



## Kopudstyr til måling af fugttransport

West, Gert Pl.; Hansen, Kurt Kielsgaard

*Publication date:*  
1988

*Document Version*  
Publisher's PDF, also known as Version of record

[Link back to DTU Orbit](#)

*Citation (APA):*  
West, G. P., & Hansen, K. K. (1988). *Kopudstyr til måling af fugttransport*. Technical University of Denmark, Department of Civil Engineering.

---

### General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

KOPUDSTYR TIL MÅLING AF FUGTTRANSPORT

Gert Pl. West  
Kurt Kielsgaard Hansen



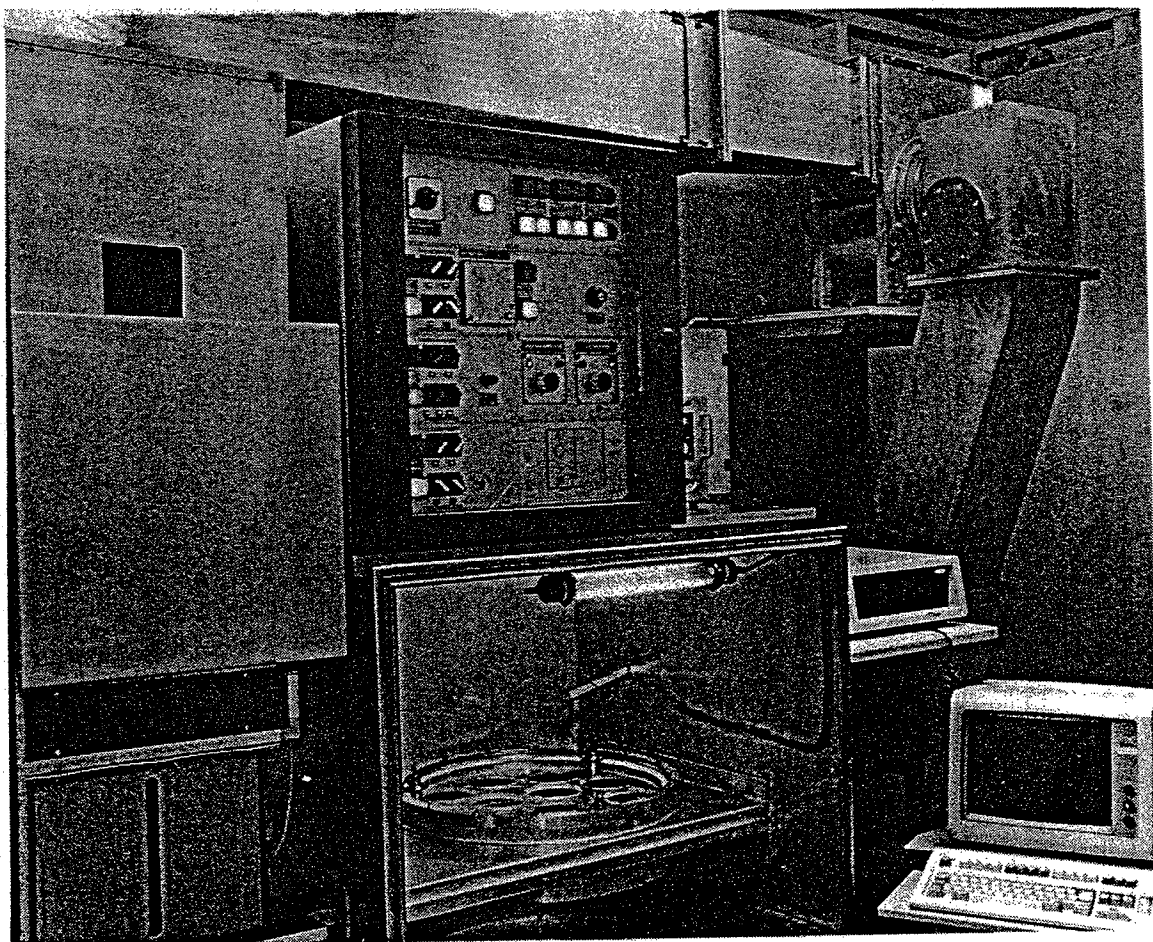
---

THE TECHNICAL UNIVERSITY OF DENMARK  
DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING  
BUILDING MATERIALS LABORATORY

## KOPUDSTYR TIL MÅLING AF FUGTTRANSPORT

### Resume

Rapporten beskriver et udstyr til måling af transportkoefficienter for vanddamp i bygningsmaterialer. I rapporten beskrives udstyret, mens det tilhørende dataopsamlingsprogram er beskrevet i en selvstændig rapport /1/. Målemetoden baserer sig på en-dimensionel stationær fugttransport ved anvendelse af den såkaldte "kopmetode". Prøverne forsegles med en særlig pakning, der ikke ødelægger prøverne. I koppen anvendes enten sorptionsmidlet  $Mg(ClO_4)_2 \cdot nH_2O$ , en mættet saltopløsning eller destilleret vand. I udstyrets målekammer er der plads til 24 målekopper. I målekammeret styres klimaparametrene temperatur og fugt med en nøjagtighed på  $\pm 0,1^\circ C$  og  $\pm 0,2\%$  RH ved  $23^\circ C$ . Fugtigheden og vindhastigheden kan varieres fra 30-95% RH og 1,5-15 m/s.



## FORORD

Emnet fugtbinding og fugtvandring i bygningsmaterialer har i en årrække været en essentiel del af vort laboratoriums arbejde. I 1983 afsluttede Niels Haldor Bertelsen sit licentiatarbejde, hvori indgik målinger af diffusionskoefficienter målt i et såkaldt kopudstyr. Bertelsen havde opbygget kopudstyret som en klimatunnel, hvor damptryk og vindhastighed kan reguleres. Hermed har vi fået et apparatur, som sætter os i stand til at måle fugttransportkoefficienterne langt mere detaljeret, end de standardiserede metoder tillader.

Den foreliggende rapport redegør for en renovering af udstyret udført i forbindelse med vor nuværende satsning på fugtforskning. Renoveringen er udført ud fra ønsket om at gøre udstyret mere sikkert og brugervenligt, og ud fra nødvendigheden af at få samlet måleresultaterne på datamaskine. Der er ikke ændret på Bertelsens ide med maskineriet.

Arbejdet indgår i FTU-projektet "Fugt i Byggematerialer" (J.nr. 5.17.3.6.13), som udføres ved Laboratoriet for Bygningsmaterialer i perioden 1987-89.

Anders Nielsen  
Projektleder

Maj 1988

## INDHOLDSFORTEGNELSE

|     |   |    |
|-----|---|----|
| 0.  | INDLEDNING .....                          | 5  |
| 1.  | VÅDKOP- OG TØRKOPMETODEN .....            | 6  |
| 1.1 | Ligninger for transport og modstand ..... | 7  |
| 2.  | FORSØGSANLÆGGET .....                     | 8  |
| 3.  | KLIMARUM .....                            | 10 |
| 3.1 | Rumopbygning .....                        | 10 |
| 3.2 | Friskluftforsyning .....                  | 10 |
| 4.  | VENTILATIONSKANAL .....                   | 10 |
| 5.  | MÅLEKAMMER .....                          | 12 |
| 5.1 | Beskrivelse af målekammeret .....         | 12 |
| 5.2 | Arbejdshuller .....                       | 12 |
| 5.3 | Vægtens placering .....                   | 12 |
| 5.4 | Eksponeringsskiver .....                  | 12 |
| 5.5 | Eksponeringsskivens synkronmotor .....    | 13 |
| 6.  | STYRESYSTEM .....                         | 14 |
| 6.1 | Beskrivelse af styrepanelet .....         | 15 |
| 6.2 | Lufthastighedsregulering .....            | 18 |
| 6.3 | IWO-køleenhed .....                       | 18 |
| 6.4 | Rumluftekøling .....                      | 20 |
| 6.5 | Rumopvarmning .....                       | 21 |

|       |                                     |    |
|-------|-------------------------------------|----|
|       |                                     | 4  |
| 6.6   | Luftkonditioneringsaggregatet ..... | 22 |
| 6.6.1 | Befugterkammer .....                | 24 |
| 6.6.2 | Luftkøleflade .....                 | 25 |
| 6.6.3 | Polystyrenplade .....               | 25 |
| 6.6.4 | Ventilatorer .....                  | 26 |
| 6.6.5 | Luftvarmeplade .....                | 26 |
| 6.6.6 | Fugt- og temperaturstyring .....    | 26 |
| 6.6.7 | Indregulering .....                 | 27 |
| 6.6.8 | Vedligeholdelse .....               | 27 |
| 6.7   | Overhedningssikring .....           | 27 |
| 7.    | MÅLING OG REGISTRERING .....        | 27 |
| 7.1   | Temperaturmåling .....              | 29 |
| 7.2   | Fugtighedsmåling .....              | 29 |
| 7.3   | Vindhastighedsmåling .....          | 29 |
| 7.4   | Registrering .....                  | 30 |
| 7.5   | Vægt .....                          | 30 |
| 7.5.1 | Afprøvning af vægten .....          | 31 |
| 7.5.2 | Kalibrering .....                   | 31 |
| 7.5.3 | Vejning .....                       | 31 |
| 7.5.4 | Vedligeholdelse .....               | 32 |
| 8.    | MÅLEKOPPER .....                    | 32 |
| 8.1   | Kopskåle .....                      | 33 |
| 8.2   | Prøvestyr .....                     | 33 |
| 8.3   | Pakningsringe .....                 | 35 |
| 8.4   | Sorptionsmiddel .....               | 35 |
| 9.    | INDSTILLING .....                   | 36 |

Bilag 1. Anvendelse af AD kort og EXP kort

## 0. INDLEDNING

Denne rapport er en bearbejdelse af rapporten "Beskrivelse af udstyr til måling af fugttransport" af Niels Haldor Bertelsen (NHB) (Teknisk Rapport 107/82, maj 1982).

Den oprindelige rapport blev udarbejdet som led i erhvervelsen af den tekniske licentiatgrad. Dette arbejde indebar projektering af forsøgsudstyr, udførelse af kalibreringsforsøg på udstyret samt udførelse af nogle forsøg med rødgran. Disse forsøg samt litteraturstudier over principper for bestemmelse af fugttransport i træ er beskrevet i rapporterne /2/ og /3/.

Under det indledende litteraturstudium blev NHB hurtigt klar over, at de normalt anvendte målemetoder ikke tog særligt hensyn til bl.a. materialernes fugtafhængighed, grænselagsproblemer og fugthistorie. Desuden var forsøgsbetingelserne i mange tilfælde usikre. NHB satte sig derfor det mål at opbygge et måleudstyr der meget nøjagtigt kunne bestemme diffusionskoefficienter. Det er nødvendigt at kunne holde temperatur og fugtighed konstant med en nøjagtighed på  $0,1^{\circ}\text{C}$  henholdsvis  $0,2\%$  RH ved  $23^{\circ}\text{C}$ . Samtidig skal temperatur, relativ luftfugtighed og vindhastighed kunne varieres indenfor området  $10-30^{\circ}\text{C}$ ,  $30-100\%$  RH og  $0-15\text{m/s}$ . Desuden har NHB fundet et stabilt adsorptionsmiddel samt en metode til at forsegle prøverne, således at de ikke blev ødelagte.

Grundlaget for denne nye rapport er en renovering af det oprindelige forsøgsanlæg, således at dette er blevet mere tidsvarende med hensyn til sikkerhed, betjening og opsamling af data.

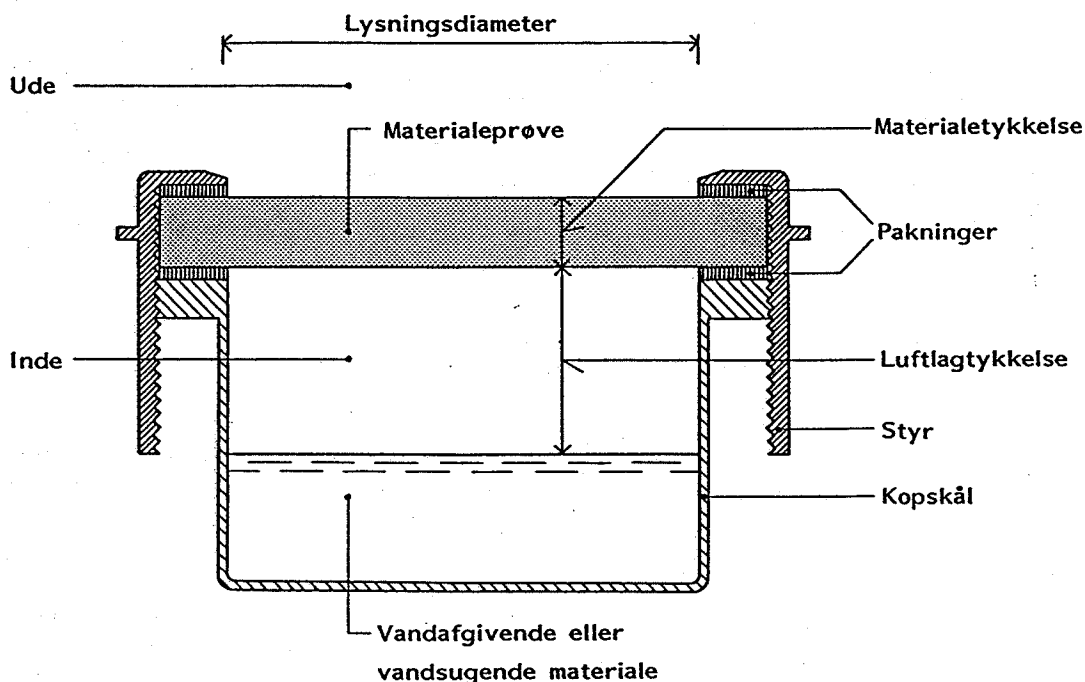
En væsentlig ændring i forhold til det oprindelige anlæg er, at alle kontakter og indstillingsknapper nu er samlet i et kontrol- og reguleringspanel, hvorved såvel sikkerhed som betjeningskomfort er blevet betydeligt forbedret.

