



AALBORG UNIVERSITY
DENMARK

Aalborg Universitet

Autogenous Phenomena in Cement-Based Materials

Jensen, Ole Mejlhede

Publication date:
2005

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

[Link to publication from Aalborg University](#)

Citation for published version (APA):
Jensen, O. M. (2005). *Autogenous Phenomena in Cement-Based Materials*. Department of Civil Engineering, Aalborg University.

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 -

Take down policy

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

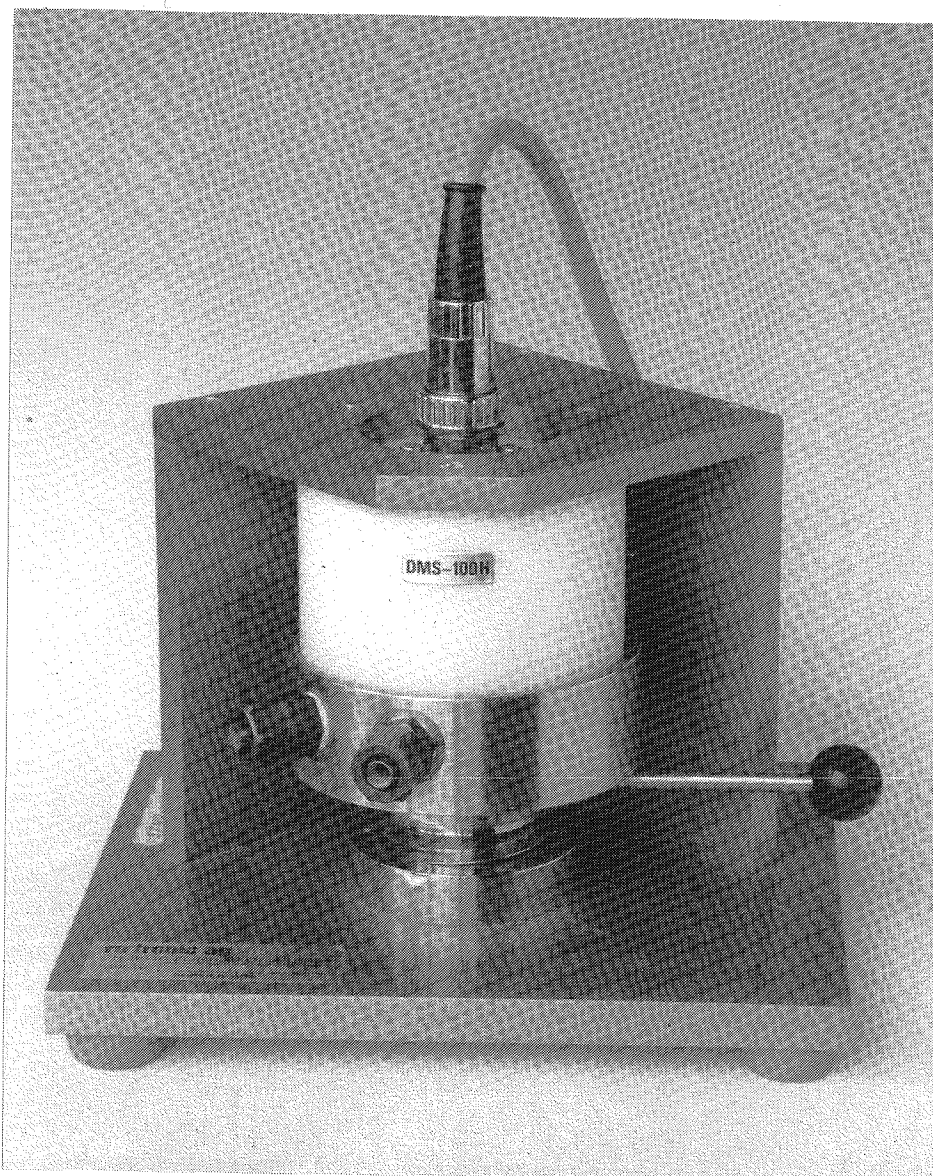
TR 282/93

ISSN 0907-7073

Rotronic Hygroskop DT

Fugtmåleudstyr

- kalibrering og afprøvning



Ole Mejlhede Jensen
Marts 1993

INDHOLD

1	INDLEDNING	2
2	UDSTYR	3
	2.1 DATAOPSAMLING	6
3	AFPRØVNING AF MÅLEOPSTILLING	7
	3.1 KALIBRERING AF RF-SENSORER	7
	3.1.1 Kalibreringsfunktioner	11
	3.2 LANGTIDSSTABILITET	12
	3.3 TÆTHED	16
4	RF-PRØVER	19
5	KONKLUSION	22
	REFERENCER	23
	BILAG	24

1 INDLEDNING

Denne rapport beskriver FYM (DIA-B) og LBM's ROTRONIC hygroskop DT fugtmåleudstyr. Udstyret er kalibreret ved 30°C. Proceduren består i at sammenligne målte og tabellerede værdier for forskellige fugtreferencer, som er anbragt i målekamrene.

Rapporten er udført som en del af mit licentiatstudium ved LBM.

Maj 1991

Ole Mejlhede Jensen

I nærværende 2. udgave er foretaget en række ændringer og tilføjelser. Væsentligst er afsnit 3.3 "Tæthed" og 3.1.1 "Kalibreringsfunktioner" revideret, mens afsnit 4 "RF-prøver" er nyt.

