved det lukkede system. På den anden side skal anlægget dog være så tæt, at der er sikkerhed for, at hovedparten af den indgående luft kommer fra det fri, og at der er sikkerhed for, at anlægget under driften står under et konstant, svagt vacuum. Dette vacuum betinger funktionen af den relative simple sikkerhedsanordning (se side 14), der medfører, at anlægget kan køre dag og nat uden speciel overvågning, således som det var nødvendigt ved det gamle anlæg.

Det tilstedeværende vacuum medfører tillige, at såfremt der i tidens løb skulle opstå mindre utætheder i systemet, vil kammerluften ikke være i stand til at slippe ud gennem disse. En ringe del af den indgående luft vil da blive suget ind gennem disse eventuelle utætheder og således stamme fra luften i hallen. Den procentuelle forskel imellem den atmosfæriske luft og hal-luften er imidlertid så ringe, at mindre utætheder vil være uden betydning.

Inden anlægget isoleredes med Flamingo Foam, blev det ved hjælp af røgpulver afprøvet for tæthed. Det viste sig, at der var ganske få utæt-

heder, men efter at disse var blevet tætneede, var de aflukkede kamre i stand til at holde et konstant vacuum over 24 timer. Den relative lethed hvormed det lykkedes os at gøre anlægget lufttæt kan antagelig i nogen grad henføres til det fortrinlige pakningsmateriale, der har været anvendt (se side 12).

3.2. Klima-anlæggets funktion og kapacitet.

Efter at selve respirationskamrene og klima-anlægget var færdigbygget, foretog vi en lang række tekniske undersøgelser af klima-anlægget ved hjælp af »kunstige grise«, hvorved vi kunne opnå tilstande i kammeret, der nogenlunde skulle svare til de forhold, anlægget ville komme til at arbejde under ved de virkelige forsøg med svin.

Udgangspunktet var, at svin fra 20 til 120 kg under almindelige fodringsbetingelser producerer en total varmemængde fra 75 til 250 kcal pr. time, hvoraf den bundne varme i vandfordampningen kan ansættes til 25 % svarende til 18–62 kcal pr. time. Ved at anvende en infrarød lampe på 250 watt og en vandfordampning på ca. 100 ml pr. time modsvarende henholdsvis 215 og 54 kcal pr. time fremstillede vi en »stor kunstig gris«, og ved at anvende en 60 watt glødelampe og en vandfordampning på 30 ml vand pr. time fik vi en varme- og fugtighedskilde på $53 + 17$ kcal svarende til en »lille kunstig gris«.

Ved at afprøve anlægget med disse »kunstige grise« fik vi en lang række oplysninger vedrørende anlæggets indstilling og funktion. Det viste sig således at være nødvendigt at ombygge den automatiske varmeregulering, der oprindeligt var beregnet til at være styret i 7 trin fra 0–2700 watt, svarende til 386 watt pr. trin. Dette medførte imidlertid for stor pendling i kammerluftens temperatur. Anlægget blev derefter ombygget, således at de 1800 watt nu betjenes manuelt, og kun de 900 watt styres over automatikkens 7 trin, og dette har vist sig at fungere særdeles tilfredsstillende.

Den anvendte Honeywell-automatik (se side 16) er udstyret med en følsomheds-skala, således at man kan opnå en passende følsomhed uden at få for stor pendling. Vi har valgt en indstilling, der ved en temperaturvariation på 1.5°C i kammeret fremkalder en maximal ændring i køle- og varmesystemet. Ved den tekniske afprøvning svingede kammertemperaturen i enhver indstilling kun $0.2\text{--}0.4^{\circ}\text{C}$ uden større pendling, hvilket må anses for at være tilfredsstillende.

Efter at disse ændringer var foretaget og anlægget isoleret, undersøgte vi ved hjælp af de »kunstige grise« anlæggets kapacitet. Forsøgene blev gennemført på den måde, at vi ved hjælp af automatikken lod kølingen gennemløbe et sæt værdier fra nul til maximum samtidig med, at varmen var indstillet på maximum, derefter aftrappedes varmen til nul med kølingen holdt

på maximum. Ved de forskellige indstillinger aflæstes kammerluftens temperatur og relative fugtighed, når tilstanden var blevet stationær. Resultaterne for kammer B's vedkommende såvel med stor som med lille »kunstig gris« er vist i tabel 1.

Tabel 1. Klima-anlæggets kapacitet, Kammer B.
250 watt + 100 ml vandfordampning pr. time i kammer.

Table 1. Capacity of air-condition system. Chamber B.
250 watt + 100 ml water evaporating per hour.

Forsøg nr.	Indstilling på		Kammerluftens		
	Varme	Køling	Temp.	Relative fugtighed	
	Setting on		Temp. °C	Chamber air	
	Heating	Cooling		Relative humidity %	
Exp.					
I	max.	0	30.5	23.4	56
II	max.	↓	23.6	17.3	54
III	max.	↓	19.9	13.9	53
IV	max.	max.	14.0	9.0	51
V	↓	max.	11.5	7.4	56
VI	↓	max.	7.2	4.7	65
VII	0	max.	3.0	1.4	74

60 watt + 30 ml vandfordampning pr. time i kammer.

60 watt + 30 ml water evaporating per hour.

VIII	max.	0	27.2	21.8	63
IX	max.	max.	14.0	9.0	51
X	0	max.	2.6	0.9	73

De målte værdier er indtegnet på diagrammet i fig 5, der i det skraverede område viser anlæggets kapacitet med hensyn til samtidig opnåelige værdier for kammerluftens temperatur og relative fugtighed. Det ses eksempelvis, at en relativ fugtighed på 65 % kan opnås i temperaturintervallet fra 7 til 27° uanset »dyrets« varmeproduktion. Ønskes en lavere fugtighed, indskrænkes temperatur-intervallet, medens det udvides ved ønsket om stigende luftfugtighed. Ved afprøvning af kammer A opnåedes tilsvarende værdier.

Respirationsanlægget, der således opfylder de krav, vi ved projekteringen stillede med hensyn til klima-anlæggets kapacitet, vil være særdeles velegnet til at gennemføre undersøgelser over svins energiomsætning under forskellige klimatiske forhold. Da staldene imidlertid ikke er klimatiserede i et tilsvarende område, vil det være nødvendigt at lade dyrene opholde sig i længere tid i selve respirationsanlægget, men dette vil også være muligt.