En anden væsentlig ændring er, at registrering af data ikke længere sker ved anvendelse af en Philips-skriver, men derimod ved hjælp af et analog/digitalt kort i en PC. Herved undgås bl.a. manuel (fejl-) aflæsning af kurver fra Philipsskriver og manuel notering af vejeresultatet fra vejning af den enkelte kop. Forsøgsdata bliver automatisk opsamlet og eventuelt gemt i en fil, således at der senere er mulighed for at foretage en grundigere analyse af de opsamlede data. Der er skrevet et dataopsamlingsprogram, som er nærmere beskrevet i rapporten "Anvendelse af KOPLOG. Dataopsamlingsprogram til kopudstyr" /1/.

Rapporten beskriver udstyret, dets brug og vedligeholdelse, og den er søgt skrevet som en brugervejledning.

## 1. VÅDKOP- OG TØRKOPMETODEN

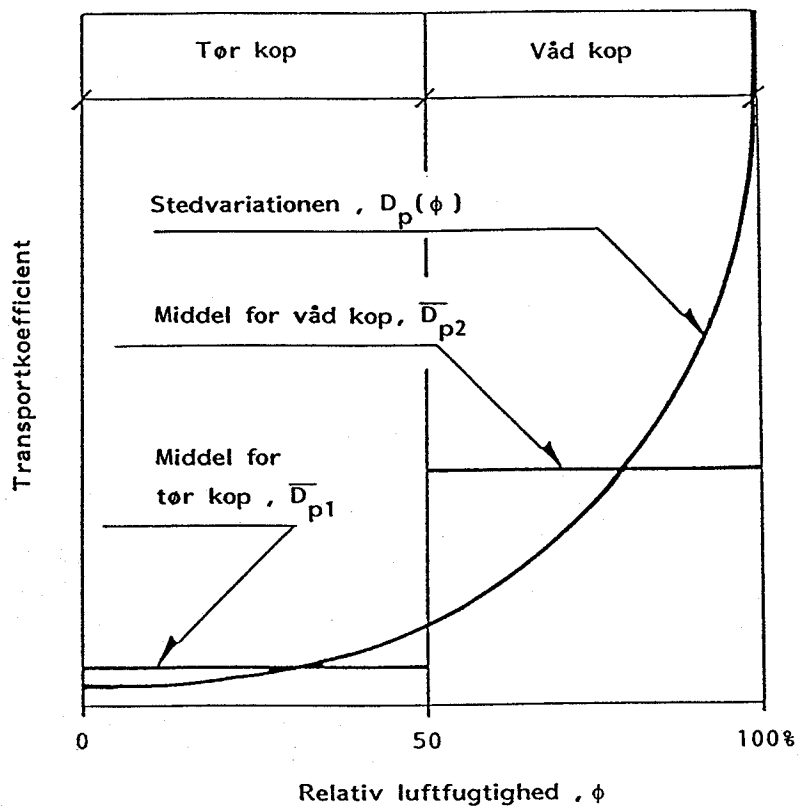
Den almindeligt anvendte metode til at finde et prøveemnes transportkoefficient  $D_p$  er at forsegle det over toppen af en kop, der indeholder tørremiddel eller vand, placere det i et kontrolleret klima (eksponeringsklimaet) og veje det periodisk. Den stationære vægtøgning eller -tab skyldes vanddamptransporten. Figur 1.1 viser betegnelserne, der anvendes i kopforsøget. Når koppen indeholder et tørremiddel, kaldes proceduren for tørkopmetoden, og når koppen indeholder vand, for vådkopmetoden. Det ydre klima holdes normalt på 50 procent relativ fugtighed (% RF), hvorved differencen i vanddampptryk over prøveemnet bliver ens i begge metoder.



Figur 1.1. Betegnelser, der anvendes i kopforsøget.

Transportkoefficienterne fundet med de to metoder for samme prøve bliver imidlertid ofte meget forskellige, idet vådkopmetoden giver de højeste værdier. Sammenhængen mellem disse værdier er vist i figur 1.2, som viser en typisk variation med RF under isoterme betingelser. Transportkoefficienten varierer kun moderat ved lave fugtigheder, men stiger med øget hastighed for høje fugtigheder. Tørkopforsøget udført med 0% RF på den ene side og 50% RF på den anden vil give en gennemsnitlig transportkoefficient  $\bar{D}_{p1}$  svarende til middelhøjden for den viste kurve. Tilsvarende bliver den gennemsnitlige transportkoefficient  $\bar{D}_{p2}$  for vådkopforsøget mellem 50 og 100% RF.





Figur 1.2. Sammenhæng mellem tørkop- og vådkopresultater og stedvariationen.

### 1.1 Ligninger for transport og modstand

Den anvendte ligning til beregning af vanddamptransporten gennem materialer er baseret på Fick's første lov som følger

$$q = - D_p(\phi) \cdot dp/dx \quad (1)$$

hvor

- $q$  = vægten af vanddamp gennemstrømmet pr. arealenhed og pr. tidsenhed
- $p$  = vanddamptrykket
- $x$  = afstanden langs med strømningensretningen
- $D_p(\phi)$  = transportkoefficient som funktion af RF.

Ved at integrere ligning 1 fra  $x = 0$  til  $x = L$  og fra  $p_i$  til  $p_u$  og omarrangere, fås følgende

$$q = B/A = - \bar{D}_p \cdot (p_i - p_u)/L = \Delta p/Z_p \quad (2)$$

hvor

|         |   |
|---------|---|
| $\beta$ | = koppens stationære vægtændring med hensyn til tiden |
| A       | = gennemstrømmet areal                                |
| $p_u$   | = det ydre klimas vanddamptryk                        |
| $p_i$   | = vanddamptrykket inde i koppen                       |
| $D_p$   | = gennemsnitlig transportkoefficient                  |
| L       | = prøveemnets tykkelse                                |
| $Z_p$   | = gennemsnitlig vanddampmodstand.                     |

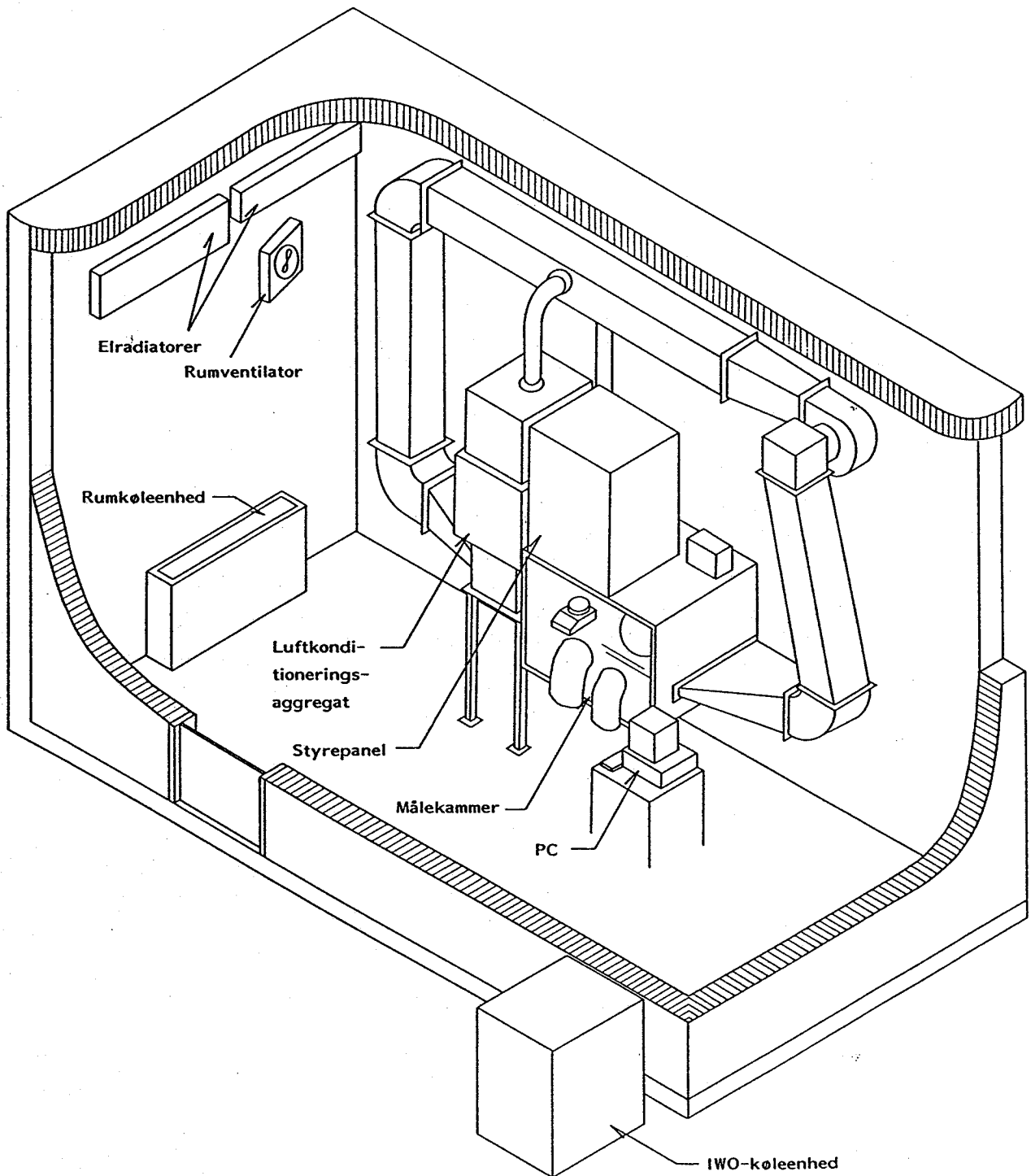
## 2. FORSØGSANLÆGGET

Til at holde eksponeringsklimaet konstant med den nødvendige nøjagtighed, er der opbygget et forsøgsanlæg som skitseret på figur 2.1. Udstyret består af et klimarum på ca. 30 m<sup>3</sup>, hvori en lukket ventilationskanal med målekammer er placeret. Dertil hører en styring for temperatur, fugtighed og vindhastighed samt udstyr til måling og registrering af temperatur, fugt, vindhastighed og masse af kop med prøveemne.

Klimarummet er et isoleret rum, hvori hele klimaopstillingen befinder sig. Rummets temperatur reguleres ved hjælp af en rumkøler og to elradiatorer.

I klimarummet er der frit ophængt en lukket og ringformet ventilationskanal, hvori den fugtige luft kan cirkuleres med den ønskede hastighed. Luftkanalen er af rustfrit stål og ikke isoleret, hvorved kanaltemperaturen vil være i ligevægt med rumtemperaturen. Kanalens nederste del er flad med en bredde på 600 mm og en højde på 50 mm. I dette område er målekammeret placeret, og heri kan op til 24 målekopper monteres. Kopperne monteres, således at prøvernes udvendige overflade er plan med kanalens gulv og loft. Halvdelen af kopperne kan placeres i kanalens bund med prøven øverst og halvdelen placeres i kanalens top med prøven nederst.

Fugtigheden i kanalen styres ved en våd køleflade, hvor temperaturen holdes konstant. Luftkonditioneringsaggregatet er placeret uden for ventilationskanalen med forbindelse til denne, således at en konstant luftmængde fra hovedkanalen bliver suget gennem luftkonditioneringsaggregatet og tilbage i hovedkanalen. I de efterfølgende afsnit beskrives udstyrets enkelte dele.



Figur 2.1. Skitse af forsøgsanlægget.

### 3. KLIMARUM

Klimarummet er et varmeisoleret rum, som er placeret frit i et uopvarmet kælderrum. De indvendige mål er 2,7·4,8·2,3 m (højde, længde, bredde).

#### 3.1 Rumopbygning

Gulvet består af 50 mm PIR-skum udlagt på betongulvet og 16 mm spånplader som trædeflade. Gulvet måler 5,1·2,5 m.

Væggene består af 12 ens elementer på 1,2·2,7 m (bredde, højde). Elementerne består inderst af en 16 mm spånplade, som er sømmet på et lodretstående træskelet af 40·90 mm høvlet gran. Uden på træskelettet er der limet en 50 mm PIR-skumplade med enkomponent PUR-lim. I et af elementerne på langsiden er der placeret en 100 cm bred dør.

Loftet er udført af 4 ens elementer på 1,2·2,0 m. Loftelementerne er opbygget på samme måde som vægelementerne.

Gulv-, væg- og loftelementer er indbyrdes samlet med skruer.

#### 3.2 Friskluftforsyning

Friskluftforsyningen foregår gennem en spalte, som er placeret nederst i klimarummets venstre endevæg bag rumkølingen. Den friske luft er luft fra den uopvarmede betonkælder. Udsugningen sker i klimarummets højre side, hvor sugestudsens er placeret oven over motorkassen til ventilationskanalens centrifugalventilator. Udsugningen til betonkælderen sker med en centrifugalventilator type RGE 140/28, der under normal drift suger 160 m<sup>3</sup> luft pr. time. Udsugningsventilatoren er anbragt i et hjørne af betonkælderen under loftet. Luften i klimarummet omrøres med en 45 W ventilator (600 m<sup>3</sup>/time), som er placeret under loftet foran elradiatorerne.