Marts 1993

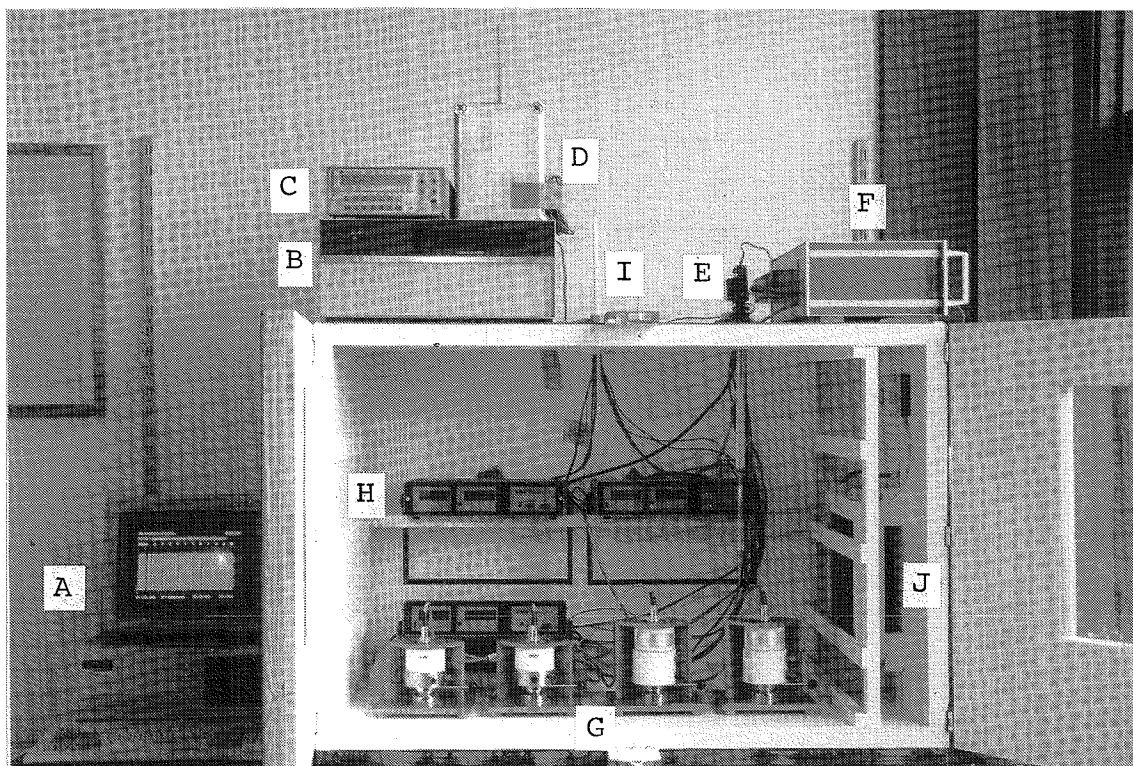
Ole Mejlhede Jensen

2 UDSTYR

Forsøgsopstillingen omfatter et fugtmåleudstyr med målestationer anbragt i en termostatstyret klimakasse. En tilsluttet datalogger opsamler og lagrer data.

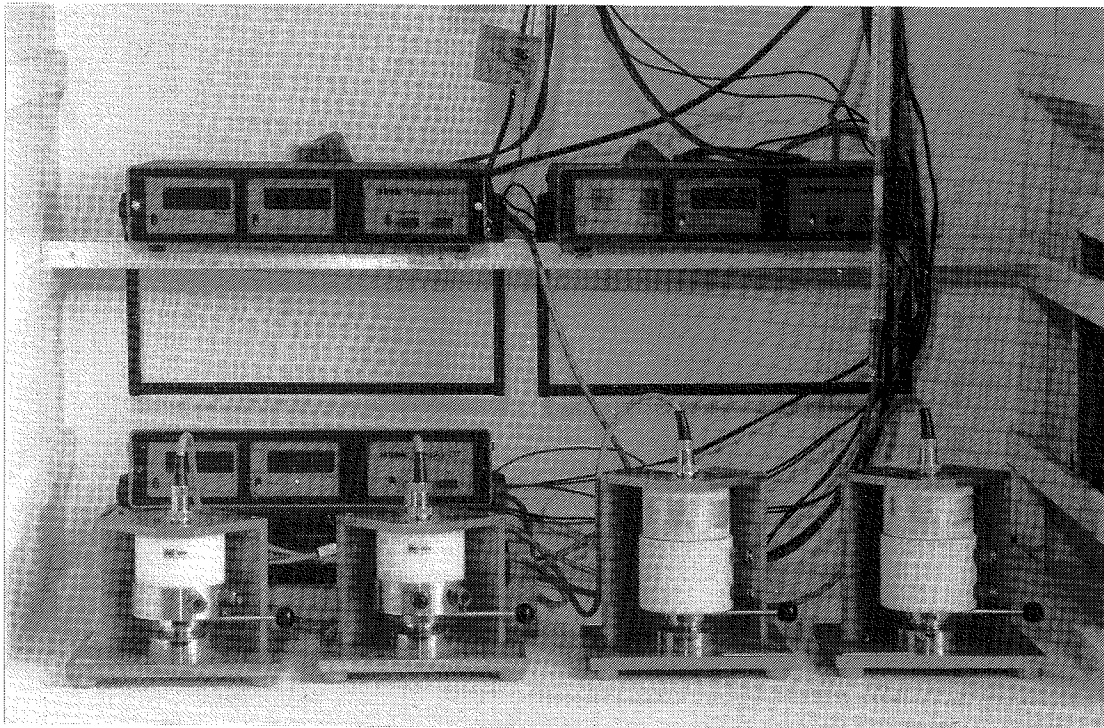
Termostateringen af klimakassen foregår efter et simpelt on/off-princip: den ønskede temperatur er indstillet på et kviksølvkontakttermometer, som regulerer effekttilførsel til varmetråde i klimakassen. En permanent tilsluttet ventilator sikrer homogen varmefordeling i klimakassen. Se Figur 1.