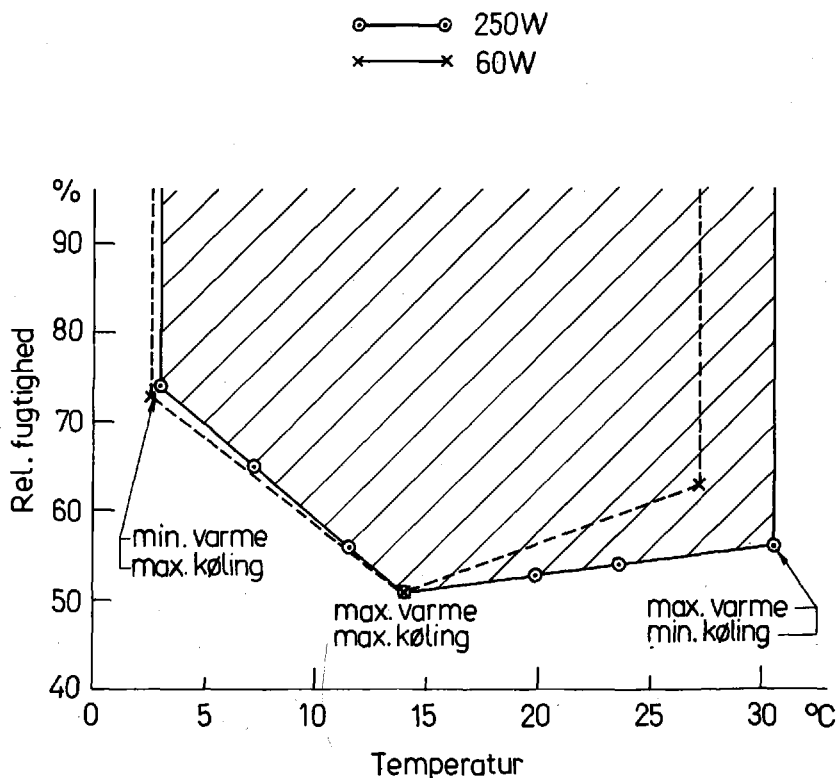


Fig. 5. Klima-anlæggets kapacitet. Kammer B.
Fig. 5. Capacity of air-conditioning system. Chamber B.

3.3. Luftmængde-målerens funktion.

Som tidligere angivet (side 19) valgte vi at benytte Honeywell-instrumenter, der arbejder efter tryk-differens princippet til måling af luftvolumen. Da der på det tidspunkt, hvor anlægget blev bygget, ikke eksisterede respirationsanlæg med sådanne måleinstrumenter, anskaffede vi først et apparatur, hvor registreringsanlægget arbejder efter et mekanisk princip (Honeywell, type 202 EIF). Ved hjælp af en 5 m³ våd-gasmåler, kalibreret over for en 3 l Bohr-måler, hvis faktor var bestemt ved vandudvejning, afprøvede vi dette anlæg, idet vi lod den udgående luftmængde passere såvel Honeywell-instrumentet som den kalibrerede gasmåler.

Afprøvningen foregik ved varierende lufthastigheder fra 2 til 5 m³ i timen, og vi fandt, at Honeywell-anlægget med konstant indstilling af ventilerne i respirationsanlægget registrerede meget konstante værdier. Sammen-

lignet med den våde gasmåler var der særdeles god overensstemmelse inden for den første time, men derefter begyndte gasmålerens værdier at »skride« mærkbart, idet det viste sig, at der ved luftpassagen skete en vandfordampning i den våde gasmåler, således at dens kalibreringsfaktor ikke kunne fastholdes. Denne iagttagelse medførte for øvrigt senere, at vi gik over til at anvende olie (Vactra oil, light) i stedet for vand i gasmåleren.

Da afprøvningen var faldet tilfredsstillende ud med hensyn til opnåelse af konstante værdier på Honeywell-apparatet, anskaffedes det næste registreringsanlæg, og her valgte vi et anlæg, der arbejder over et elektrisk princip ved hjælp af en Wheatstone-bro (Type 152 × 23-BB-X-19).

Som tidligere omtalt integreres den registrerende luftmængde på et tælleværk med tilhørende omregningsfaktor. Da anlæggene er beregnet ud fra fastlagt temperatur, tryk, fugtighed og vægtfylde af luften, skal der desuden anvendes korrektionsfaktorer for den gennemsnitlige temperatur, tryk og relative fugtighed under forsøgets gang. Som tidligere omtalt er vægtfyldændringerne så små, at der ikke er taget hensyn hertil.

Da vi ved respirationsanlæggets opbygning kun rådede over den nævnte gasmåler på 5 m³ pr. time, og da anlægget var beregnet til at gå op til 12 m³ pr. time, blev der ikke foretaget flere afprøvninger ved den lave hastighed, idet vi måtte regne med, at de kommende CO₂-kalibreringer af hele anlægget ville give os et udtryk for den nøjagtighed, hvormed Honeywell-instrumenterne arbejder.

3.4. Luftanalyse-apparatets funktion.

Som tidligere omtalt benyttes URAS- og MAGNOS instrumenterne ved den kontinuerlige analyse og deraf følgende registrering af den udgående lufts sammensætning. Med en alternerende luftudtagning af 6 minutters varighed opnår vi fra hvert kammer at få 5 registreringer pr. time for henholdsvis CO₂, O₂ og eventuelt CH₄, hvilket er fuldt tilstrækkeligt til at vurdere forløbet af det respiratoriske stofskifte.

Disse registreringer, der som omtalt kan benyttes til undersøgelser vedrørende døgnvariationer, udnyttes i det daglige arbejde til at kontrollere, at dyrene har været indsat i kammeret 2 timer før forsøgets start, at de har været fodret til rette tid, og at de ikke har været udsat for nogen forstyrrelser.

Registreringerne har derimod ikke været benyttede til at beregne den udgående lufts gennemsnitlige sammensætning. Dette skyldes fortrinsvis, at ilbestemmelserne er afhængige af barometerstanden, og da denne ikke er konstant over 24 timer, opstår der forskydninger i iltkurven, der kan medføre en vis fejl ved opsummering af de registrerede værdier.

Den udgående lufts gennemsnitlige sammensætning bestemmes ved at analysere den over 24 timer opsamlede recipientluft. Analyserne foretages ved hjælp af URAS- og MAGNOS instrumenterne med anvendelse af det tidligere beskrevne skala-galvanometer, idet måleinstrumenternes signal-spænding føres uden om skriveren til galvanometret. Inden analysens udførelse er instrumenterne justerede.

I de to første forsøgsår fra 1964-66 blev instrumenterne justerede i henhold til instruktionerne fra Hartmann & Braun i overensstemmelse med de medfølgende kalibreringskurver og med anvendelse af de fra Hartmann & Braun leverede specielle prøvegaskasser. Med hovedvægten lagt på kulsyrebestemmelserne opnåede vi i det nævnte tidsrum særdeles tilfredsstillende resultater ved vore CO₂-kontrollforsøg, således som det vil blive omtalt i det følgende afsnit.

Ved disse justeringer fik vi imidlertid en del erfaringer, der blandt andet viste, at URAS-kurven, efterhånden som apparatet blev ældre, viste en svag krumningstendens. Samtidig kunne det påvises, at MAGNOS-kurven selv om den var lineær, ikke gik nøjagtig gennem nul-punktet, men havde en vis variabilitet og deraf varierende hældning, som der burde tages hensyn til ved beregning af analyserne for derved at opnå en større nøjagtighed på iltbestemmelserne.

Disse forhold har været diskuteret med ingeniører fra vort danske leverandørfirma, Kemp & Lauritzen, og fra Hartmann & Braun, hvilket har resulteret i visse ændringer vedrørende den rutinemæssige justering af URAS- og MAGNOS-apparatet, således som det er beskrevet af Nielsen (1969) og Petersen (1969).