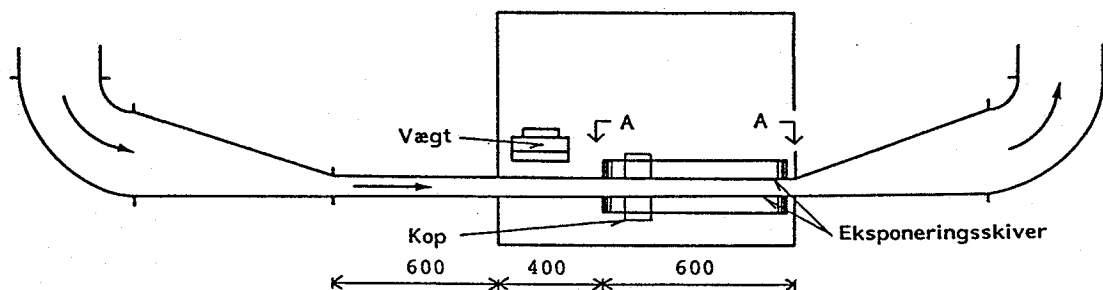
### 4. VENTILATIONSKANAL

Ventilationskanalen til fordeling af luftstrømmen hen over målekopperne består af et 10 meter langt, ringformet og lukket kanalsystem, se figur 2.1. Kanalen er udført af 1,25 mm syrefast, rustfrit stålplade og udført i helsvejste sektioner med endeflanger til samling.

Kanalsystemet består af følgende sektioner fra centrifugalventilatoren og venstre om med luftstrømmen.

1. Centrifugalventilator CNA-250/D pos RD på 370 W - 3·220/380 V.
2. Elastisk overgangsstykke af foliebelagt nylonvæv med en indvendig lysning på 200·150 mm.
3. Fast overgangsstykke 600 mm lang og med en lysning fra 200·150 mm til 250·250 mm.
4. Lige kanalstykke på 2150 mm længde med to 75 ø mm studs til luftkonditioneringsaggregat og lysning 250·250 mm. Da studsene er placeret lige over for hinanden, er der indsat en adskillelsesplade i kanalstykkets midte.

5. 90 graders bøjning med lysning 250·250 mm.
6. Et lige kanalstykke 1450 mm langt og lysning 250·250 mm.
7. 90 graders bøjning med ledeskovl og lysning 250·250 mm.
8. Fast overgangsstykke 600 mm langt og lysning fra 250·250 mm til 50·600 mm.
9. Lige stykke flad kanal 600 mm langt og lysning 50·600 mm.
10. Målekammer med eksponeringsområde, 900 mm langt og lysning 50·600 mm. Eksponeringsområdet er placeret sidst med 400 mm fri kanal før.
11. Fast overgangsstykke 600 mm langt og lysning fra 50·600 mm til 250·250 mm.
12. 90 graders bøjning med ledeskovl og lysning 250·250 mm.
13. Lige kanalstykke 800 mm langt og med en lysning på 250·250 mm.
14. Endestykke 250 mm lang og med lysning 250·250 mm. Stykket er forsynet med sidestuds på 200 mm ø til centrifugalventilatoren.
15. Elastisk overgangsstykke som 2.

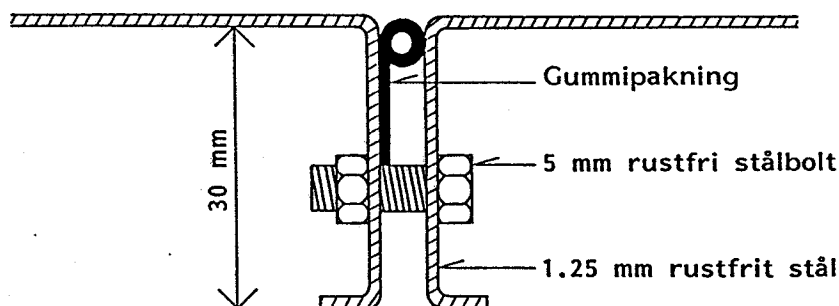


AA:Se Figur 5.1.

Mål i mm.

Figur 4.1. Snit i kanalens nederste, vandrette del omkring eksponeringsområdet.

Hver kanal er afsluttet med en 30 mm flange som vist på figur 4.2. Til samling er anvendt 5 Ø mm rustfrie stålbolte pr. max. 100 mm. Som det fremgår af figur 4.2, er der inden for boltene limet en gummpakning på den ene af flangerne. Alle hjørnesamlingerne på gummpakningerne er ligeledes limede.



Figur 4.2. Snit i samling mellem to kanalsektioner.

## 5. MÅLEKAMMER

Formålet med målekammeret er at kunne veje de eksponerede prøvemner, uden at disse fjernes fra det kontrollerede klima.

### 5.1 Beskrivelse af målekammeret

Målekammeret består af en kasse på 700·900·800 mm (højde, bredde, dybde) og udført i helsvejst syrefast 1,25 mm stål. Frontpladen er dog fremstillet af en 10 mm acrylplade. I pladen er der to arbejdshuller med manchetter af silikonegummi. Ventilationskanalens flade del løber vandret igennem målekammeret 150 mm fra bunden. Luften i målekammeret er i ligevægt med kanalluften.

### 5.2 Arbejdshuller

Som det fremgår af figur 2.1, er arbejdshullerne i acrylfrontpladen placeret ud for kanalen. De har en åbning på 150 Ø mm, henholdsvis 250 Ø mm og kan lukkes med et låg med bajonetfatning.

### 5.3 Vægtens placering

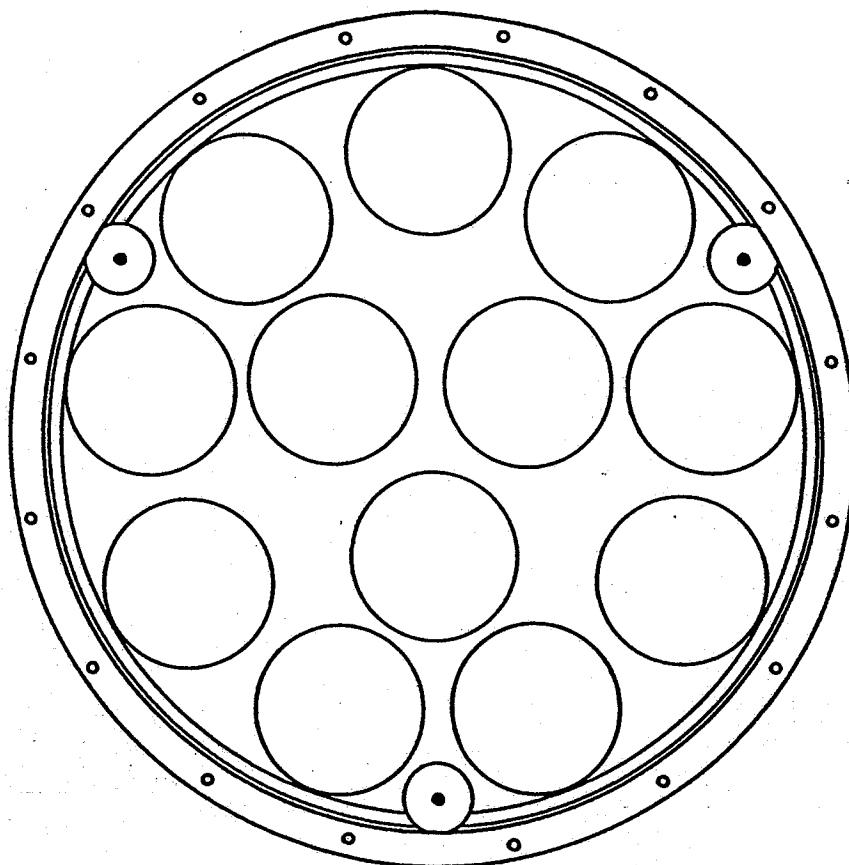
I målekammerets venstre side er en Sartorius 1200 g vægt placeret. Vægten står på et vejbord, der ikke er i direkte kontakt med ventilationskanalen, men er ført gennem målekammerets bagvæg. Gennemføringen er forseglet med en tæt gummipakning. Væjbordets ben står direkte på betongulvet under klimakassens isolerede gulv.

Beskrivelse af vægten og procedure ved vejning er anført i afsnit 7.5, Vægt.

### 5.4 Eksponeringsskiver

I målekammerets højre side er der placeret to eksponeringsskiver, den ene i kanalens overside og den anden i kanalens underside, se figur 4.1. Eksponeringsskivernes indvendige overflade og målekoppernes eksponeringsflade er indvendig plane med ventilationskanalens indvendig overflade. I hver af skiverne er der plads til 12 målekopper, figur 5.1. På overskiven ligger kopperne blot i hullerne, mens

de i underskiven er ophængt i en bajonettfatning. Begge eksponeringskiver kan dreje rundt ved hjælp af en el-motor, som er placeret under eksponeringskammeret.



Figur 5.1. Plan tegning af øverste eksponeringskive.

### 5.5 Eksponeringsskivens synkronmotor

En synkronmotor trækker eksponeringsskiverne rundt. På drejeskiven er der tre letløbende messingløbehjul med kugleleje (SKF 6003). Løbehjulene er justerbare med konisk afstandsstykke, der muliggør en udtagning af begge eksponeringskiver. De tre hjul er klemte ud mod en 5 mm dyb styrerille i styreringen.

Styreringen er drejet i rustfrit stål, og den har en indvendig diameter på 518 mm. Den ligger på en rund hylde på kanalens kant og er fastgjort til denne med 16 forsænkede messingskruer.



Figur 5.2. Målekammeret set forfra.

## 6. STYRESYSTEM

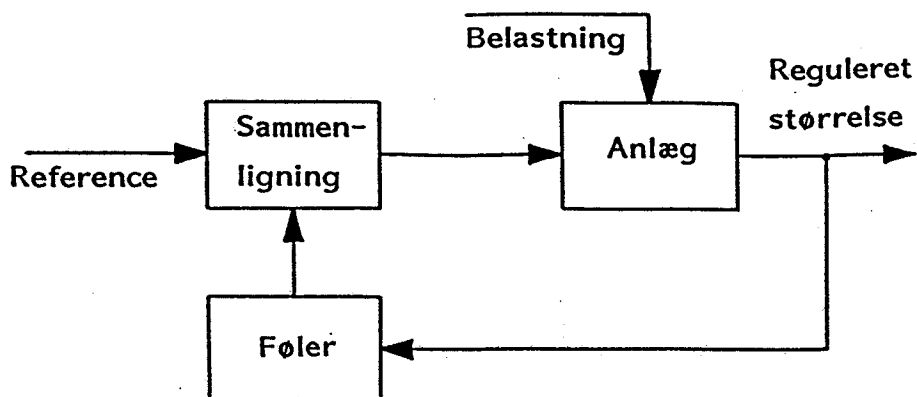
Formålet med styringen er at opnå ønskede tilstandsstørrelser forskellige steder i anlægget. De ønskede tilstandsstørrelser er konstant temperatur i klimarum og i målekammer, konstant relativ fugtighed i målekammer samt konstant lufthastighed ved eksponeringskiven. Til at forestå denne styring er der lavet et styresystem, der består af elementer med indbyrdes relationer, som sætter systemet i stand til at styre sig selv.

I systemet anvendes såvel lukket-sløjfe styresystemer (systemets output indvirker på styringen af systemet) som åben-sløjfe styresystem (systemets output indvirker ikke på styringen af systemet; der finder ingen måling og tilbagekobling sted i output'et).

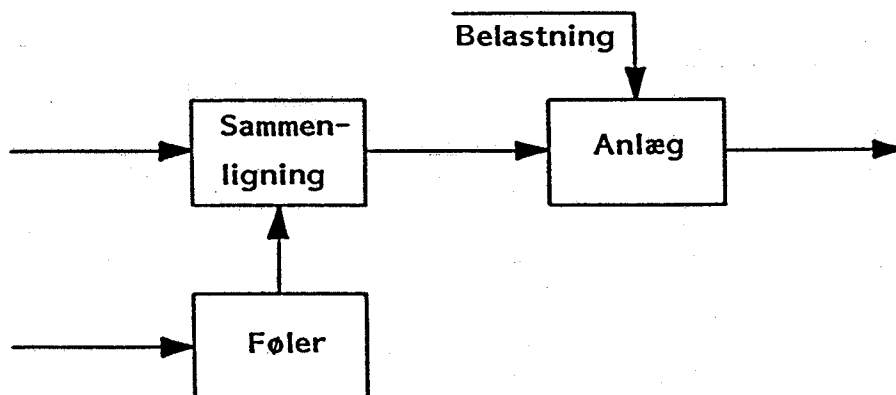
En skematisk fremstilling af de to systemer er gengivet i figur 6.1. Som eksempel på et lukket-sløjfe styresystem kan nævnes styring af rumtemperaturen, hvor en Pt-100 føler måler den aktuelle rumtemperatur. I kontrolenheden sammenlignes den målte temperatur med den



ønskede, og forskellen mellem disse er da den aktiverende styrestørrelse. Som eksempel på åben-sløjfe styresystem nævnes hastighedsregulering af ventilatoren i hovedkanalen.