Det anvendte fugtmåleudstyr er af typen Rotronic hygroskop DT med tilsluttede WA-14TH og WA-40TH målestationer. I hver målestation er indbygget en Pt-100 temperaturføler samt en DMS-100H RF-sensor. RF-sensoren indeholder en elektrolyt, hvis elektriske impedans afhænger af, hvilken RF den er i ligevægt med. En let overtemperatur ved sensoren (ca. 0.5°C) muliggør måling op til 100% RF. Se Figur 2, Figur 3, Figur 4 og Figur 5.

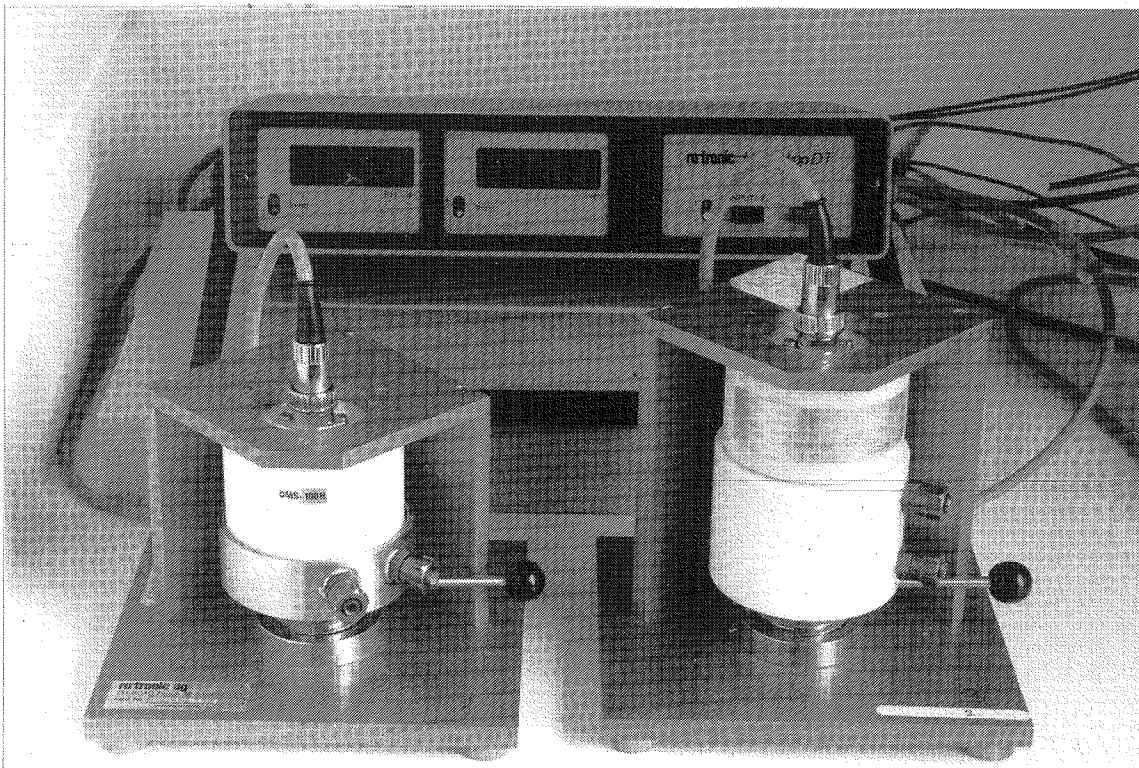


Figur 1. Forsøgsopstillingen.

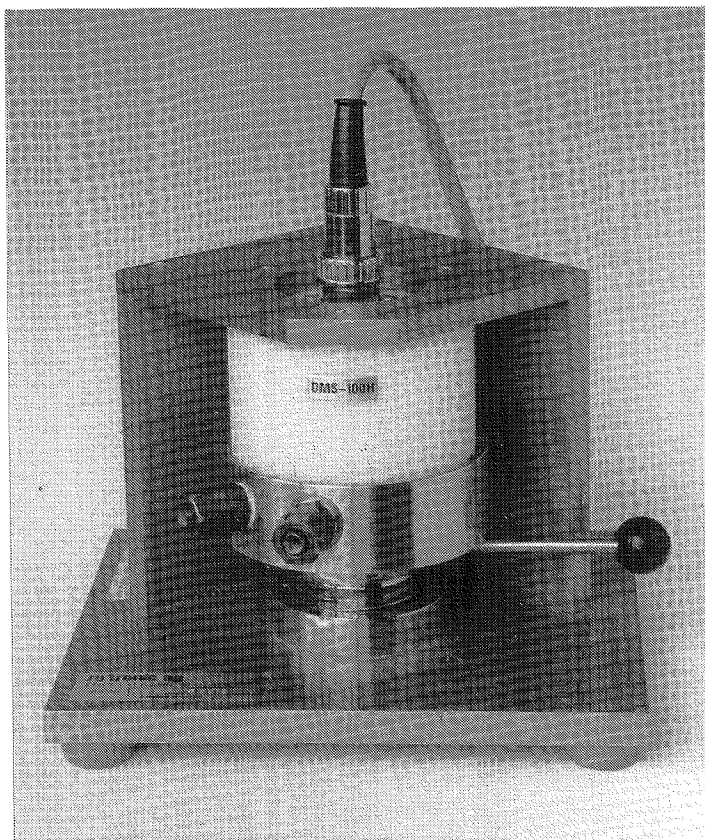
- A. PC'er med indbygget dataopsamlingskort
- B. Scanner
- C. Voltmeter
- D. Temperaturreferens til termoelementer
- E. Kviksølvkontakttermometer
- F. Spændingsforsyning til varmetråde
- G. Målestationer
- H. Styreenheder
- I. Kviksølvkontroltermometer
- J. Ventilator og varmetråde.