Respirationsanlæggets kalibrering

4.1. Princip for kalibrering.

Da anlægget i begyndelsen af 1964 var færdigbygget, blev der i henhold til de principper, der er angivet af Møllgaard & Andersen (1917), foretaget en række kontrollforsøg med anvendelse af kulsyre til vurdering af målesikkerheden på anlægget. I princippet hviler kalibreringerne på, at

1 CO₂ indført i kammer = 1 CO₂ udgået af kammer

eller

1 CO₂-blanding × CO₂ % i blanding = 1 luft udgået × CO₂ % i udg. luft.

Ved kontrolforsøgene er disse fire led bestemt uafhængigt af hinanden efter følgende metoder:

1. Liter CO_2 -blanding indført i kammer måles over våd gasmåler.
2. CO_2 % i CO_2 -blanding bestemmes ved kemisk absorptions-analyse.
3. Liter luft udgået af kammer måles efter tryk-differens princip.
4. CO_2 % i udgående luft bestemmes efter fysisk princip ved infrarød absorption.

Kalibreringerne er foretaget inden for det måleområde, som forsøgene med svin vil komme til at omfatte. På grundlag af tidligere forsøg (*Ludvigsen & Thorbek*, 1955) er der regnet med en kulsyreproduktion fra 16 til 45 l CO_2 pr. time hos svin fra 20 til 90 kg. Af hensyn til en mulig indflydelse på dyrenes respiratoriske stofskifte er det ønskeligt, at kulsyrekoncentrationen i kammeret ikke overstiger 1 %, på den anden side ønskes ikke under 0.5 % CO_2 af hensyn til målesikkerheden på URAS-anlægget. Ved en ventilation fra 3 til 6 m^3 pr. time afhængig af kulsyretilledningen vil det være muligt at opfylde begge disse krav. Kalibreringerne er derfor foretaget inden for det nævnte ventilationsområde med tilledning af kulsyremængder svarende til den produktion, der kan forventes af svin fra 20 til 90 kg.

4.2. Teknisk udførelse af kalibrering.

Til kalibreringerne er anvendt specielt fremstillede blandinger (Dansk Ilt- og Brintfabrik) bestående af 20 % CO_2 i 80 % N_2 . Blandingerne leveres i 40 l stålflasker med et tryk på 150 atm. Til opnåelse af en konstant blanding har det vist sig at være hensigtsmæssigt at lade disse blandinger henstå ca. 3 uger i laboratoriet, inden de anvendes til kalibreringerne. Efter denne lagringstid bestemmes kulsyrekoncentrationen i flasken ved hjælp af et modificeret Carpenter-apparat.

Det anvendte apparat, der er vist i foto nr. 5, er fremstillet af F. C. Jacob, København, med de modifikationer, der foreligger vedrørende absorptionsbeholdernes udformning (*Schiemann*, 1957) og et optisk instrument til libelleindstilling (*Struss & Quasdorff*, 1958). Apparatet er desuden udstyret med en lukkemekanisme, der tillader en tæt afspærring af kviksølvet i måleburetten uden anvendelse af de sædvanlige glashaner, der skal smøres, hvorved hanefedt kommer i forbindelse med kviksølvet og forurener dette.

Inden apparatet blev taget i brug, er burettens 2 måleområder kalibreret ved konstant temperatur på grundlag af gentagne udvejninger af kviksølv for hver 0.1 ml aflæsning. Disse udvejninger viste en så ringe variation i måleburettens rumfang, at det anses for tilladeligt at foretage en lineær korrektion inden for de 2 måleområder. En summation af udvejningerne er vist i tabel 2.

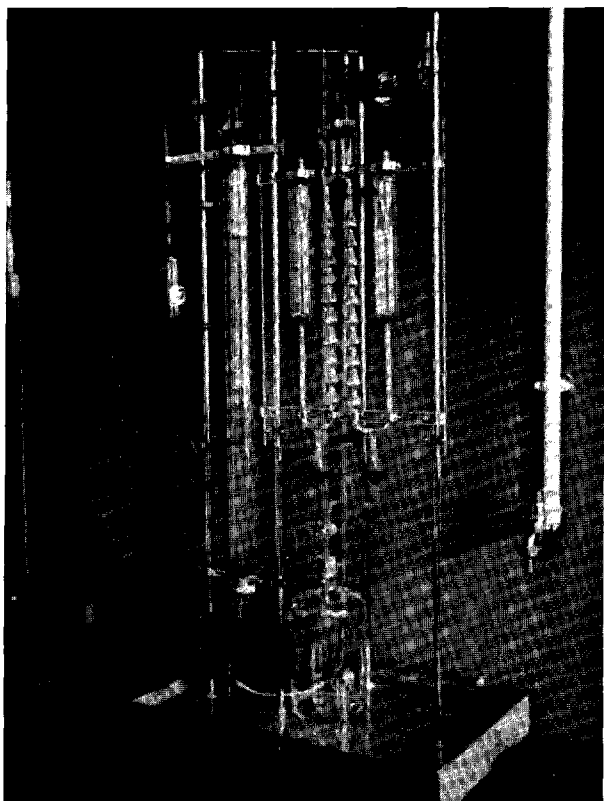


Foto nr. 5. Modificeret Carpenter-luftanalyseapparat.
Photo 5. Modified Carpenter-gas analyser.

Tabel 2. Kalibrering af luftanalyseapparat nr. 1630 ved hjælp af kviksølvudvejninger.

Table 2. Calibration of gas-analyser no. 1630.
Weighing of mercury.

	Måleområde 1		Måleområde 2	
	Range of measurement		Range of measurement	
	ml	ml	ml	ml
Ved aflæsning (By reading)	38.900	41.000	48.500	51.000
Ved udvejning ($n = 5$) (By weighing)	38.847	40.933	48.422	50.919
Middelfejl på udvejning (Standard error of mean)	0.0022	0.0016	0.0028	0.0030

På grundlag af de udvejede værdier er kalibreringskurven fastlagt for de to måleområder. Det således justerede luftanalyseapparat har derefter med 10 % KOH som absorptionsmiddel være benyttet til at bestemme CO₂-koncentrationen i de leverede CO₂-blandinger. Der har i almindelighed været udført 4–6 kulsyreanalyser pr. flaske, og middeltallet har været behæftet med en middelfejl på 2–4 ‰.

Ved hjælp af en registrerende våd gasmåler (P. W. Hallengreen & Søn, København) med en kapacitet på 5 m³ pr. time måles rumfanget af den CO₂-blanding, der ledes ind i respirationsanlægget. For at undgå volumenændringer ved en eventuel vandfordampning arbejder måleren i olie (Vactra-oil, light) i stedet for i vand.

Inden kontrolforsøget kalibreres 5 m³-måleren ved hjælp af en 3 l Bohr-måler med kendt faktor. Denne faktor bestemmes ved 3 på hinanden følgende vejninger af den vandmængde, der drives ud af en flaske i luftæt forbindelse med måleren inden for det tidsrum, hvor måleren registrerer 1 liter. Såfremt de tre udvejninger afviger mere end 2 g fra hinanden, foretages en ny bestemmelse. Bohr-måleren forbindes derefter tæt med 5 m³-måleren, og der ledes luft igennem systemet. Ved gentagne aflæsninger på de to målere af den registrerede luftmængde beregnes kalibreringsfaktoren for 5 m³-måleren med hensyntagen til tryk og temperatur i de to målere. Middelfejlen på faktorbestemmelserne har været af en størrelsesorden på 1.5 ‰.