Lukket-sløjfe styresystem

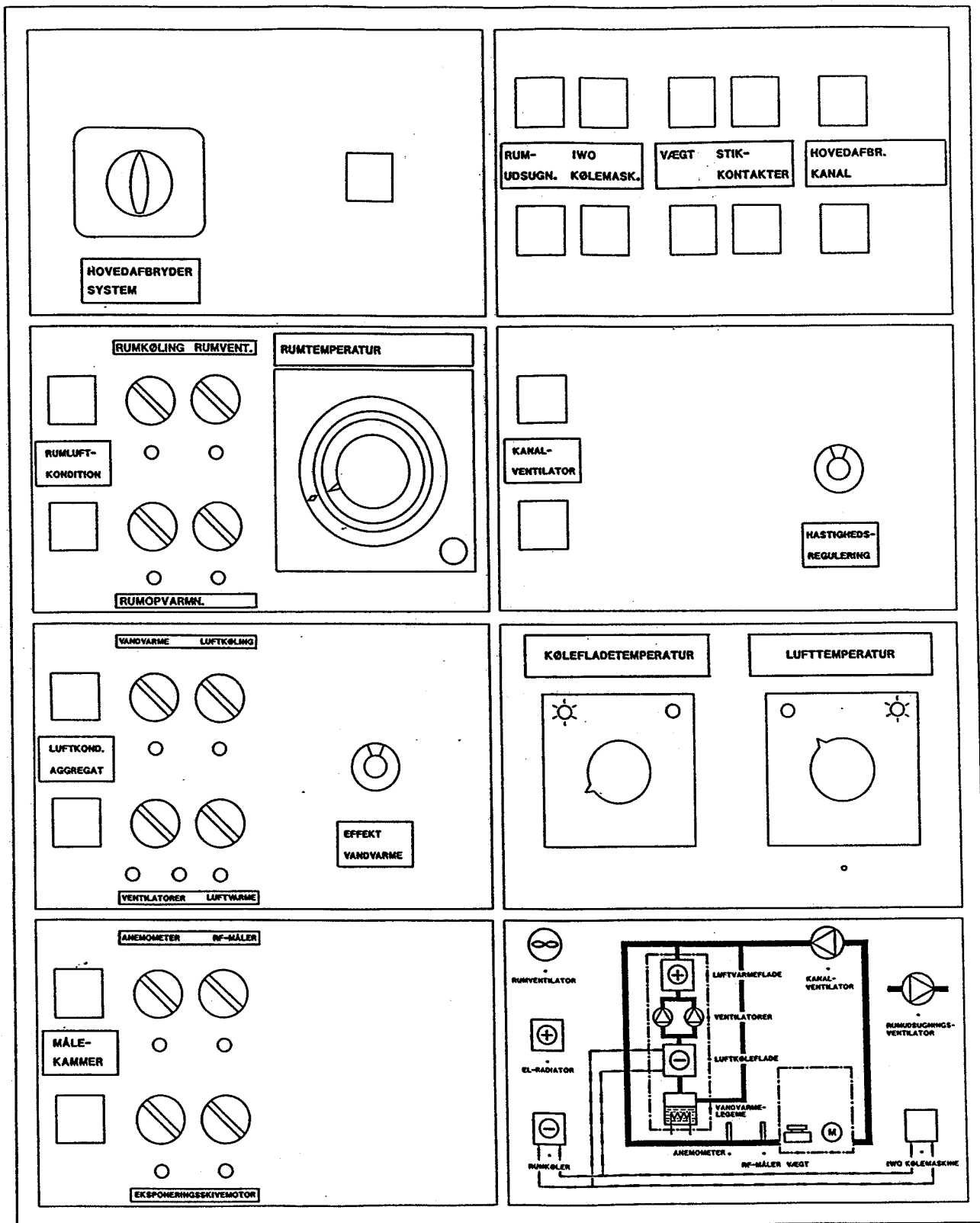


Åben-sløjfe styresystem

Figur 6.1. Principiel udformning af blokdiagrammer for styring.

### 6.1 Beskrivelse af styrepanelet

Alle styringsfunktioner er samlet på et panel, hvorved der opnås en hurtig og sikker betjening af anlægget. Tillige opnås et godt overblik over, hvilke funktioner der er aktiveret, idet de enkelte funktioner er samlet i logiske grupper, hver med sin farve på kontakterne. Frontpanelets udseende fremgår af figur 6.2 og 6.3.



Figur 6.2. Styrepanelet.

For at opnå en høj grad af sikkerhed mod beskadigelse af anlægs-komponenter, er der i vid udstrækning anvendt relæer og sikringer. Endvidere er funktionerne inddelt i grupper, således en gruppe kan afbrydes af et sikkerhedselement, f.eks. en temperaturmåler med afbryder.

Hver gruppe tændes/slukkes ved anvendelse af relæ. Under hver mekanisk kontakt er anbragt en kontrollampe, som indikerer, hvorvidt sikringen til den pågældende komponent er sprunget eller ej. Når lampen lyser, virker sikringen. En beskrivelse af de indgående komponenter sker senere i dette afsnit.

Styrepanelet er inddelt i fire hovedgrupper svarende til, at styrepanelet er vandret inddelt i fire sektioner. Øverste sektion er 1. hovedgruppe, og nederste sektion er 4. hovedgruppe.

### **1. hovedgruppe**

Denne består af en mekanisk hovedafbryder til hele systemet samt relæstyrede afbrydere til rumudsugning, IWO køleenhed, vægt, stik-kontakter på siden af reguleringsskabet samt af en relæstyret afbryder til afbrydelse af hovedgruppe 2, 3 og 4. Alle disse kontakter skal normalt være tændt når forsøgsanlægget skal anvendes.

### **2. hovedgruppe**

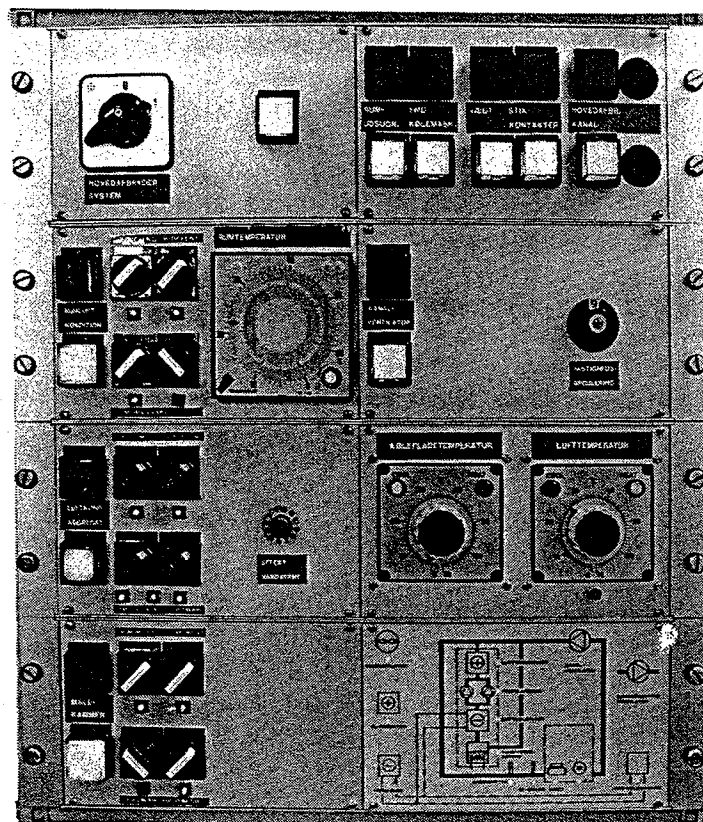
Denne gruppe består af to delgrupper: En til regulering af rumluft-konditionering (rumkøling, rumopvarmning og rumventilation) samt en til regulering af vindhastigheden i kanalen. Sidstnævnte foregår via en frekvensomformer anbragt på væggen i rummet.

### **3. hovedgruppe (luftkonditioneringsaggregat)**

Med denne styres lufttilstandsændringer i luftkonditioneringskanalen, og hermed også i eksponeringskammeret, hvor prøvelegemerne er anbragt. De indgående elementer er vandvarmelegeme, luftkøle- og luftvarmeblade samt 2 ventilatorer.

### **4. hovedgruppe**

Denne gruppe leverer forsyningsspænding til lufthastigheds- og fugtighedsmåler samt til synkronmotoren, som driver eksponeringsskiverne.



Figur 6.3 Styrepanelet set forfra.

## 6.2 Lufthastighedsregulering

Formålet med lufthastighedsreguleringen er at kunne regulere luftens hastighed i området 0-15 m/s ved passage af eksponeringsskiverne og holde konstant lufthastighed. Lufthastighedsreguleringen er et åben-sløjfe styresystem.

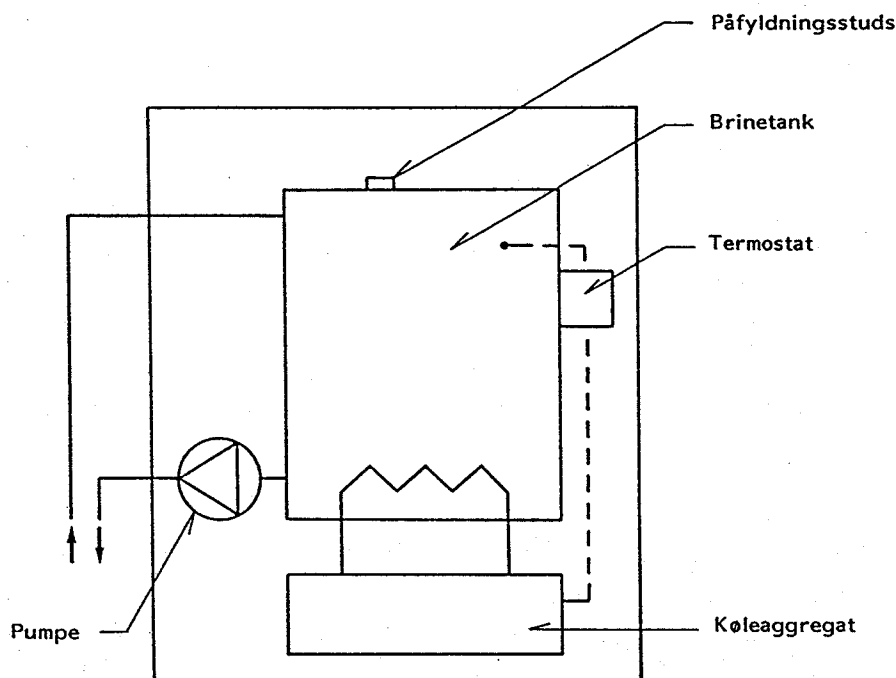
For at opnå en konstant omløbshastighed på ventilatormotoren og hermed en konstant lufthastighed ved eksponeringsskiven anvendes en frekvensomformer til regulering af ventilatorens omløbstal. Den anvendte frekvensomformer er en Wiedergut type TFR 1,5S. Erfaringer fra det tidligere anlæg viser, at en triac ikke kan styre omløbstallet nøjagtigt nok til at holde en konstant lufthastighed over eksponeringsskiverne.

Centrifugalventilatoren er fra firmaet Novenco og er af typen CNA-250/D pos. RD. Motoren er en trefasemotor: -71, 0,37 kW, 1400 omdr./min, 3·380 V, 50 Hz.

## 6.3 IWO-køleenhed

Formålet med IWO-køleenheden er at tilvejebringe kold brine, som anvendes til rumluftkøling samt i luftkølefladen i luftkonditioneringsaggregatet.

IWO-køleenheden består af et køleaggregat, en brinetank, forskellige termostater, pumpe og ventiler til styring samt fordelerslanger for brinen til kølefladerne i rumkølingen og fugtstyringen. Køleaggregatet, brinetank og tilhørende styring er samlet i et 1,2·0,9·0,6 m (h·l·b) kasse på hjul. Aggregatet er placeret uden for forsøgsrummet.



Figur 6.4. Principtegning af IWO-køleenheden.

IWO-køleenheden består af følgende enkeltdele, se figur 6.4: Køleaggregatet er fra firmaet Danfoss (type SC 21 BXT 2). Det har en kølekapacitet på 1585 watt ved en rumtemperatur på 32°C og ved en fordampningstemperatur på 5°C. Ved en fordampningstemperatur på -5°C er kapaciteten 1195 watt.

Brinetanken har et ydre mål på 350·350·400 mm og er isoleret med 50 mm isoleringsmateriale. Tanken kan rumme 42,5 liter brine, der består af en blanding af demineraliseret vand og ethylenglycol (bilkølervæske) i forholdet 2:1. Det giver et frysepunkt på -12°C. I tanken er der placeret en køleflade med tilslutning til køleaggregatet. Øverst på brinetanken er der en åbning til påfyldning af kølevæske. Væskestanden i brinetanken skal være mellem 100 og 140 mm fra påfyldningshullets øverste kant. På trykledningen fra køleaggregatet til brinetanken er der anbragt en pressostat (Danfoss type KP 15), et filter (Danfoss type DC 083), et skueglas (Danfoss type SGI 10) samt en ekspansionsventil (Danfoss type TF2 - 0,5).

På brinetankens forside er placeret en termostat (Danfoss type RT 14). Føleren går gennem brinetankens top ned i kølevæsken.

Fordelerledningen har afgang fra brinetankens forside, hvor en pumpe er placeret. Pumpen er fra firmaet T. Smedegaard A/S, type

Vario-75-5K. Tilgangsledningen indføres i brinetankens top. Fordeleledningerne føres bag forsøgsrummet og til luftkølefladerne i luftkonditioneringsaggregatet til rumkøleenheden.

Det efterses mindst hvert halve, år at kølervæsken i brinetanken er tilstrækkelig (ca. 100-140 mm fra top), og der efterfyldes efter behov. Samtidig udluftes anlægget. Udluftningsventilen sidder bag luftkonditioneringsaggregatet på afgangsledningen fra luftkølefladen.

#### 6.4 Rumluftkøling

Formålet med rumluftkølingen er at tilvejebringe tilgangsluft til rummet med en sådan temperatur, at den ønskede rumtemperatur kan opnås. Den ønskede rumtemperatur opnås ved indledningsvis at køle tilgangsluften og dernæst at opvarme den (se afsnittet om rumopvarmning). Erfaring ved kørsel med anlægget har vist, at en ønsket konstant temperatur bedst opnås ved anvendelse af denne metode.