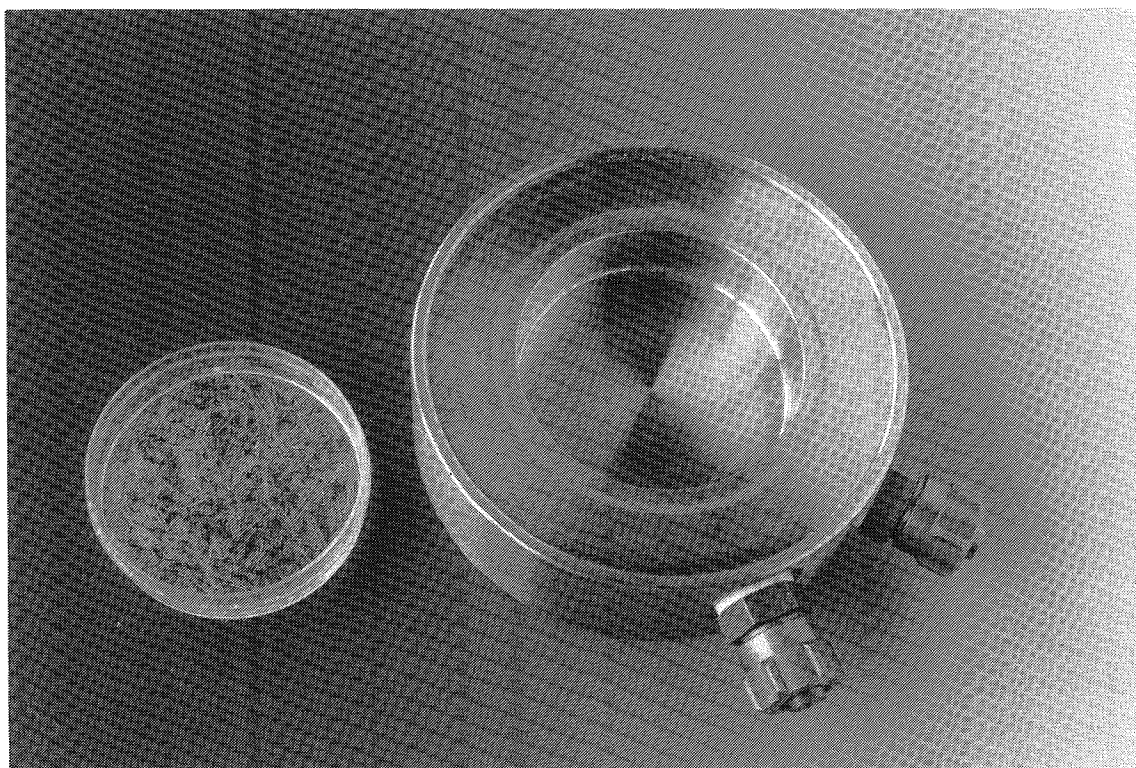
Figur 2. Fugtmåleudstyr. De 4 målestationer er tilsluttet 3 styringsenheder: de to er af typen Rotronic hygroskop DT, som hver kan kobles til 1 målestation og den tredje af typen Rotronic hygroskop DT2, som kan kobles til 2 målestationer.



Figur 3. 2 målestationer og en styringsenhed. Målestationerne er bortset fra prøvevoluminet identiske: højden af WA-14TH's prøvevolumen er 14 mm og 40 mm for WA-40TH.



Figur 4. Rotronic WA-14TH målestation. Målestationen indeholder en Pt-100 temperaturføler samt en DMS-100H RF-sensor. For at hindre varmeledning er stationen hævet fra underlaget med 4 gummifødder.



Figur 5. WA-14TH målekammer og målekammerskål. Den indvendige diameter af målekammerne er 46 mm. En nøjagtig temperaturstyring kan opnås ved at cirkulere termostateret vand gennem målekammervæggen via studsene. Dette er ikke udnyttet under nærværende kalibrering.

Som det fremgår af bl.a. Figur 1, var styringsenhederne også anbragt i klimakassen. Måleforstyrrelser pga. eventuelle temperaturfølsomme komponenter i styringsenhederne var dermed reduceret.

2.1 DATAOPSAMLING

Målesignaler fra RF-sensorer og termoelementer registreres og lagres automatisk af et tilsluttet dataloggerudstyr.

Ved de første kørsler blev anvendt en PC-styret datalogger af mærket GPIB, tilkoblet separat voltmeter, scanner og temperaturreference, jf. Figur 1. For at gøre måleopstillingen mindre følsom over for strømafbrydelser blev denne udskiftet med en Campbell Scientific CR10 med batteribackup.