Selve kontrolforsøgene med tilledning af CO₂-blandingen har i almindelighed haft en varighed på 6–8 timer. Den kontinuerlige registrering af kulsyre-koncentrationen i den udgående luft har vist, at der går ca. 2 timer fra det øjeblik, vi begynder at tillede kulsyre, og indtil CO₂-koncentrationen i den udgående luft er konstant. Så snart denne tilstand er opnået, aflæses markeringerne på 5 m³-gasmåleren og på Honeywell-apparatet samtidig med, at recipienterne startes med en hastighed på gearmotoren, der sikrer en tilstrækkelig stor prøveudtagning.

Ved forsøgets afslutning aflæses begge tælleværk samtidig med, at recipienterne aflukkes, og analyseluften sættes under et svagt overtryk. Under forsøgets gang registreres tryk, temperatur og fugtighed således, at de observerede værdier for rumfang kan reduceres til normalomstændigheder.

Inden recipientluften analyseres på URAS-apparatet, er dette først justeret ved hjælp af prøvegasflasker med henholdsvis rent kvælstof og en fra Hartmann & Braun justeret blanding på 1.5 % CO₂ i kvælstof. Til justering og analysering af recipientluften er anvendt det tidligere beskrevne skalagalvanometer (se side 23).

4.3. Kalibrerings-resultater.

De første orienterende kontrollforsøg svarende til forsøgsserie B, 1964, hvor vi nøje fulgte instruktionerne fra henholdsvis Honeywell og Hartmann & Braun med hensyn til måling af luftvolumen og kulsyrekoncentration, gav tilfredsstillende resultater. Det blev derefter planlagt at gennemføre 4 forsøgsserier, C-D-E-F, med voksende svin fra 20 til 90 kg og at foretage en løbende kontrol af respirationsanlæggene ved at gennemføre CO₂-kontrollforsøg såvel før hver forsøgsserie som under selve forsøgets gang.

I sommeren 1964 var respirationsanlæggene udlånt til Biocentralen, der benyttede dem som klima-kamre til undersøgelser vedrørende gæringsforløbet i Dana-Kompost. Da vi atter overtog anlæggene, viste det sig ved de første kalibreringsforsøg, at der var relativ stor afvigelse mellem de målte værdier for indgående og udgående kulsyre. Da det kunne ses, at nul-værdierne for Honeywell-instrumenterne havde forskubbet sig, blev disse instrumenter omjusteret. Det viste sig samtidigt, at der var kommet kondensvand såvel i de udgående rørledninger som i måleklokkerne på grund af den høje temperatur og fugtighed, der havde været anvendt i

Tabel 3. Kalibreringsforsøg med kulsyre. Anlæg A.

Calibration experiments with CO₂. Plant A.

Forsøgs- serie	Dato	CO ₂ forsøg	Indg. CO ₂	Udg. CO ₂	Afgivelse mellem udg. og indg. CO ₂	
			Gas- måler og kemisk anal.	Flow- meter og fysisk anal.		
Exp. serie	Date	CO ₂ exp. No.	Ing. CO ₂	Outg. CO ₂	Deviation between outg. and ing. CO ₂	
			Gas- meter and chemical anal. Litres	Flow- meter and physic anal. Litres		
B	9/6 64	4	207.9	208.6	+0.7	+0.3
»	23/6 64	6	214.2	215.3	+1.1	+0.5
C	22/9 64	16	209.5	211.4	+1.9	+0.9
»	3/11 64	18	137.7	139.7	+2.0	+1.5
»	10/11 64	20	148.9	149.4	+0.5	+0.3
»	17/11 64	22	163.2	159.9	÷3.3	÷2.0
»	26/11 64	24	206.2	206.9	+0.7	+0.3
»	5/1 65	26	149.7	148.3	÷1.4	÷0.9
D	2/2 65	30	148.6	148.3	÷0.3	÷0.2
»	16/3 65	34	185.8	186.1	+0.3	+0.2
»	6/5 65	36	234.5	232.9	÷1.6	÷0.7
E	19/8 65	40	186.9	186.5	÷0.4	÷0.2
»	30/8 65	42	160.5	160.6	+0.1	+0.1
»	1/9 65	44	245.1	243.3	÷1.8	÷0.7
F	18/1 66	47	165.2	164.1	÷1.1	÷0.7
»	16/2 66	53	165.9	166.5	+0.6	+0.4

anlæggene ved de omtalte gæringsundersøgelser. Ved længere tids kørsel med respirationsanlæggene ved lav fugtighedsgrad lykkedes det at udtørre anlægget, hvorefter kalibreringsforsøgene blev genoptaget.

Resultaterne herfra viste, at anlæggene nu kørte med en konstant afvigelse, der kunne henføres til ændringer i integrerings-faktorerne på de omjusterede Honeywell-instrumenter. Ved en række kulsyreforsøg blev disse faktorer nu bestemt til at være 46.5 liter pr. markering for instrument A og 12.0 liter pr. markering for instrument B mod de oprindelige fra fabrikken angivne faktorer på 50.0 og 12.5.

Med anvendelse af de således fundne faktorer for de to Honeywell-instrumenter er derefter samtlige kontrolforsøg og normale respirationsforsøg i perioden 1964-66 blev gennemført.

Resultaterne fra kalibreringsforsøgene med de to anlæg er vist i tabel 3 og 4. Forskellen mellem den registrerede ud- og indgående mængde kul-syre var i gennemsnit $\div 0.13$ l for anlæg A og $\div 0.27$ l for anlæg B med en spredning på 1.4 og 1.9 liter og en middelfejl på gennemsnittet på henholdsvis 0.36 og 0.44.

Tabel 4. Kalibreringsforsøg med kulsyre. Anlæg B.

Calibration experiments with CO₂. Plant B.

Forsøgs-serie	Dato		CO ₂ forsøg	Indg. CO ₂ Gas-måler og kemisk anal.	Udg. CO ₂ Flow-meter og fysisk anal.	Afvigelse mellem udg. og indg. CO ₂	
				Ing. CO ₂ Gas-meter and chemical anal. Litres	Outg. CO ₂ Flow-meter and physic anal. Litres-		
Exp. serie	Date		CO ₂ exp. No.			Litres	%
B	23/4	64	2	125.8	127.0	+1.2	+1.0
"	11/6	64	5	214.4	209.9	$\div 4.5$	$\div 2.1$
"	29/6	64	8	199.7	199.1	$\div 0.6$	$\div 0.3$
C	24/9	64	17	145.2	146.2	+1.0	+0.7
"	5/11	64	19	139.9	140.5	+0.6	+0.4
"	12/11	64	21	140.6	139.0	$\div 1.6$	$\div 1.1$
"	19/11	64	23	166.2	163.2	$\div 3.0$	$\div 1.8$
"	10/12	64	25	229.8	232.1	+2.3	+1.0
"	6/1	65	27	197.3	200.0	+2.7	+1.4
D	4/2	65	31	153.3	153.6	+0.3	+0.2
"	18/2	65	33	121.7	120.5	$\div 1.2$	$\div 1.0$
"	18/3	65	35	174.3	173.8	$\div 0.5$	$\div 0.3$
"	13/5	65	37	193.2	191.0	$\div 2.2$	$\div 1.0$
E	18/8	65	39	250.1	250.0	$\div 0.1$	0
"	20/8	65	41	180.4	181.8	+1.4	+0.8
"	31/8	65	43	160.1	160.4	+0.3	+0.2
F	20/1	66	48	157.1	155.2	$\div 1.9$	$\div 1.2$
"	17/2	66	54	228.1	229.0	+0.9	+0.4