Enheden til rumluftkøling er placeret langs forsøgsrummets venstre væg under rumopvarmningen. Enheden er fra firmaet SINCO, type SF 200 SX.



Figur 6.5. Rumkøleenhed.

Rumkøleenheden får tilført kølervæske (brine) fra køleenheden gennem fordelingslangerne, der er boret igennem væggen.

Under risten på enhedens top sidder i højre side en afbryder og en reguleringskontakt til ventilator. Normalt skal kontakten for medium

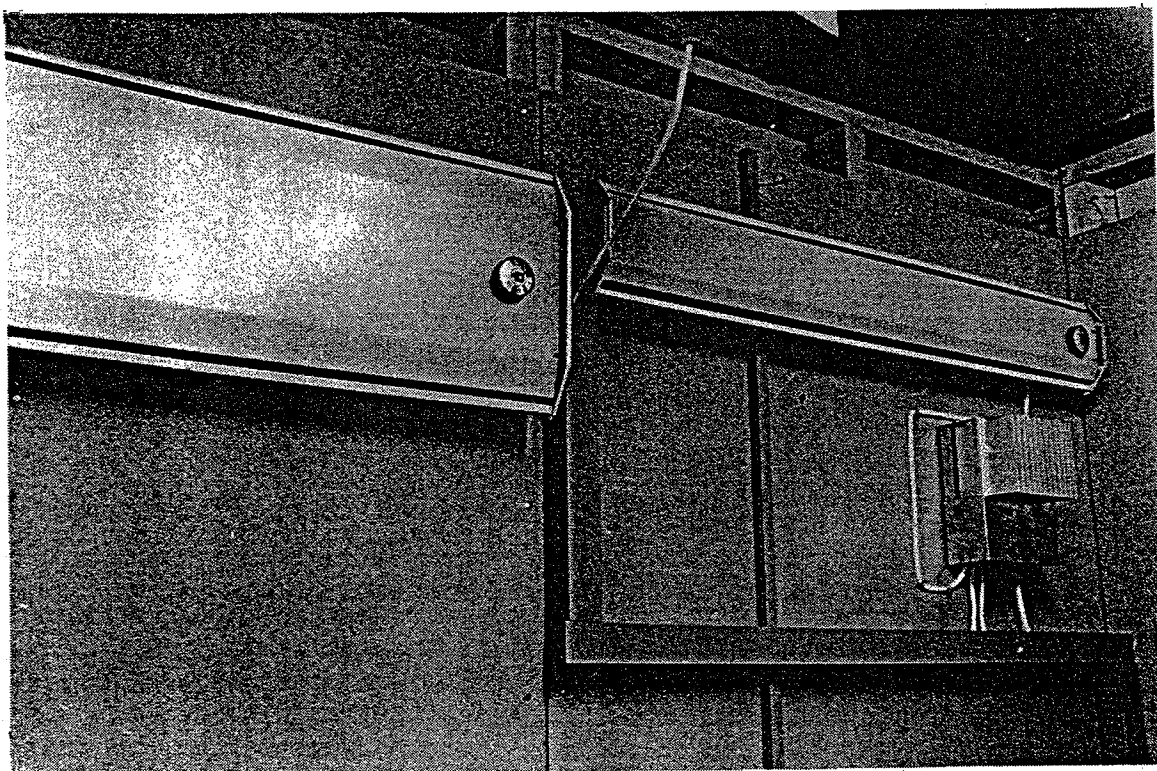
ventilation (M) være trykket ind. I venstre side under risten er reguleringen af kølefladens temperatur placeret. Delstregene angiver fra venstre mod højre følgende kølefladetemperaturer: 25, 24, 23, 22, 21, 20, 19, 18 og 17°C.

Kølefladens temperatur stilles normalt på en værdi, der ligger fra  $\frac{1}{2}$ -2° C under den indstillede rumtemperatur. Den mindste difference anvendes, når luftkølefladen i luftkonditioneringsaggregatet har lave temperaturer.

### 6.5 Rumopvarmning

Formålet med rumopvarmning er at opvarme den nedkølede, friske luft, således at temperaturen i rummet opnår den ønskede værdi.

Rumopvarmningen består af to elradiatorer, en effektregulator, en temperaturføler og en kontrolenhed.



Figur 6.6. Elradiatorer og effektregulator.

Elradiatorerne er fra firmaet Åviken Metall AB, Sverige, type 107-600 W og type 108-900 W. De kan maksimalt yde en effekt på 600 W, henholdsvis 900 W. Som det fremgår af figur 6.6, er radiatorerne placeret ca. 300 mm under loftet på forsøgsrummets venstre endevæg. Radiatorerne er fra fabrikkens side forsynet med termostater, der imidlertid er sat ud af drift ved tilslutning til effektreguleringen.

Effektreguleringen (Honeywell, type R 7393 A) er opsat lige under den højre radiator.

Temperaturføleren (Honeywell, type R 29601) er et Pt-100 element, som er monteret midt på loftet. Temperaturfølerens signal sendes til kontrolenheden.

Kontrolenheden (Honeywell, type Versapak II model 7403 - 1) er placeret i 2. hovedgruppe, venstre halvdel, på styrepanelet. Den ønskede rumtemperatur indstilles på drejeknappen mærket "rumtemperatur", og kontrolenheden vil da styre effektreguleringen, så den indstillede rumtemperatur opnås. Kontrolenheden er med PI-styring (Proportional Integral styring), altså et lukket-sløjfe styresystem. Temperaturskalaen går fra 0-60° C med en mindste inddeling på 1° C.

Ved åbning af styrepanelet kan styringen til rumopvarmning kalibreres. Direct og reverse-knappen stilles på "REV", og proportionalbåndet stilles på laveste værdi, d.v.s. at integralmodulet stilles på "x1".

Udstyret kan ikke indreguleres på anden måde, da effektregulatorens pulsstørrelser er så små, at de under normale forhold indirekte vil styre effektafgivelsen, blot proportional- og integralmodulerne er i laveste stilling.

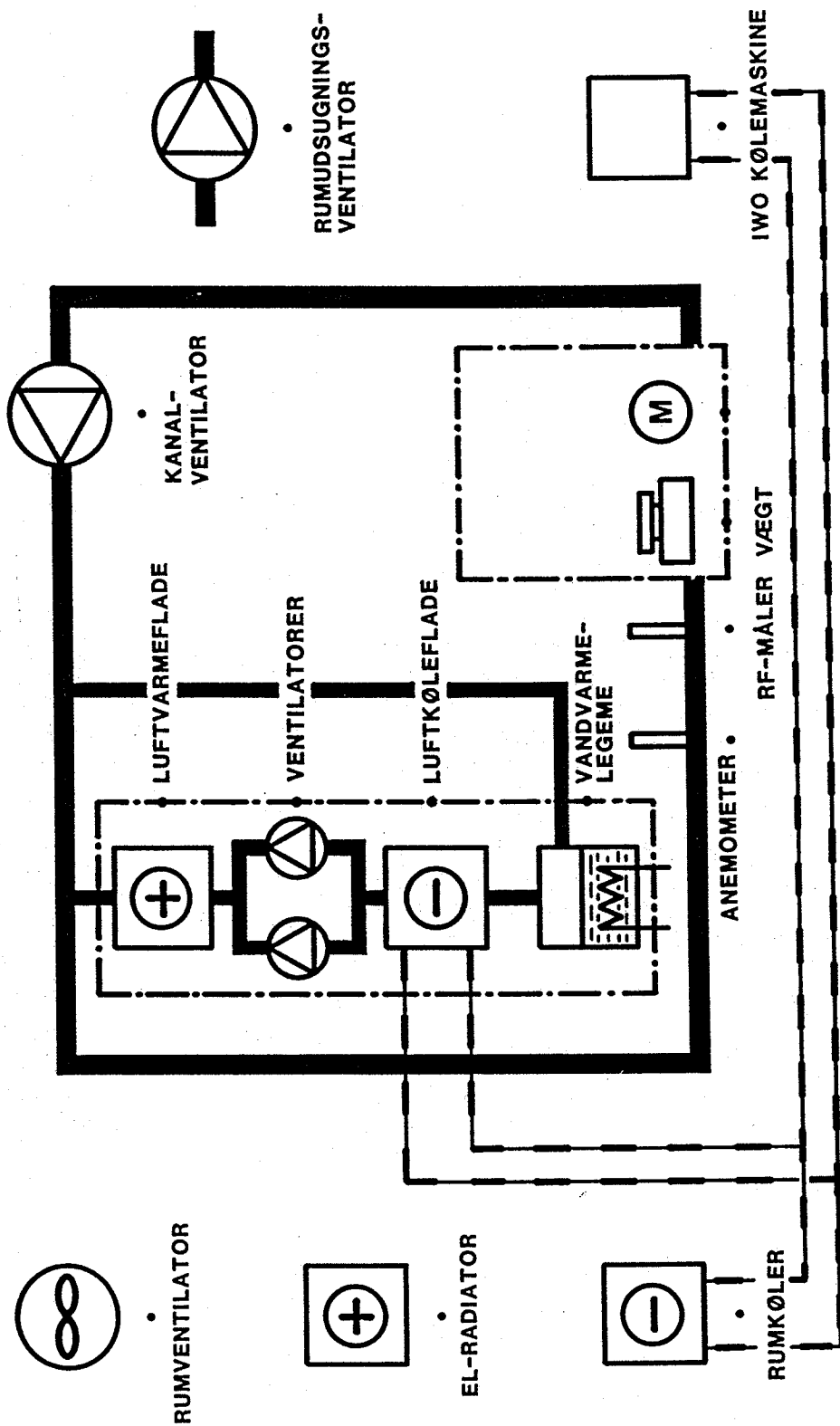
#### 6.6 Luftkonditioneringsaggregat

Formålet med luftkonditioneringsaggregatet er at tilvejebringe luft med den rette temperatur og fugtighed i eksponeringskammeret.

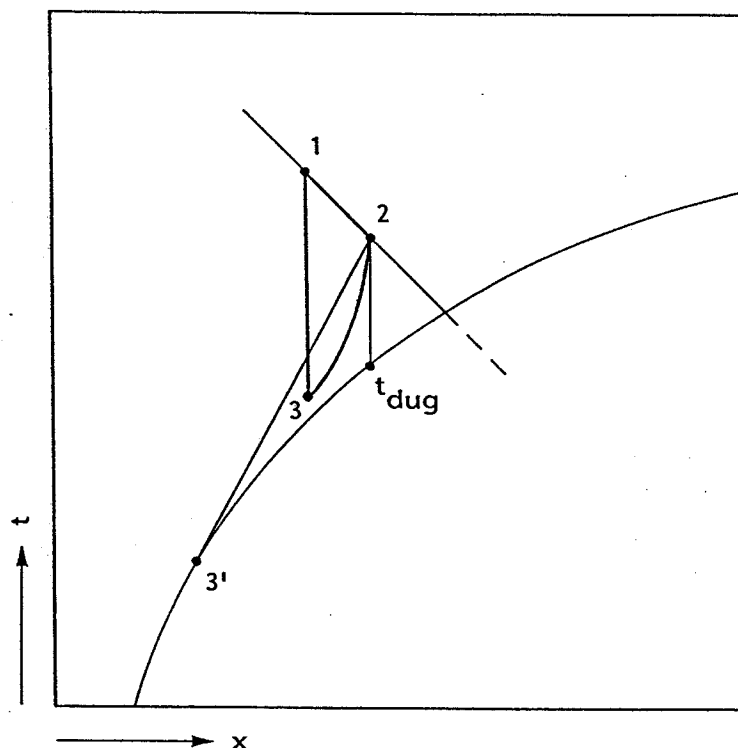
Luftkonditioneringsaggregatet består af en befugter, en køleflade, to ventilatorer og en eftervarmeplade samt styring til de enkelte dele, se figur 6.7. Alle kontakter og reguleringsknapper til enheder i luftkonditioneringsaggregatet er anbragt i styrepanelets 3. hovedgruppe (blå kontakter).

Inden de enkelte komponenter beskrives, gives en kort redegørelse for den anvendte principper ved luftkonditioneringen. Befugtning af luften sker ved bestrygning af vandoverfladen i befugteren, idet luften tilføres vanddamp. Ved luftens passage af kølefladen affugtes den. Hvor meget luften affugtes, afhænger af kølefladens temperatur; jo koldere kølefladen er, desto mere affugtes luften. Til sidst opvarmes luften til den ønskede temperatur af eftervarmepladen. I figur 6.8 er de ovennævnte tilstandsændringer indtegnet i et ix-diagram.





Figur 6.7. Skematisk oversigt over anlægget. Luftkonditionerings-  
aggregatet er indsat på ventilationskanalen.



Figur 6.8. Tilstandsforandringer for fugtig luft i ix-diagram. 1-2 er befugtning uden tilførsel af varme. 2-3 er afkøling, der er vist for det tilfælde, hvor kølefladens middeltemperatur (3') er lavere end luftens dugpunkt. 3-1 er opvarmning.

Luftkonditioneringsaggregatet er koblet på ventilationskanalens øverste del med en suge- og returkanal, der er anbragt over for hinanden. For at undgå "kortslutning" af suge- og returluft, er der indsat en lodret plade i ventilationskanalen.

#### 6.6.1 Befugterkammer

Fra sugekanalen, der er placeret på hovedkanalens bagside, føres luften over til befugteren. Luften bestryger en vandoverflade på 400x700 mm, hvor den tilføres vanddamp. I vandet er neddykket et 100 W varmelegeme, der kan aktiveres, hvis vanddamptilførslen er for langsom. Dette gøres med reguleringsknappen mærket "Effekt, vandvarmelegeme".