Dataopsamling sker pr. 15 min. Ved en indledende kalibrering har måletidsintervallet dog været 20 min. Følgende signaler registreres: RF og temperatur i 4 målekamre, temperatur i klimakasse og lokaletemperatur.

De ukalibrerede rådata lagres på diskette i ASCII-format. Bearbejdning af måleresultater foretages med regnearksprogrammel på PC.

3 AFPRØVNING AF MÅLEOPSTILLING

Primært er foretaget en kalibrering af RF-sensorer. Herudover omfatter afprøvningen: undersøgelse af hysteres, repeterbarhed, langtidsstabilitet og indsvingshastighed for RF-sensorerne, bestemmelse af diffusionstæthed af målekamre samt kontrol af termostabilisering.

3.1 KALIBRERING AF RF-SENSORER

Ved kalibrering af RF-sensorerne udnyttes det forhold, at opløste salte nedsætter damptrykket. Hovedsagelig er mættede saltopløsninger anvendt, idet dette er veldefinerede fugtreferencer.

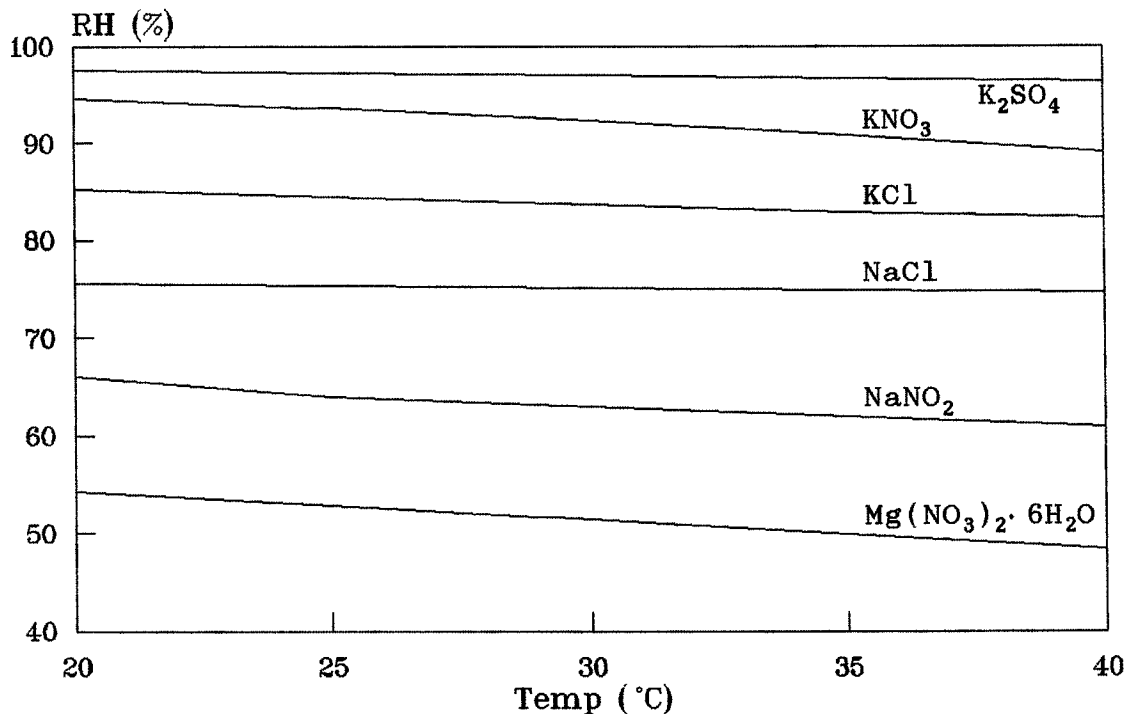
Saltopløsningerne er fremstillet af destilleret vand og salt af analysekvalitet. Mætning er sikret ved at blande salt og vand til mætning ved 100°C. Under afkøling til forsøgstemperaturen, 30°C, udskilles overskydende salt.

Et bredt udvalg af salte kan benyttes. Anvendeligheden afhænger dog af, hvor velbestemt RF-værdien er bl.a. over for temperaturvariationer, giftighed m.m. Kalibreringen af udstyret er indledningsvis foretaget i RF-intervallet 50-100%. Til dette formål er de 6 salte anført i Tabel I udvalgt. Som det fremgår af Figur 6, giver saltopløsningerne en god dækning af kalibreringsområdet.

Tabel I angiver også saltenes opløselighed ved 100°C. Disse værdier er benyttet ved fremstilling af de mættede opløsninger. Opløsningerne anbringes i målekammeret på en målekammerskål, se Figur 5, med ca. 1 g saltkrystaller dækket af ca. 5 ml mættet opløsning.

	RF ved 30°C (%)	Opløselighed ved 100°C (g/100 ml)
K ₂ SO ₄	97.00 ± 0.40	24
KNO ₃	92.31 ± 0.60	247
KCl	83.62 ± 0.25	57
NaCl	75.09 ± 0.11	39
NaNO ₂	63	163
Mg(NO ₃) ₂ ·6H ₂ O	51.40 ± 0.24	>300

Tabel I. RF over mættede opløsninger af udvalgte salte samt opløselighed i vand. Fra /1/, /2/, /3/ og /4/.