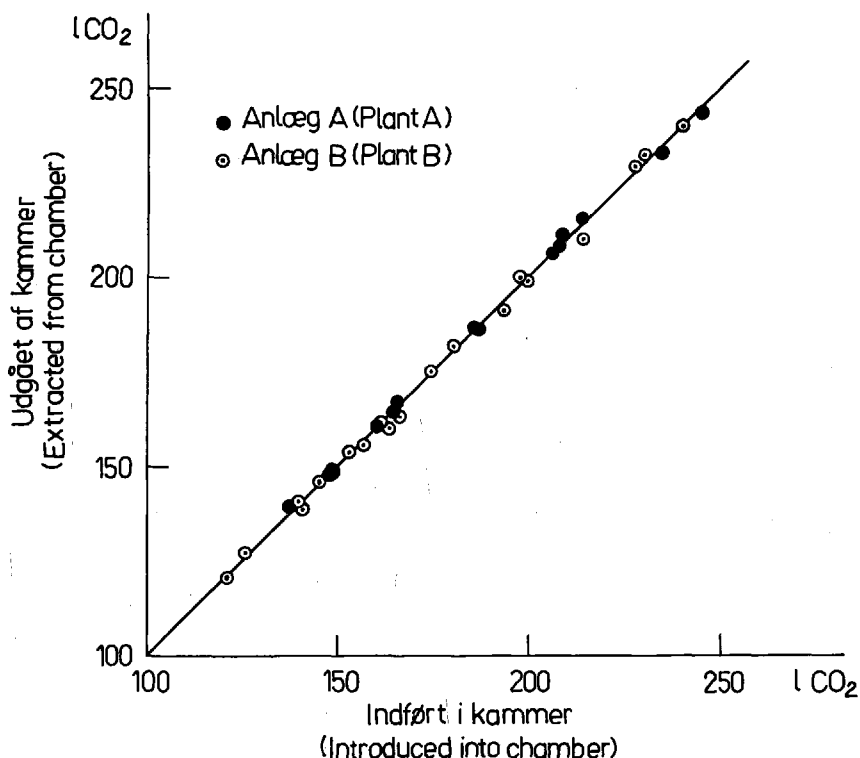


Fig. 6. Resultater opnået ved CO₂-kontrollforsøg med anlæg A og B.
 Fig. 6. Results obtained from CO₂-control experiments with plant A and B.

De opnåede resultater er vist grafisk i figur 6, og det fremgår heraf, at afvigelserne er uafhængige af den tilførte kulsyre mængde inden for det givne interval. Samtidig ses det, at de to anlæg arbejder identisk, idet et t-test viser at der er ingen signifikant forskel mellem de to anlæg ($f=32$, $D=0.14$, $Mf\{D\} \simeq 0.59$, $t=0.24 < t_{0.05}=2.04$).

Kontrollforsøgene med kulsyre har således vist, at de to anlæg i de fire forsøgsserier fra 1964–66 har opfyldt de krav, der var stillet til anlæggenes målesikkerhed med hensyn til bestemmelse af dyrenes kulsyreproduktion. Det må anses for en fordel, at det har været muligt at gennemføre kontrollforsøgene sideordnet med de løbende dyreforsøg, således at vi ved de fysiske målinger har kunnet kontrollere, at de fundne integreringsfaktorer på 46.5 og 12.0 har kunnet fastholdes over 2 år med henvend 400 respirationsforsøg.

5. Sammenfatning

1. I indledningen er der givet en oversigt vedrørende de principper, der anvendes til langvarige målinger af varmeproduktionen hos enkelt-individer. Efter en kort omtale af eksisterende udenlandske anlæg til forsøg med svin er der fremsat en motivering for bygning af et nyt respirationsanlæg for denne dyreart ved Landøkonomisk Forsøgslaboratorium i København.

2. Det følgende afsnit omfatter en detaljeret beskrivelse af respirationsanlæggets opbygning vist i diagram, fig. 1. Anlægget er bygget efter det åbne princip med anvendelse af apparatur efter tryk-differensprincippet til måling af luftmængde. Luftens sammensætning bestemmes efter fysiske metoder baseret på luftarternes absorption i infrarødt lys (CO_2 og CH_4) og deres afbøjning i et paramagnetisk felt (O_2). Luftens sammensætning er dels bestemt ved kontinuerlig registrering og dels ved analysering af en aliquot luftprøve udtaget i recipienter. Anlægget er forsynet med anordninger for fodring samt gødning- og urinopsamling, således at der kan foretages kontinuerlige undersøgelser over flere døgn. Anlægget er udstyret med et klima-anlæg samt automatisk virkende sikkerhedsanordning, hvorved man undgår en økonomisk belastende overvågning af anlægget.

3. Efter en kort omtale af anlæggets tæthed er klima-anlæggets funktion og kapacitet beskrevet. Ved hjælp af passende varmekilder med dertil hørende vandfordampning er klima-anlægget afprøvet. Resultaterne, der fremgår af tabel 1 og figur 5, viser blandt andet, at anlæggene kan arbejde inden for et temperaturinterval fra 7 til 27 °C med en relativ luftfugtighed fra 65 % og opefter. De primære afprøvninger af luftmængdemålerne (Honeywell) er omtalt, ligesom luftanalyseapparaternes (URAS og MAGNOS) funktion og justering er beskrevet.

4. I det sidste afsnit er der gjort rede for respirationsanlæggets kalibrering med omtale af de fysiske målemetoder, der har været anvendt ved gennemførelse af CO_2 -kontrollforsøgene. De opnåede kalibreringsresultater fra 1964–66 er sammenstillet i tabel 3 og 4 og vist i figur 6, og det fremgår heraf, at afvigelserne mellem den registrerede ud- og indgående kulsyremængde i gennemsnit var ± 0.13 l for anlæg A og ± 0.27 l for anlæg B med en spredning på henholdsvis 1.4 og 1.9 og med en middelfejl på gennemsnittet på henholdsvis 0.36 og 0.44. Afvigelserne var uafhængige af den tilførte kulsyremængde inden for det undersøgte interval. Et t-test viste, at der var ingen signifikant forskel mellem de to anlæg. Kontrollforsøgene har vist, at de to anlæg har opfyldt de krav, der var stillet til anlæggenes målesikkerhed med hensyn til bestemmelse af dyrenes kulsyreproduktion.

Construction and Function of a New Respiration Plant for Pigs

I. Construction of the respiration plant

Construction of the respiration chamber.

The respiration plant is built according to the indirect calorimetric principle with open air ventilation. It consists of two independent climatically controlled chambers, each capable of housing pigs up to 250 kg (Photo no. 1).

A diagram of the whole respiration plant is shown in fig 1. The main chamber (1) measuring $172 \times 84 \times 145$ cm. high and the feeding box (2) measuring $49 \times 35 \times 80$ cm. high are built of 4 mm. mild steel plate bolted to $6 \times 6 \times 0.8$ cm. mild steel angles. A special packing material (Minnesota Mining and Manufacturing Co., 3 M-Sealer, Formula EC-800) has been used to seal the chambers with very satisfactory results. The main chamber and the feeding box have a total volume of about 2.4 m^3 .