Vandstanden i befugterbeholderen kan iagttages gennem et skueglas, som er monteret i beholderens ene endevæg. Her er endvidere mærkning for minimal og maksimal vandstand. I befugterkammerets venstre sideflade er der anbragt en ventil som kan anvendes til såvel vandafledning som vandpåfyldning. For at undgå, at vandet i kammeret rådner, er vandet tilsat 0,5% rodalon, 50% opløsning.



#### 6.6.4 Ventilatorer

Over polystyrenpladen er anbragt to ventilatorer (Multikomponent, produktnummer 7650), som kører med konstant hastighed. Når begge er i drift, giver de en luftstrøm på 70 m<sup>3</sup>/timen.

I forbindelse med ventilatorerne er der anbragt et skueglas i luftkanalvæggen. Ved at betragte de nylonstrimler, som er monteret over ventilatorerne, fås en sikker indikation af, om ventilatorerne fungerer.

#### 6.6.5 Luftvarmeblade

Øverst i luftkonditioneringskanalens lodrette del sidder et elvarmelegeme (Svend A. Nielsen, produktnummer DV 1300/5), som opvarmer luften til den ønskede temperatur. Varmelegemets maksimale effekt er 1000 W. Et Pt-100 termoelement er placeret oven over varmelegemet, og signalet fra Pt-100 føleren sendes til styreenheden, hvis reguleringsknap er benævnt "lufttemperatur". På denne knap indstilles den ønskede lufttemperatur.

Styring af lufttemperaturen ved afgang fra luftkonditioneringsaggregatet er således et lukket-sløjfe styresystem.

I tilslutningskanalen til hovedkanalen er anbragt en overhedningssikring, som afbryder for strømmen til varmelegemet, hvis lufttemperaturen bliver for høj, se afsnit 6.7.

Returkanalen er fastgjort til ventilationskanalens forside over for sugekanalen.

#### 6.6.6 Fugt- og temperaturstyring

Styring af komponenterne i luftkonditioneringsaggregatet er anbragt i 3. hovedgruppe på styrepanelet. Helt til venstre er relæ og kontakter med kontrollamper anbragt.

Herefter følger regulatoren til variotransformereren for vandvarmelegemet i befugterkammeret. Denne er benævnt "Effekt, vandvarme". Skalaen går fra 0-12 med en mindste inddeling på 1, svarende til en effekt på 8,5 W.

Temperaturstyring til kølefladen er mærket "kølefladetemperatur", mens temperaturstyringen til eftervarmelegemet er mærket "lufttemperatur". Skalaerne for de to styringer går fra 0-70 °C med en mindste inddeling på 1°C.

Hver af de to enheder er forsynet med en grøn og rød lysindikator.

På enheden til styring af kølefladetemperaturen indikerer en lysende grøn lampe, at der er behov for køling, og kølefladen tilføres kold brine, idet magnetventilen er åben. Den røde lampe har ingen funktion.

På enheden til styring af lufttemperaturen har den grønne lampe ingen funktion. En lysende rød lampe indikerer, at luften skal opvarmes, og der tilføres varme fra elvarmelegemet.

### 6.6.7. Indregulering

Styringen for luftkøleflade og luftvarmefflade er indreguleret af Elektronikcentralen og bør ikke ændres uden deres medvirken.

Da føleren til luftkølefladen til stadighed er dækket af vand og der samtidig passerer en kraftig luftstrøm hen over den, kan føleren blive underafkølet.

### 6.6.8 Vedligeholdelse

Brinesystemet kontrolleres for luft ved engang imellem at løsne den sorte skrue på udluftningsventilen. Udluftningsventilen er den guldbronzefarvede enhed med en sort ventil, og den er anbragt ved siden af magnetventilen.

Vandstanden i befugterkammeret efterfyldes med demineraliseret vand, hvis vandstanden er mindre end 10 mm fra skueglassets overkant. Påfyldningen kan ske gennem ventilen anbragt på befugterkammerets venstre sideflade eller gennem tragten placeret bag ved luftkonditioneringsaggregatet. Det demineraliserede vand skal tilsættes 0,5% af en 50% Rodalonopløsning for at undgå, at vandet rådner (5 cm<sup>3</sup> Rodanolopløsning pr. liter vand).

Kølefladen renses eller afises, hvis det er nødvendigt.

## 6.7 Overhedningssikring

Formålet med overhedningssikringen er at forhindre anlægget i at lide skade, hvis styringen af varmelegemet til luftopvarmning i luftkonditioneringsaggregatet svigter.

Overhedningssikringen er en termostat fra firmaet Danfoss (type RT 101). Hvis temperaturen ved føleretlementet, som er anbragt i returkanalen fra luftkonditioneringsaggregatet, overstiger den værdi, som er indstillet på termostaten, afbrydes strømmen til luftvarmelegemerne. Når temperaturen i returkanalen er faldet til et tilladt niveau, sluttes strømmen atter.

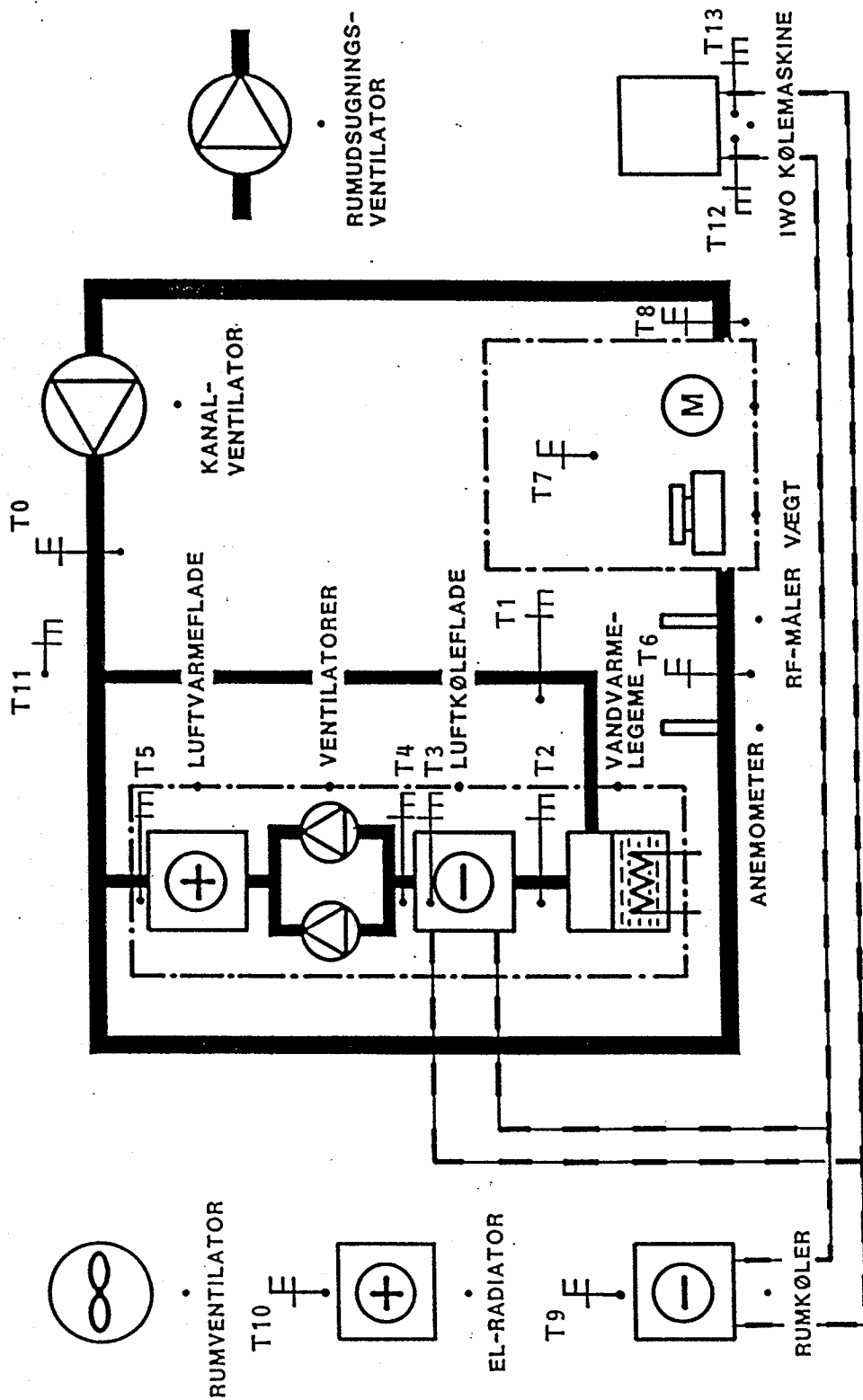
Termostaten indstilles 5°C over den ønskede kanaltemperatur.

## 7. MÅLING OG REGISTRERING

Måle- og registreringsudstyret består af følgende delelementer:

- 14 temperaturmålere ved Cu-CuNi termotråd
- fugtighedsmåler af mærket Rotronic Hygroskop HTS-DMS 100 HT3 som måler relativ luftfugtighed (Rotronic temperaturmålingen anvendes ikke)
- vindhastighedsmåler af termisk anemometer typen fra firmaet Wilh. Lambrecht KG, produktbetegnelse 641 bN,
- en PC, type IBM PC/XT med et Metrabyte EXP-16 multiplexerkort, temperaturregistreringskort og et 8 kanals analogt/digitalt indstikningskort fra Data Translation
- en vægt af typen Sartorius, type Excellence 1200 S

På figur 7.1 er de enkelte målepunkters placering angivet.



Figur 7.1. De enkelte målepunkters placering.

### 7.1 Temperaturmåling

Temperaturmåling foretages med Pt-100 modstandselementer og Cu-CuNi (kobber-konstantan) termotråd (termotråd type T).

Anvendelse af termotråd er en effektiv måde at måle temperaturer på forskellige steder i et forsøgsanlæg; specielt når de via temperaturregistreringskort kan forbindes til en computer.

Alle termoelementer er nummererede, både ved loddestedet og ved den anden ende, hvor de er påmonteret temperaturregistreringskortet. Der er tilstræbt konsistens i nummereringen ved, at målestedsnummer, termotrådsnummer, kanalnummer på temperaturregistreringskortet og variabelnavn i dataopsamlingsprogrammet har samme nummer.

Termotråd type T passer godt til det temperaturområde, hvori der skal måles. For at registrere den korrekte temperatur, placeres termotråden således, at loddestedet og de sidste 15 cm af termotråden udsættes for den temperatur, der skal måles. Hvis dette ikke gøres, risikeres, at varmeledning gennem termotråden til loddestedet vil give en anden temperatur end den, der ønskes målt.

### 7.2 Fugtighedsmåling

Fugtighedsmåleren er en Rotronic-Hygroskop af typen HTS-DMS 100 HT3, der måler relativ fugtighed. Firmaet opgiver, at fugtigheden måles med en nøjagtighed på  $\pm 2\%$  RH.

Instrumentet består af en føler med tilslutningsledning og en kontrolboks, samt en kalibreringsenhed. Føleren placeres i ventilationskanalen før målekammeret i det bagerste hul, og føleren tilsluttes kontrolboksen, der er placeret på væggen under målekammeret.

Kontrolboksens udgang for fugtighedsmåling forbindes til A/D 2805-kortet, således at "U" tilsluttes "Hi" og "O" tilsluttes "Lo". Udgangssignalet fra fugtighedsmåleren er en lineær spænding fra 0 - +1V, hvor 0 V svarer til 0% RH, og + 1 V svarer til 100% RH. Omregningen til relativ fugtighed sker i dataopsamlingsprogrammet. De to "O" terminaler forbindes til GROUND på A/D 2805-kortet.

### 7.3 Vindhastighedsmåling

Vindhastighedsmåleren er et termisk anemometer fra firmaet Wilh. Lambrecht KG type 641 bN.

Et termisk anemometer virker ved den afkølede effekt, luften har, når den bevæger sig hen over et opvarmet legeme. En opvarmbar modstand er indbygget i en Wheatstones bro, og den er placeret i sondens spids. Strømmer luften ikke hen over sonden, har den en temperatur på ca. 200° C og diagonalstrømmen over broen er nul. Når luften derimod strømmer hen over sonden, vil temperaturen falde i den opvarmede modstand, og det vil på grund af en modstandsændring i broen resultere i en målbar diagonalstrøm.

Anemometeret består af en målesonde med en seksledet tilslutningsledning samt et måleapparat med tilslutningsledning til 220 V og en udgang for jævnspænding.

Firmaet opgiver, at udstyrets fejlgrænser for måleområde 1 (0-15 m/s) for lufthastigheder under 6 m/s er  $\pm 2 \%$  af skalaværdi og  $\pm 10\%$  i andre områder.

#### 7.4 Registrering

Dataopsamling finder sted ved anvendelse af en PC, som er forsynet med et analogt/digitalt kort (A/D-kort), hvortil signaler fra målesonder (vægt, termoelementer, fugtighedsmåler mv.) sendes. For at kunne anvende en PC'er til dataopsamling, skal der udføres et dataopsamlingsprogram. Til dette formål er pascalprogrammet KOPLOG skrevet. Anvendelsen af dette program er beskrevet i rapporten "Anvendelse af KOPLOG. Dataopsamlingsprogram til kopudstyr" /1/.

Som I/O kort (in/out kort) anvendes type DT2805 fra Data Translation. Dette er et A/D kort (analog/digital kort) med en 12 bits opløsning som har 8 differentielle indgangskanaler (8DI). Kortet har en indbygget forstærker med op til 500 gange forstærkning af indgangssignalet. A/D-kortet monteres i PC'eren i en af de ledige porte, idet kortet kan anvendes i IBM XT, AT og kompatible. 2805 kortet kan, via PC'eren, programmeres i såvel BASIC som PASCAL, hvorved der kan foretages A/D konvertering, D/A konvertering samt styring af ind- og udgangsporte. Ud over de analoge indgange har kortet 2 A/D udgange og 16 digitale I/O linier. Disse kan eventuelt anvendes, hvis PC'eren skal benyttes til styring af anlægget.