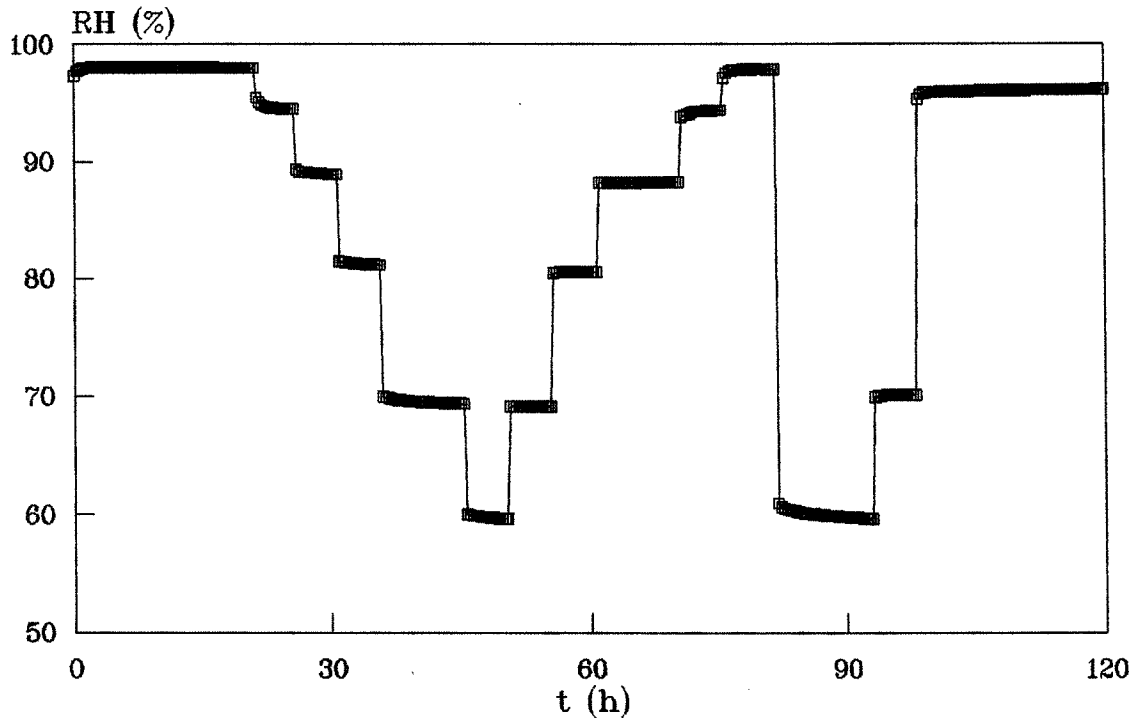
Figur 6. RF over 6 mættede saltopløsninger og deres temperaturafhængighed. Kalibreringsområdet 30°C, 50-100% RF dækkes godt. Fra /1/, /2/ og /3/.

Ud over saltopløsningerne angivet i Tabel I er 2 Rotronic kalibreringsampuller benyttet. Disse indeholder ca. 0.65 ml umættet LiCl-opløsning. Ved 30°C er opløsningerne i de anvendte ampuller i ligevægt med 65.3 og 95.0% RF /5/.

Figur 7 viser kalibreringscyklus for målekammer 1. Aflæste ligevægtsværdier for samtlige 4 målekamre er opført i Tabel II.

Som det fremgår af Tabel II, er målingerne repeterbare: største forskel mellem to målinger på samme fugtreference er ca. 0.6% RF. For kammer 1, 2 og 3 er der en tendens til hysteres: sænkes RF opnås en højere ligevægtsværdi, end når den hæves. Det omvendte forhold gør sig gældende for kammer 4. I alle tilfælde er forskellene så små, at fænomenet negligeres.

Indsvingsperioden for RF-sensorerne er meget kort. Som det ses af Figur 7, afviger den førstkomende måling efter udskiftning af saltopløsningen kun lidt fra ligevægtsværdien - selv ved momentane RF-ændringer på ca. 50%. Indsvingsperioden er altså reelt kortere end måletidsintervallet, 20 min.