Each chamber can be hermetically sealed by means of a door fitted with a U-frame lined with rubber, (fig. 1). The door is equipped with a window and two openings (Diam. 17 cm.) with long rubber gloves for remote handling (Photo 1). It is possible, therefore, to look into the chamber and to collect faeces in the container below the floor (5). The floor (3), is moulded from one piece of PVC material with a fall of 12 % for collecting urine in a bottle (4).

The stainless feeding trough (6) measuring $47 \times 30 \times 20$ cm. is moveable by oil-hydraulics (Photo 2). The trough can be pressed against a steel frame covered with rubber at the top of the feeding box so as to exclude air. By opening the lid (7) the feed can be inserted without losing air from the chamber. After replacing the lid, the trough is moved into the right position for the animal to reach the food, and can be fixed in any desired position.

The lid sits in a water-filled groove about 2 cm. below the surface of the water and is maintained in that position by a constant vacuum of 3-4 cm.

petrol in the chamber (Diagram fig. 1). A counterweight is attached to the lid to provide a safety mechanism, as described by *Schiemann* (1958), so that if the slight vacuum is not maintained in the chamber, the lid is automatically raised.

Each chamber is equipped with two windows, an outer one (8) measuring 99×54 cm. high and an inner one of 33×58 cm. which allows the animals to see each other giving them a feeling of company. The animal stands on a wire grate 15×15 mm. (9) which can be fixed in different positions depending upon the size of the animals.

Stainless steel pipes of 60×5 mm. are used for the in- and outgoing air. The inner circulation of air takes place through 250×250 mm. ducts. The air returns to the chamber over a »false« ceiling (10) placed 16 cm. below the top of the chamber, and with a distance of 5 cm. from the three outer walls. The whole chamber, feeding box and air-ducts are heavily insulated with 3 cm. Flamingo Foam.

Air-conditioning plant.

In order to obtain a constant climate the inner circulation of air must be high but because of the »false« ceiling the animal is not exposed to any draught. By means of an airtight centrifugal ventilator (11) (Nordisk Ventilator Co., Type CL-250) with a capacity of about $800 \text{ m}^3/\text{hour}$ the air from the chamber is first passed over cooling plates (12) and then over heating plates (13) before being returned to the chamber.

The cooling plates, with an area of 25.6 m^2 , can remove 12 kcal pr. hour pr. m^2 for each $^{\circ}\text{C}$ temperature-difference between cooling water and air. The heating system is comprised of 3 electrically heated parts with a capacity of 900 watts each. The tank for cooling water (14) containing 2000 litres consists of a returning chamber (15) and a main chamber (16) where the cooling water is kept at a constant temperature of $2-3^{\circ}\text{C}$ by means of a semihermetic freon compressor (Atlas A/S, Type AVN572). A centrifugal pump (17) circulates the cooling water, with a constant flow of about 420 litres per hour.

The air-conditioning plant is controlled by two thermostats (18) (19) (Honeywell, Temp.controllers, T915C) sensing dry bulb and wet bulb temperatures respectively. Modutrol motors (Honeywell, Type M904E) regulated by the thermostats work both an autotransformator for the heating system and a three-way valve for mixing the cooling water, as shown in photo no. 3 and on the diagram. The required temperature and humidity is obtained by setting the thermostats, and the climate in the chamber is registered on a recorder (20).

Ventilation.

With a calculated maximum production of 70 litres CO₂ per hour from a pig, the ventilation of the chamber should be about 10 m³ per hour to maintain the CO₂ concentration in the chamber within the required limits 0.7–0.8 %. An airtight centrifugal ventilator (Nordisk Ventilator Co., Type CP-315/50) has been chosen. The characteristic curve for the ventilator is given in fig. 2.

The ventilator (21) draws outside air through the pipe and valve (22) into the chamber where it is mixed with the respiration air and circulated in the inner-system. The mixed chamber air taken out at (23) passed through a gas filter (24) and another valve (25). By adjusting valves (22 and 25) the required ventilation and a constant vacuum of 3–4 cm, petrol in the plant can be obtained.

After the total air volume has passed through the ventilator (21) the air is divided into two parts by means of a valve (27). The main part leaves the building, while an aliquot sample of about 200 litres per hour is passed into a smaller pipe to be used for measuring the air-composition (see later).

Apparatus for measuring air-volume.

In the department's previous respiration plant for pigs, the volume of outgoing air was measured by means of wet gas-meters. Calibration of the gas-meters before and after each 24-hours-respiration experiment was necessary to obtain the required accuracy. To avoid the heavy load of work connected with this calibration, we looked for other instruments giving a high accuracy with a minimum of labour, and we decided to use instruments measuring rate of flow over an orifice, the characteristic curve of which is given in fig. 3.

The outgoing airflow is recorded by measuring the differential pressure over an orifice with a mercury meter body (Photo 4. Honeywell. Bell type 293BC-E3) The meter body (Fig. 1, no. 28) works up to a max. pressure of 4.019 inch WG and a max. flow of 12.5 m³ per hour, transmitting the signal to a recording receiver with a continuous integration of the flow. (Fig. 1, no. 29).

Two different types of integrators have been used, one (Honeywell, type 202 EIF) employs a simple electro-mechanical recording principle, while the other type (Honeywell, type 152X23-BB-X-19), is based on the inductance bridge principle with electronic signal amplification, and servo-driven recording pen. Both receivers are fitted with the same electronic integrator.

The installation and handling of the instruments have been carried out

according to the instructions given by Honeywell and the factors given for reducing air volumen have been used. The results obtained have been satisfactory for both instruments as will be discussed later.

Apparatus for measuring air-composition.

The composition of the outgoing air is determined according to physical principles, and instruments from Hartmann & Braun, Frankfurt, have been chosen. For the O_2 -determination a MAGNOS 2 (Paramagnetic) with a range from 19.0–21.0 % O_2 , and for CO_2 an URAS 1 (Infra-red) with a range from 0–1.5 % CO_2 have been used. Later another URAS 1 was installed for measuring the CH_4 -concentration in the range from 0–0.2% CH_4 .

As described earlier, an aliquot representing about 200 litres per hour is taken from the outgoing air by means of a valve (Fig. 1, no. 27). A part of this aliquot is used for continous determination and recording of the air-composition (30) during the 24 hours' experiment. The recordings are used partly as a control during the experiment and partly to estimate the diurnal variation in the respiration metabolism. Another part of the aliquot flows to the recipients (31) where average samples are collected and stored for analyses at the end of the experiment.

With only one set of analysers, the outgoing air from the two chambers is sampled alternately by means of small membrane-pumps for continous determination and recording. The pumps are controlled by the recorder to change the air stream at 6 minute intervals, which gives 5 records per hour for O_2 %, CO_2 % and CH_4 % from each chamber.

The recipients (31) for the average samples are built according to principles described by *Schneider* (1958) and *Schiemann* (1958). They consists of Plexiglass ®233 (Röhm & Hass, Darmstadt) 90×660 mm. high with an absolutely air-tight rubber-mercury-piston (for detail see Fig. 4) moved by a variable controlled gear motor. In a 24 hours' experiment the piston will be moved from top to bottom taking an average sample of about 4 litres from the outgoing air.