For at kunne registrere den svage spænding, som fremkommer ved anvendelsen af termoelementer (for type T's vedkommende ca. 0,039 mV/grad), anvendes et analogt/digitalt multiplexer kort type EXP-16 fra MetraByte. Dette kort har 16 differentielle input kanaler, Cold Junction Compensation for termoelementer (CJC), indbygget forstærkning (0,5-1000 gange) samt multiplexer funktion. De 16 differentielle indgangssignaler samles herved til netop et differentielt udgangssignal, hvorved signaler fra EXP-16 kortet kun optager en differentiell indgang i DT2805 kortet. Se også bilag 1: Anvendelse af AD kort og EXP kort.

#### 7.5 Vægt

Formålet med vejningen er præcist at bestemme prøvelegemernes masse. En præcis massebestemmelse er helt essentiel ved forsøg med kopudstyr, og der skal udvises stor omhyggelighed i forbindelse med vejningen.

Vægten er en elektronisk analysevægt af mærket Sartorius, type EXCELLENCE 1200 S, som er i stand til at veje op til 1200 g med en præcision på 0,001 g.

Vægten skal være tændt hele tiden for at undgå kondenserende vanddamp inde i vægten. For yderligere at reducere risikoen for ødelæggelse på grund af fugtig luft er der ekstraordinært monteret to poser med silikagel inde i vægten (se nærmere under "Vedligeholdelse"). For yderligere at sikre vægten mod beskadigelse fra kondenseret vanddamp er alle vægtens vitale dele blevet lakeret en ekstra gang hos leverandøren.



Vægten har digital visning og desuden en seriel udgang, som kan anvendes til at overføre vejeresultatet til et program i en PC'er via PC'erenes serielle indgang (RS 232C).

### 7.5.1 Afprøvning af vægten

En præcis massebestemmelse er meget vigtig, og inden hver vejeserie skal vægten derfor kontrolleres. Det gøres på følgende måde, idet er gås ud fra, at vægten er i STANDBY mode. Det vil sige, at det elektroniske kredsløb bliver forsynet med strøm, og vægten kan da veje umiddelbart efter ON/OFF knappen aktiveres. Ellers skal vægten varme op i mindst 30 minutter. Når vægten er i STANDBY mode, står teksten "STANDBY" skrevet på vægtens display.

- Kontroller, at vægtens libelle spiller (d.v.s. at vægten står vandret). Hvis den ikke gør det, justeres vægten ved hjælp af niveauskruerne (vægtens "bageste" ben).
- Åbn arbejdhullerne i acrylfrontpladen.
- Tryk på ON/OFF knappen til venstre på vægtens frontpanel. Vægten foretager nu en test, og hvis display'et viser "0.000 g", er testproceduren gennemført, uden at der er konstateret fejl.
- Placer prøveloddet på 500.000 g på vægten.
- Når vægten er i ligevægt, skal display'et vise 500.000 g. Hvis afvigelsen er større end 0.001 g, skal vægten kalibreres. Dette beskrives i næste afsnit.

### 7.5.2 Kalibrering

Vægten kan enten kalibreres ved "intern kalibrering" eller ved "ekstern kalibrering". Kontroller i begge tilfælde først, at vægten står vandret.

#### Intern kalibrering

- vægten skal være ubelastet
- tryk på "T" (tara-knappen, den lange røde knap på vægtens frontpanel
- når display'et viser 0.000 g, tryk på "CAL" (kalibreringsknappen). Display'et viser nu "C". Hvis det viser "CE", tarer igen, og tryk på "CAL"
- efter nogle sekunder viser vægten "CC" og dernæst 0.000 g
- Et akustisk signal indikerer, at den interne kalibreringsprocedure er afsluttet

#### Ekstern kalibrering

Det er kun muligt at foretage ekstern kalibrering med et kalibreringslod med massen 1000.000 g. Et sådant lod forefindes ikke på Laboratoriet.

### 7.5.3 Vejning

Inden vejning skal vægten være afprøvet.

Ved vejning kan prøvelegemets masse aflæses på vægtens display og manuelt noteres i logbog for forsøget. Det er også muligt at opsamle

vejerresultaterne på PC; det kan ske ved anvendelse af dataopsamlingsprogrammet KOPLOG /1/.

Proceduren ved vejning er som følger.

- Hvis vejerresultatet skal gemmes ved hjælp af programmet KOPLOG, kaldes vejeproceduren ved tast på funktionstast F1. Det forudsættes, at programmet KOPLOG køres, og at dataopsamlingsmenuen er fremme, se afsnit 2.3 i /1/.
- Stands eksponeringsskivemotoren (eksponeringsskiven drejes ved tænd og sluk af motoren under vejningen).
- Åbn arbejdshullerne i acrylfrontpladen.
- Udtag en kop fra eksponeringsskiven og placer forsigtigt koppen på vægten.
- Ved manuel vejning, noter vejerresultatet og fortsæt med næste kop.
- Ved anvendelse af KOPLOG, følg anvisningen, som gives, når vejeproceduren kaldes.

Når massen for den sidste kop er bestemt,

- Tryk på ON/OFF knappen på vægten (vægten vil komme i STANDBY mode)
- Luk arbejdshullerne i acrylfrontpladen
- Tænd for eksponeringsskivemotorer

#### 7.5.4 Vedligeholdelse

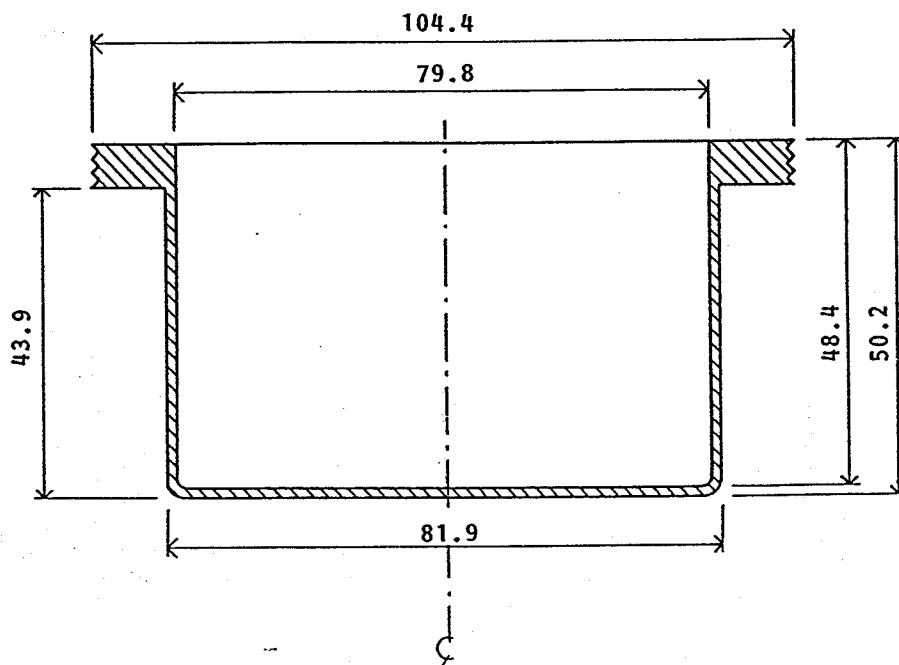
Vægten skal til stadighed være omhyggelig rengjort.

Med mellemrum skal de i vægten monterede silikagelposer udtages og tørres og dernæst genindsættes.

Når vægten er adskilt, skal der udvises påpasselighed med ikke at røre bagsiden af glaspladen, som dækker display'et. Denne glasplade er coated, og berøring vil ødelægge denne coating, som bl.a. skal forhindre genskin.

## 8. MÅLEKOPPER

Til udstyret hører ialt 64 ens kopskåle og 55 stk. 40 mm styr. Endvidere er der gummipakninger og hjælpeværktøjer.



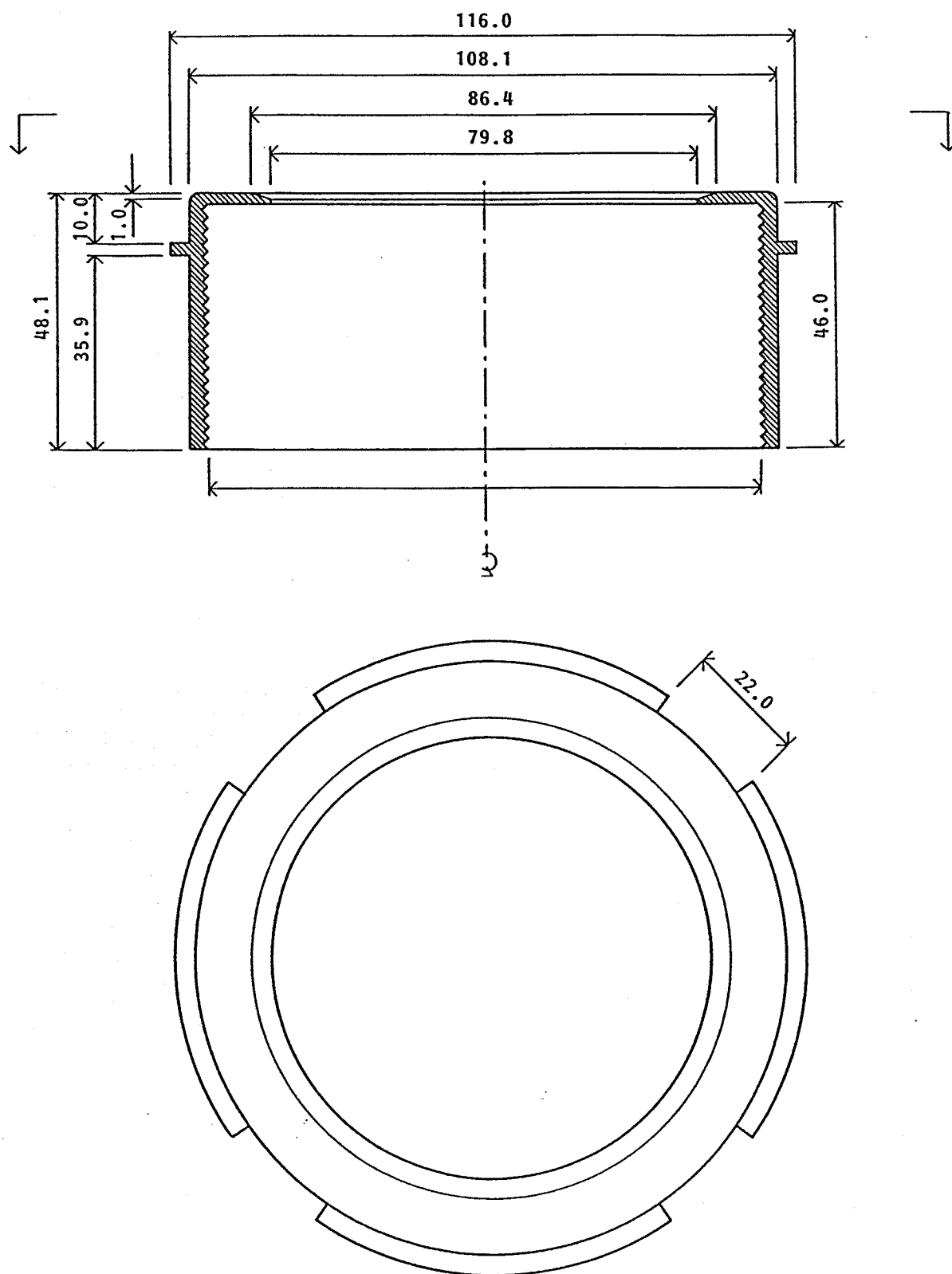
Figur 8.1. Kopskål.

### 8.1 Kopskåle

Kopskålen består af en 50 mm høj aluminiumsskål med en diameter på 82 mm. Ringen, der bruges som anlægsflade for prøven, er 6 mm tyk, med en indvendig diameter på 79,8 mm og en udvendig diameter på 104 mm. Udvendig er den forsynet med et gevind med 1,8 mm stigning. Kopskålen vejer ca. 106 gram.