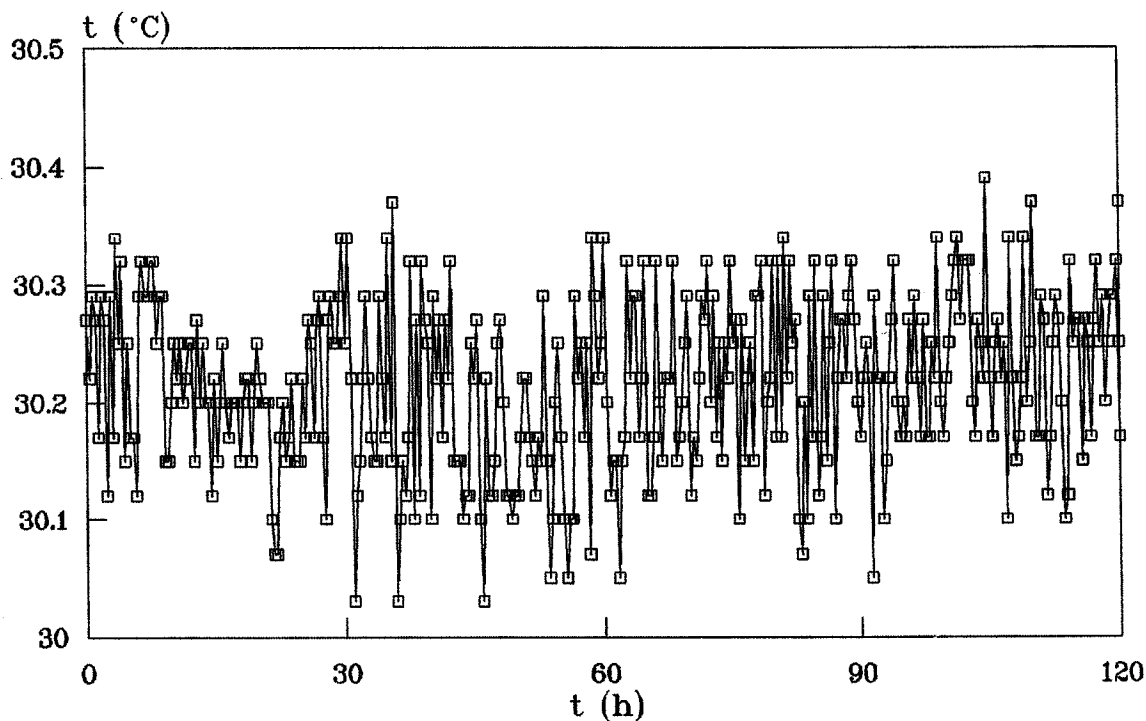


Figur 7. Kalibreringscyklus for målekammer 1. Måletidsintervallet er 20 min. Kurver for de øvrige kamre er vedlagt som bilag I, II og III.

Fugtreferen- ce	Tabel- værdi	Målekammer			
		1	2	3	4
K ₂ SO ₄	97.00	98.01	96.75	97.96	97.04
KNO ₃	92.31	94.58	92.58	94.81	93.76
KCl	83.62	88.86	86.05	89.74	88.30
NaCl	75.09	81.19	77.79	82.85	81.00
NaNO ₂	63	69.38	66.68	71.43	69.85
Mg(NO ₃) ₂ ·6H ₂ O	51.40	59.69	56.47	61.33	60.22
NaNO ₂	63	69.15	66.58	71.31	69.86
NaCl	75.09	80.59	77.46	82.60	81.08
KCl	83.62	88.23	85.76	89.57	88.39
KNO ₃	92.31	94.39	92.39	94.78	93.86
K ₂ SO ₄	97.00	97.91	96.64	97.84	97.02
Mg(NO ₃) ₂ ·6H ₂ O	51.40	59.70	56.50	61.36	60.28
Rotronic ampul	65.3 95.0	70.15	67.37	96.51	95.80
Rotronic ampul	65.3 95.0	96.15	94.69	72.74	71.03

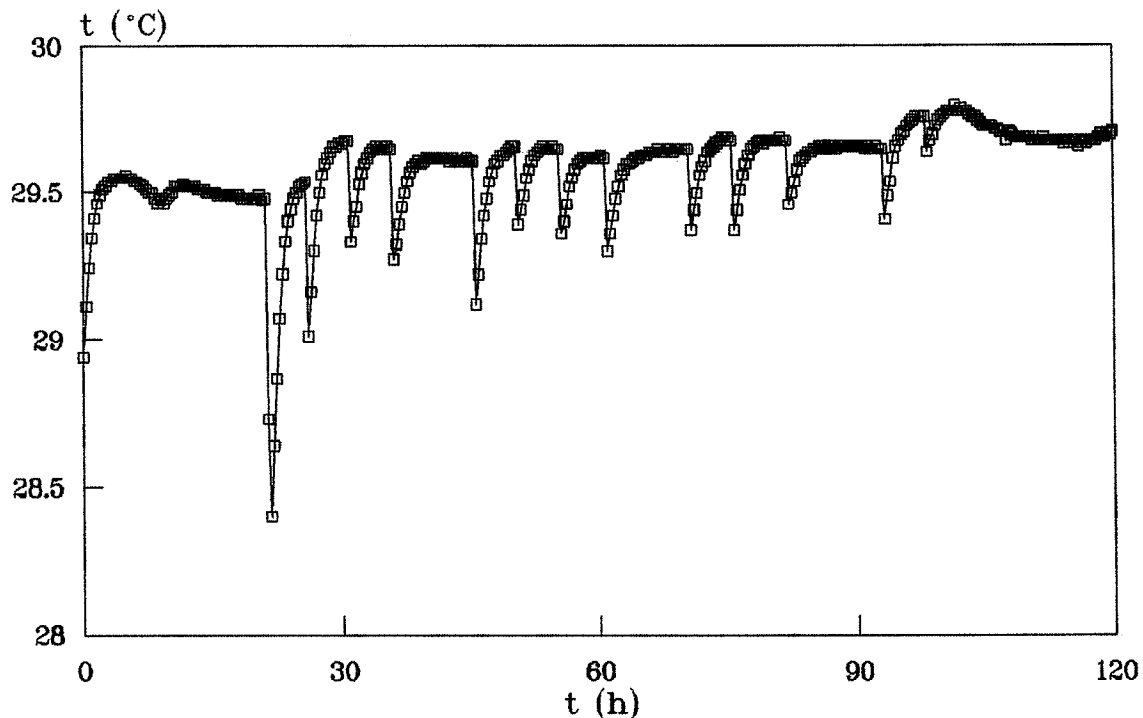
Tabel II. Tabelværdier og målte ligevægtsværdier for forskellige fugtreferencer.

Figur 8 viser temperaturvariationen for klimakassen under kalibreringen. On/off-styringen ses at have en kontakthysterese på ca. 0.2°C . En tænd/sluk-cyklus varer ca. 1 minut (10 s varme + 50 s slukket). Disse temperaturvariationer er så hurtige, at de pga. termisk inert i målekamrene ikke influerer på temperaturen i disse. Se Figur 9.