The URAS- and MAGNOS-instruments are adjusted according to the instructions from Hartmann & Braun before analysing the recipient air. The air from the recipients is passed through the instruments with the required flow of 0.5 litres per. min. by hand or by means of another variable controlled gear-motor. For reading the output from the analysers a scale-galvanometer from Zeiss, Jena (Type 32666 Uldan) has been used with very satisfactory results. With a lightband of 2.7 metres, and with a scale of 1000 units, the instrument permits an accurate reading of 0.5 units corresponding to 0.0025 % CO_2 and 0.001 % O_2 respectively.

Expenses in construction of the respiration plant.

The building period was 1959-62 and at present prices the expenses excluding wages can be divided into the following parts:

Air-conditioning plant	29.000 d. kr.
Ventilators	6.000 »
Apparatus for measuring air volume	18.000 »
Apparatus for measuring air-composition	48.000 »
Materials	19.000 »
Total (excl. wages)	<u>120.000 d. kr.</u>

II. Functioning of the respiration plant

Before the respiration plant was insulated with Flamingo Foam it was tested for airtightness by means of smokepowder. Only few small leaks were found, and after being filled up with the excellent sealer mentioned before (see page 37) the closed chambers were able to maintain a constant vacuum during 24 hours.

Functioning and capacity of the air-conditioning system.

The performance of the air-conditioning system was measured by using different heat sources and water evaporators. As a basis it was calculated that the total heat production from a normally fed pig in the live weight range from 20 to 120 kg would be about 75 to 250 kcal. per hour, the evaporative heat being about 25 %.

A »young artificial pig« was produced by using a 60 watt glow lamp together with a water evaporation of 30 ml. water per hour, corresponding to about 53 and 17 kcal per hour. In the same way an »adult artificial pig« was made by using a 250 watt infra-red lamp together with 100 ml. water evaporation per hour, corresponding to 215 + 54 kcal per hour.

By placing these »artificial pigs« into the chamber the air-conditioning system was tested. It was found that a constant average temperature could be obtained but the cycling of the temperature was too great.

This was found to be caused by the automatic heat-regulator originally working in 7 steps from 0 to 2700 watts corresponding to 386 watts per step, which was too great. The regulating system was then rebuilt to a manual operation of 1800 watts and an automatic regulation of 900 watts.

Since the rebuilding, the system has worked satisfactory, and the maximum variation in the temperature for a given setting of the thermostats is 0.2–0.4 C°.

Both plants were then tested by setting the heating on maximum, and the cooling on different steps from zero to maximum, afterwards keeping the cooling at maximum with different settings of the heating. The results obtained with chamber B are shown in table 1, and in fig. 5, indicating that with a relative humidity of 65 % the temperature range is from 7 to 27 C° irrespective of the size of the animal. The temperature range will be limited by a lower humidity. If a higher humidity is allowed the corresponding temperature interval is extended. The tests with plant A gave the same results as plant B, showing that the air-conditioning system is capable of producing the required climate in the chambers.

Functioning of instruments for measuring air volume and air composition.

The Honeywell instruments for measuring air volume were first tested from 2–5 m³ air flow against a calibrated 5 m³ wet gas meter. By using the correction factors for temperature, pressure and humidity supplied by Honeywell, satisfactory results were obtained. No correction factor for specific gravity of outgoing air has been used since its influence on the corrected figures would be negligible.

The URAS- and MAGNOS instruments for measuring air composition have been used for continuously monitoring as well as for determining the composition of the average air samples taken out during a 24 hours' experiment and stored in the recipients.

In the first experimental period 1964–66, the instruments were adjusted according to instructions from Hartmann & Braun by means of specific test-gases, and by using the scale-galvanometer described. The results obtained from the CO₂-test of the whole respiration plant were satisfactory, as will be described in the following part.

By adjusting the apparatus in the period mentioned we obtained some experience concerning the adjustment curves for the instruments. The URAS curve changed from linear to a slight curvilinear function by ageing. The MAGNOS curve was still linear but with a variation of the slope from time to time. These findings were discussed and accepted by Hartmann & Braun and since 1966 the adjustments of URAS and MAGNOS have been made according to the description given by *Nielsen* (1969) and *Petersen* (1969).

III. Calibration of the respiration plant

Principle and method.

Before the respiration chambers were used for pig experiments, control experiments with CO₂ were carried out as described by Møllgaard & Andersen (1917) according to the following principle:

litres CO₂-mixture × CO₂ % in mixture = litres outgoing air × CO₂ % in outgoing air.

The measurements are made according to:

1. Litres CO₂-mixture entering the chamber measured by wet gas meter.
2. CO₂ % in CO₂-mixture analysed by chemical absorption method.
3. Litres outgoing air from chamber measured by differential pressure principle.
4. CO₂ % in outgoing air analysed by absorption in infra-red light.

The CO₂-mixture consisting of about 20 % CO₂ in 80 % N₂ was delivered in 40 litres steel bombs with 150 atm. pressure. It was found that the bombs should be stored at least 3 weeks before being used for a control experiment. After storage the CO₂-concentration was determined by means of a Carpenter-gas-analyser built in Copenhagen by F. C. Jacob with modifications according to Schiemann (1957) and Struss & Quasdorff (1958).

The burette of the gas-analyser has been calibrated by repeated weighing of mercury for each 0.1 ml. reading of the burette showing very small variations from reading to reading. For the two parts of the measurement range the standard error of the mean in weighing was found to be very small, as indicated in table 2. By means of the weighing results obtained, two linear calibration-curves for the two ranges of measurements were established. The determination of the CO₂-concentration in the CO₂-mixture was normally made by 4-6 repeated analyses with a standard error of mean of 2-4 ‰.

The CO₂-mixture entering the chamber is measured by a 5 m³ wet gas-meter working in light oil. A correction factor for the gas-meter is determined by means of a calibrated 3 litres Bohr-meter the factor of which is obtained by weighing water according to the method described by Møllgaard & Andersen (1917). The standard error of mean for the determination of factors is of a magnitude of 1.5 ‰.

By control experiments with the CO₂-mixture it was found that it takes about 2 hours from starting the intake of CO₂ into the chamber until the CO₂-concentration in the outgoing air is constant. When a constant state is

obtained, the reading of the counters on the 5 m³ gas meter and the Honeywell instruments is taken, and at the same time the recipients are connected with the pipes and the gear-motor started. After 4–6 hours the entrance of the CO₂-mixture is interrupted, the readings are taken and the recipients closed. During the experiment the temperature, pressure and humidity are read continuously in order to reduce the air volume to normal condition. Before analysing the recipient-air, the URAS-instrument is adjusted as described by means of CO₂-test-gas and by using the scalegalvanometer.

Calibration results.

With the first series of calibrations (series B) giving satisfactory results it was planned to start four series of experiments, C-D-E-F, with growing pigs, including running control experiments with CO₂-mixture. Before starting series C a rather great deviation between ingoing and outgoing amounts of CO₂ was found, caused by a shift of the zero-line on the Honeywell instruments. Between series B and C the plant was lent to »Biocentralen« for some fermentation investigations. As the experiments were conducted at high temperature and high humidity it caused formation of condensed water in the pipes and the meter bodies. After readjustment of the zero-line the plant was dried by continuously running at low humidity.

The following calibration experiments showed a constant deviation between in- and outgoing CO₂ caused by an change in the integrator factors after the readjustment of the Honeywell instruments. By a series of CO₂-calibrations the factors for the counters were determined to be 46.5 for A and 12.0 for B, instead of the original factors of 50.0 and 12.5, and these new factors were then used in the experimental period from 1964–66.