### 8.2 Prøvestyr

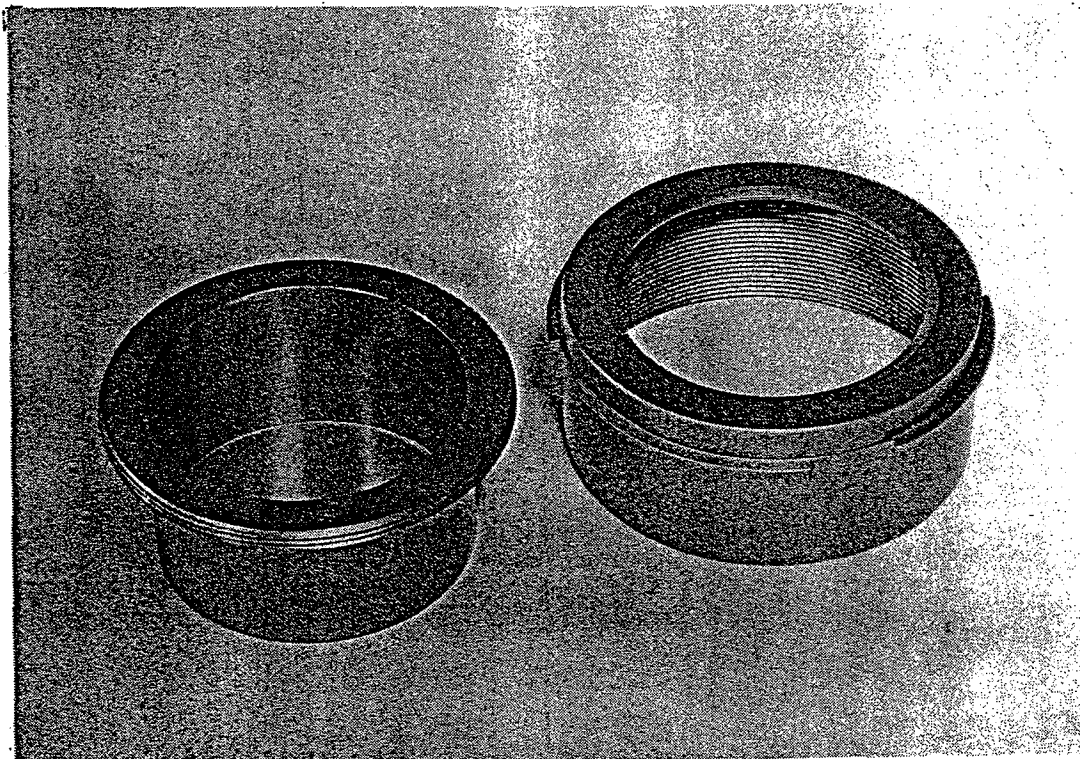
Prøvestyret er drejet i aluminium med en godstykkelse på omkring 2 mm. Øverst har den et modhold for prøven af samme art som anlægsfladen på kopskålen. Den har en indvendig diameter på 79,8 mm og dermed et indvendig lysningsareal på 5000 mm<sup>2</sup>. Som det ses på figur 8.2, er den indvendige kant kraftigt affræset. Det er gjort for at formindske lævirkningen fra prøvestyret ind over prøven.



Figur 8.2. Prøvestyr.

På prøvestyrets yderside er der en anlægsflade med 4 affasede udskæringer. Anlægsfladen holder koppens overflade på plads på eksponeringsskiven, således at koppens overside er plan med ventilationskanalens overflade.

Anlægsfladen og de 4 udskæringer muliggør en ophængning af målekopper i den underste eksponeringsskive i en bajonetfatning. Såvel kopskåle som prøvestyr er guld-eloxerede med en eloxeringstykkelse på 25  $\mu\text{m}$ . Prøvestyret har en masse på ca. 115 gram.



Figur 8.3. Kopskål og styr.

### 8.3 Pakningsringe

Pakningsringene er fremstillet af butylgummi (65 Shore A). Hvor det pladmæssigt er muligt, bør den tykke ring anvendes, idet det giver den bedste pakning. Ud over pakningsringen er der fremstillet nogle "spændskiver" af plastik. Disse anvendes for lettere at kunne tilspænde prøvestyr og kop. Spændskiverne placeres mod styret for at mindske friktionen under tilspændingen.

### 8.4 Sorptionsmiddel

Magnesiumperchlorat ( $\text{Mg}(\text{ClO}_4)_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ ), der har en vandkapacitet på 40-60% af tørvægten og er i ligevægt med en luftfugtighed på under 5  $\text{mg}/\text{m}^3$ , anvendes som sorptionsmiddel. Magnesiumperchloraten udtørres i ovn ved 150° C under vakuum.

## 9. INDSTILLING

I tabel 9.1 er angivet indstillede værdier for at opnå fire forskellige RF-værdier fra 35% RF til 90% RF.

Tabel 9.1 Indstilling af kopudstyr

| Dato                             | 30.09.88 | 10.03.89 | 14.03.89 | 14.02.89 |
|----------------------------------|----------|----------|----------|----------|
|                                  | 11:45    | 13:21    | 8:56     | 16:31    |
| <u>Indstillede værdier</u>       |          |          |          |          |
| Kølefladetemperatur              | 0        | 11.0     | 18.6     | 22.5     |
| Lufttemperatur                   | 23.0     | 25.0     | 25.0     | 23.5     |
| Effekt, vandvarme                | 11.0     | 11.0     | 11.0     | 11.0     |
| Rumtemperatur                    | 21.0     | 21.0     | 21.0     | 21.0     |
| Hastighedsregulering, luft       | 7.0      | 7.0      | 7.0      | 7.0      |
| Indst.<br>Rumkøler               | max cool | max cool | max cool | max cool |
| L-M-H                            | M        | M        | M        | H        |
| IWO, Danfoss, temperatur         | 5.0      | 5.0      | 5.0      | 5.0      |
| <u>Målte værdier</u>             |          |          |          |          |
| v-luft                           | 3.2      | 3.2      | 3.2      | 3.3      |
| T <sub>cjc</sub>                 | 22.2     | 21.1     | 20.8     | 20.9     |
| T <sub>eft.befugt. (T2)</sub>    | 11.0     | 14.7     | 19.1     | 21.2     |
| T <sub>køleflade (T3)</sub>      | 8.3      | 12.8     | 18.0     | 20.7     |
| T <sub>luft,kølet (T4)</sub>     | 15.4     | 18.7     | 21.7     | 22.6     |
| T <sub>luft,varmet (T5)</sub>    | 23.0     | 24.7     | 24.7     | 23.2     |
| T <sub>kammer (T6+T7+T8)/3</sub> | 22.6     | 23.1     | 23.2     | 22.6     |
| T <sub>friskluft (T9)</sub>      | 15.9     | 13.6     | 14.5     | 15.1     |
| T <sub>rum (T11)</sub>           | 22.1     | 21.8     | 21.4     | 21.4     |
| IWO, brine, temperatur           | 8.0      | 8.0      | 8.0      | 7.5      |
| RF (%)                           | 37.6     | 50.1     | 70.8     | 88.8     |

Note: Tabel 9.1 er revideret 14.03.1989 efter indsættelse af ny rumkøler.

## LITTERATUR

- /1/ West, Gert Pl. og Hansen, Kurt Kielsgaard: Anvendelse af KOPLOG. Dataopsamlingsprogram til kopudstyr. Laboratoriet for Bygningsmaterialer, Danmarks Tekniske Højskole, Teknisk Rapport 180/88, 1988.
- /2/ Bertelsen, N.H.: Litteraturstudie over målemetoder og modeller for fugttransport i træ. Teknisk Rapport 112/82, Laboratoriet for Bygningsmaterialer, DTH, 1982.
- /3/ Bertelsen, Niels Haldor: Diffusionsmåling med kopmetoden på rødgran. Teknisk Rapport 129/83, Laboratoriet for Bygningsmaterialer, DTH, 1984.
- /4/ Bertelsen, Niels Haldor: Beskrivelse af udstyr til måling af fugttransport. Teknisk Rapport 107/82, Laboratoriet for Bygningsmaterialer, DTH, 1982.

## BILAG 1: Anvendelse af ADkort og EXPkort

Årsagen til, at der om dette emne gives en mere udførlig beskrivelse end ved andre emner, er den, at der har været store vanskeligheder med måling af temperaturen, primært på grund af vanskeligheder med EXP16-kortet.

### Generelt

Det har vist sig, at EXP16-kortet er meget følsomt over for omgivelsernes temperatur. Det er vigtigt, at HELE kortet har samme temperatur, idet temperaturkompenseringen ellers ikke fungerer efter hensigten. Kortet bør derfor anbringes i kabinettet ved alle målinger og bør ikke udsættes for ensidig varmepåvirkning.

### Temperaturmåling

Den analoge spænding fra termoelementet måles med EXP16-kortet. På kortet forstærkes signalet med værdien af GAIN, (i programmet kaldet GAIN\_EXP16). Værdien af Gain indstilles på EXP16-kortet med dip-switches. Den analoge spænding, der sendes til DT2805 kortet har således værdien  $U_{\text{termoelement}} * \text{Gain\_EXP16}$ .

I forbindelse med målingen af den analoge spænding fra EXP16-kortet kan DT2805-kortet forstærke det indkomne signal. Ved måling af spænding fra termoelementer er det valgt at forstærke signalet 10 gange på 2805-kortet. Denne forstærkning sker software-mæssigt. (I programmet kaldes forstærkningen Gain\_ch0, termospænding læses ind på kanal 0).

### Om valg af forstærkning

Her gengives kort, hvilke kriterier som har været anvendt for valget af forstærkning på såvel EXP16-kortet og DT2805-kortet.

Udgangspunktet er den maksimalt tilladelige indgangsspænding,  $U_{\text{max,DT2805}}$ , på DT2805-kortet, som er  $\pm 10$  V. Hele dette span ønskes udnyttet. For at beregne den ønskede forstærkning i de enkelte led kan følgende udtryk anvendes:

$$(a1.1) U_{\text{max,DT2805}} = U_{\text{termotråd}} * \text{Gain\_EXP16} * \text{Gain\_ch0}$$

|                                 |                                   |
|---------------------------------|-----------------------------------|
| $U_{\text{max,DT2805}}$         | : $\pm 10$ V                      |
| $U_{\text{termotråd}}$ , type T | : $40 \mu\text{V}/^\circ\text{C}$ |
| Gain_EXP16                      | : 0.5 - 1000                      |
| Gain_ch0                        | : 1 - 100                         |

En anden binding er, at (a1.2) skal være opfyldt (jvf. manual DT-2805, A-6).

$$(a1.2) \text{PFS} * \text{Gain\_ch0} = 10.$$



Termotrådene (Type T, Cu-CuNi, Kobber-konstantan) afgiver en spænding på ca. 40  $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$ .

Inden beregningerne påbegyndes, er det vigtigt at bemærke, at EXP16-kortet har nulpunkt ved 25°C. Et ønske om at måle i intervallet 0-50°C betyder således, at der skal måles 25°C på hver side af nulpunktet. Herved fås spænding fra termotråden:

$$U_{\text{termotråd, } 25^\circ\text{C}} = 40 \mu\text{V}/^\circ\text{C} * 25 \text{ }^\circ\text{C} = 1000 \mu\text{V} = 1\text{mV}.$$

Dette signal forstærkes med den valgte forstærkning på EXP16-kortet, Gain\_EXP16. Ved at vælge Gain\_EXP16 = 1000 fås, at spændingen til DT2805-kortet er 1000 mV. Ved at forstærke denne værdi med Gain\_ch0 = 10 opnås, at indgangssignalet til DT2805-kortet netop bliver maksimalt 10 V (idet det forudsættes, at temperaturerne er i det ovenfor nævnte interval).

Forskellige kombinationer mellem Gain\_EXP16 og Gain\_ch0 (og PFS !) kan anvendes, men den her viste giver et acceptabelt resultat uden for megen indflydelse af støj mv.

#### Omregning fra bit til spænding

DT2805-kortet er et A/D kort (analog/digitalt kort), som omsætter en analog spænding til en digital værdi. Denne digitale værdi omsættes senere i et program til en analog spænding, som atter omregnes til en fysisk enhed. Omregning fra digital værdi til analog værdi foregår ved anvendelse af udtrykket (a1.3):

$$(a1.3) \quad U_{\text{analog}} = (\text{Bitværdi} * (\text{PFS} - \text{MFS})/\text{NOC}) + \text{MFS}$$

|                       |                  |
|-----------------------|------------------|
| $U_{\text{analog}}$ : | angives i volt   |
| Bitværdi:             | 0-4095           |
| PFS_ch0:              | Plus Full Scale  |
| MFS_ch0:              | Minus Full Scale |
| NOC:                  | Number Of Codes  |

Denne omregning tager hensyn til den på 2805-kortet valgte forstærkning. Når ovenstående udtryk anvendes i forbindelse med omsætning af spænding fra termoelementer (som måles ved hjælp af EXP16-kortet), skal det ihukommes, at der ikke er taget hensyn til den forstærkning, som har fundet sted på EXP16-kortet.

Den herved fundne spænding kan nu omsættes til en fysisk størrelse (temperatur, vindhastighed mv.) ved hjælp af et passende kalibreringsudtryk.

Omregning af spænding fra termoelementer til temperatur.

Omregningen af den via DT2805 og EXP16-kortet fundne spænding finder sted ved anvendelse af (a1.4). Dette udtryk er angivet i det BASIC-program, som leveres på diskette sammen med EXP16-kortet (programmet T.BAS).

$$(a1.4) \quad VT = 1000 * U_{analog} + 0.992 + (TempCJC - 25) * 0.0409836$$

VT: "Nulpunkts"-korrigeret spænding fra termoelementet (angives i millivolt).

$U_{analog}$ : Spænding fra termoelementet målt på hver enkelt kanal med EXP16-kortet. Der multipliceres med 1000 for at angive værdien i millivolt.

TempCJC: Cold Junction Compensation Temperatur fra EXP16-kortet (°C).  
1000:

0.992: Afgiven spænding fra termotråd type T ved 25°C (0.0397 millivolt/°C \* 25°C) (Sådan cirka!!!)

0.0409836: Afgiven spænding fra termoelement pr. °C. Med leddet (TempCJC-25)\*0.0409836 udtrykkes således den spænding fra termoelementet, som afvigelsen fra 25°C ("nulpunktet") er årsag til.

VT, den korrigerede spænding fra termoelementet, kan dernæst anvendes i et kalibreringsudtryk for termoelementer, type T. Som kalibreringsudtryk anvendes (a1.5).

$$(a1.5) \quad TT = a0 + (VT*(a1 + VT*(a2 + VT*(a3 + VT*(a4))))$$

a0: 0.100860910  
a1: 25727.94369  
a2: - 767345.8295  
a3: 78025595.81  
a4: - 9247486589.0

TT: Termoelementets temperatur, [°C].

VT: Afgiven (korrigeret) spænding fra termoelement [volt].