The results obtained from the calibration experiments with both plants are shown in table 3 and 4. The average difference between registered out- and ingoing CO₂ was found to be ± 0.13 litres for plant A and ± 0.27 litres for plant B, the standard deviation being 1.4 litres and 1.9 litres respectively. These results are considered to be of sufficiently high accuracy for measuring CO₂-production in animals.

The results from all 34 calibration experiments are shown in fig 6 indicating that the deviation between the registered ingoing and outgoing CO₂ was independent to the amount of CO₂ for the given interval, and no significant difference was found between the two plants in the experimental period from 1964–66 ($f=32$, $P > 0.05$). The calibration experiments have shown that both plants have been working with an accuracy which has fulfilled the planned demands and it is considered of great value that it has

been possible to carry out CO₂-calibrations together with animal experiments thereby checking by physical methods that the integrator factors of 46.5 and 12.0 for the Honeywell instruments persist for at period of 2 years with nearly 400 respiration experiments.

IV. Summary

A respiration plant for pigs with two independent chambers based on indirect calorimetry, with open air circulation is described in detail (Fig. 1). The outgoing airflow is recorded by measuring the differential pressure over an orifice with a mercury meter body. The composition of the outgoing air is determined according to the physical principles of gas-absorption in infra-red light (CO₂ and CH₄), and gas deflection in a paramagnetic field (O₂). The composition of the air is partly recorded over a 24 hour' experiment and partly collected in recipients to be used for accurate determination of the average values for concentration of CO₂, O₂ and CH₄. The plant is air-conditioned and equipped with an automatic safety device so that no supervision is necessary.

The function of the air-conditioning system is described and its capacity is shown in fig. 5. The adjustment of the instruments for measuring air volume and air composition is discussed.

The principle and method for calibrating the whole respiration plant by means of CO₂-mixture are given. The results obtained from 34 calibration experiments shown in table 3, 4 and in fig. 6, indicate the accuracy for both plants in measuring CO₂-production.

Litteraturliste

- Benzinger, T. H. & Kitzinger, C.* (1949). Direct Calorimetry by Means of the Gradient Principle. *Rev. Sci. Instruments*. 20, 849-860.
- Blaxter, K. L.* (1962). *The Energy Metabolism of Ruminants*. Hutchinson, London.
- Blaxter, K. L., Graham, N. McC. & Rook, J. A. F.* (1954). Apparatus for the Determination of the Energy Exchange of Calves and of Sheep. *J. Agric. Sci.* 45, 10-18.
- Breirem, K.* (1935). Undersøgelser over væksten hos svin. II. Energiomsætningen hos svin. 162. ber. Forsøgslaboratoriet. København.
- Brouwer, E.* (1965). Report of Sub-committee on Constants and Factors. *Proc. 3rd Symp. on Energy Metabolism*. Troon. E.A.A.P. Publ. No. 11, 441-443. Academic Press, London-New York.
- Hörnigke, H.* (1958). Eine Anlage zur fortlaufenden Registrierung des Gaswechsels wachsender Schweine. *Proc. 1st Symp. on Energy Metabolism*. Copenhagen. E.A.A.P. Publ. No. 8, 70-80.
- Kleiber, Max.* (1961). *The Fire of Life*. John Wiley and Sons, New York-London.

- Ludvigsen, J. & Thorbek, G. (1955). Virkningen af aureomycin på stofskiftet hos svin. 283. ber. Forsøgslaboratoriet. København.
- Lund, Aa. (1938). Experimentelle undersøgelser vedrørende svinets avitaminose-A. 180. ber. Forsøgslaboratoriet. København.
- Møllgaard, H. & Andersen, A. C. (1917). Respirationsapparatet, dets Betydning og Anvendelse ved rationelle Forsøg over Hornkvægets Mælkeydelse. 94. ber. Forsøgslaboratoriet. København.
- Nehring, K., Schiemann, R., Hoffmann, L. & Schmidt, M. (1958). Über den apparativen Aufbau von Respirationsanlagen für Rinder, Schweine und Schafe im Rahmen des Neubaus des Oskar-Kellner-Instituts für Tierernährung, Rostock. Wiss. Abh. DAL, Berlin. 37, 34-64.
- Nielsen, A. J. (1969). Planning of Respiration Experiments with Growing Bacon Pigs, Statistical Preparation of the Results of the Experiment by the Use of Electronic Data Processing, and Control Investigations Derived Therefrom. Proc. 4th Swmp. on Energy Metabolism. Jablonna. E.A.A.P. Publ. No. 12, 477-486. Oriel Press Ltd. Newcastle.
- Paechtner, J. (1931). Der Gaswechsel. 365-435. In E. Mangold, Handb. d. Ernährung u. d. Stoffwechsels landw. Nutztiere, Bd. 3. Springer, Berlin.
- Petersen, C. B. (1969). A Description of an Open Circuit Apparatus for Poultry. Proc. 4th Symp. on Energy Metabolism. Jablonna. E.A.A.P. Publ. No. 12, 437-445. Oriel Press Ltd. Newcastle.
- Proceedings. 1st Symp. on Energy Metabolism (1958). Copenhagen. E.A.A.P. Publ. No. 8, 19-157.
- Pullar, J. D. (1958). Direct Calorimetry of Animals by the Gradient Layer Principle. Proc. 1st Symp. on Energy Metabolism. Copenhagen. E.A.A.P. Publ. No. 8, 95-101.
- Pullar, J. D. (1962). Calorimetry 1952-1961. Annual Report. Rowett Research Institute. Vol. XVIII, 46-51.
- Schiemann, R. (1957). Zur gasanalytischen Untersuchungen von Respirationsgasen. Tierernähr. 7, 98-103.
- Schiemann, R. (1958). Über den Aufbau von Respirationsapparaten für Gross-tiere und Kleintiere im Oskar-Kellner-Institut für Tierernährung, Rostock. Proc. 1st Symp. on Energy Metabolism. Copenhagen. E.A.A.P. Publ. No. 8, 29-45.
- Schneider, W. (1958). Personlig meddelelse.
- Struss, F. (1958). Automatische Messung des Gaswechsels bei langfristigen Respirationsversuchen. Proc. 1st Symp. on Energy Metabolism. Copenhagen. E.A.A.P. Publ. No. 8, 137-154.
- Struss, F. & Quasdorf, Th. (1958). Apparat zur Analyse von Respirationsgasen und seine Handhabung. Arch. Tierernähr. 8, 433-446.
- Thorbek, G. (1961). A Description of an Open-Circuit Respiration Apparatus for Pigs. Proc. 2nd Symp. on Energy Metabolism. Wageningen. E.A.A.P. Publ. No. 10, 73-85.
- Thorbek, G. & Neergaard, L. (1965). Some Remarks about Instruments and Methods Applied to an Open-Circuit Respiration Apparatus for Pigs. Proc. 3rd Symp. on Energy Metabolism. Troon. E.A.A.P. Publ. No. 11, 179-187. Academic Press, London-New York.
- Wainmann, F. W. & Blaxter, K. L. (1958). Developments in the Design of Closed-Circuit Respiration Apparatus for Animals Weighing up to 70 kg. Proc. 1st Symp. on Energy Metabolism. Copenhagen. E.A.A.P. Publ. No. 8, 85-95.