Figur 8. Temperaturforløb i klimakasse under kalibrering. Temperaturstyringen ses at have en kontakthysterese på ca. 0.2°C . Bemærk at klimakassens temperatur er indstillet med et kalibreret kviksølvtermometer til $30.0 \pm 0.1^{\circ}\text{C}$. De angivne temperaturer i figuren er målt med kobber-konstantan termoelement, hvis absolutte temperaturangivelse kun er korrekt inden for ca. $\pm 1^{\circ}\text{C}$.

På Figur 9 og bilag IV, V og VI kan følgende observeres: Når målekamrene har været åbnet kan ligevægtstemperaturen springe $\pm 0.4^{\circ}\text{C}$. Ved at sammenligne kurverne for de 4 målekamre indbyrdes og med Figur 8 ses, at springene ikke kan skyldes, at temperaturen er ændret. Hvad, fænomenet skyldes, er ikke opklaret; måske en mekanisk instabilitet eller en trykpåvirkning ved lukning af kamrene. Som det fremgår af Figur 13, forløber temperaturmålingerne dog godartet under et uafbrudt forsøg. Da temperaturmålingerne kun fungerer som kontrol, er fænomenet ikke nærmere undersøgt.



Figur 9. Temperaturforløb i målekammer 1 under kalibrering. De hurtige temperaturvariationer i klimakassen, se Figur 8, fremtræder ikke her. "Dykkene" er temperaturfald ved udskiftning af saltopløsninger.

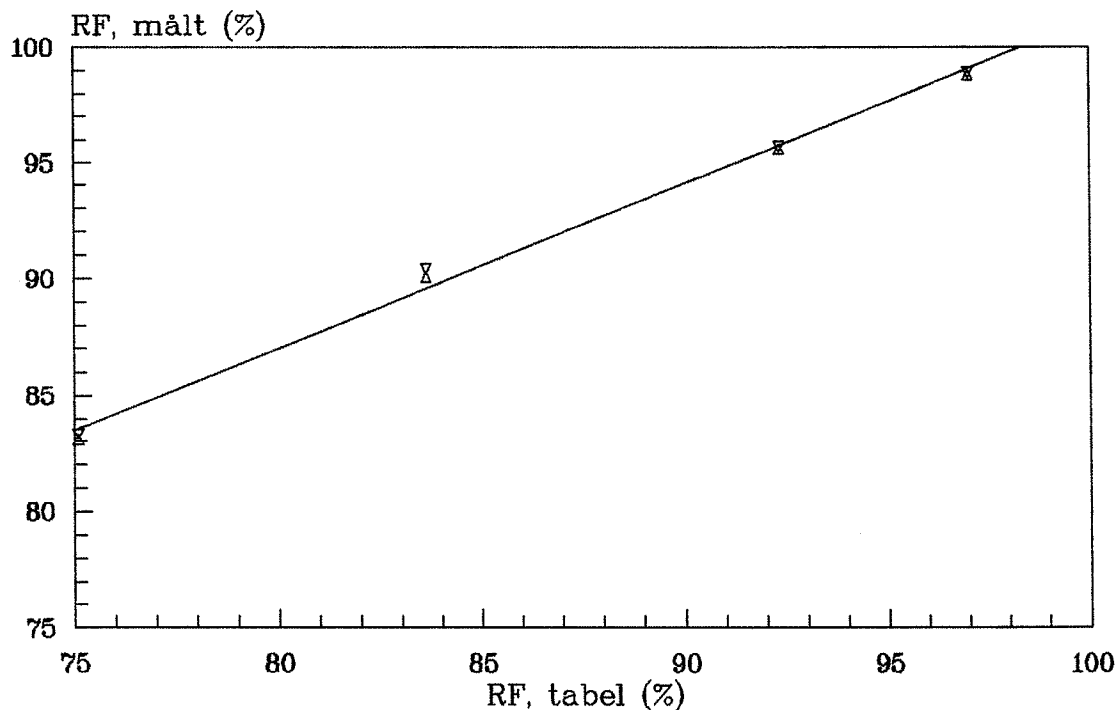
3.1.1 Kalibreringsfunktioner

De registrerede RF-forløb for cementpasta under nærværende projekt ligger alle i intervallet 75-100% RF. Det er derfor ikke nødvendigt at tilvirke kalibreringsfunktioner, der dækker så bredt et område, 50-100% RF, som ovenstående målinger.

I det snævre RF-interval, 75-100%, er sammenhængen mellem tabelværdier og måleværdier med god tilnærmelse lineær, jf. Figur 10. Kalibreringsfunktionerne udregnes derfor simpelt ved lineær regression: $y = ax + \beta$, hvor y er den korrigerede og x den målte værdi. a og β er kalibreringskonstanter.

Pga. drift i RF-sensorer er jævnlig kalibrering nødvendig, jf. afsnit 3.2. Følgende kalibreringsprocedure er derfor anvendt: Umiddelbart før og efter hver cementpastakørsel, der typisk varer 14 dg, måles på mattede opløsninger af NaCl, KCl, KNO₃ og K₂SO₄. Disse dækker området 75-100% RF, jf. Tabel I. Til beregning af kalibreringsfunktion benyttes middelværdierne af disse to målinger. Denne procedure tager højde for drift i RF-sensorerne.

Figur 10 viser et eksempel på en kalibreringskurve. Disse afviger højst 1% RF fra de undersøgte fugtreferencer.

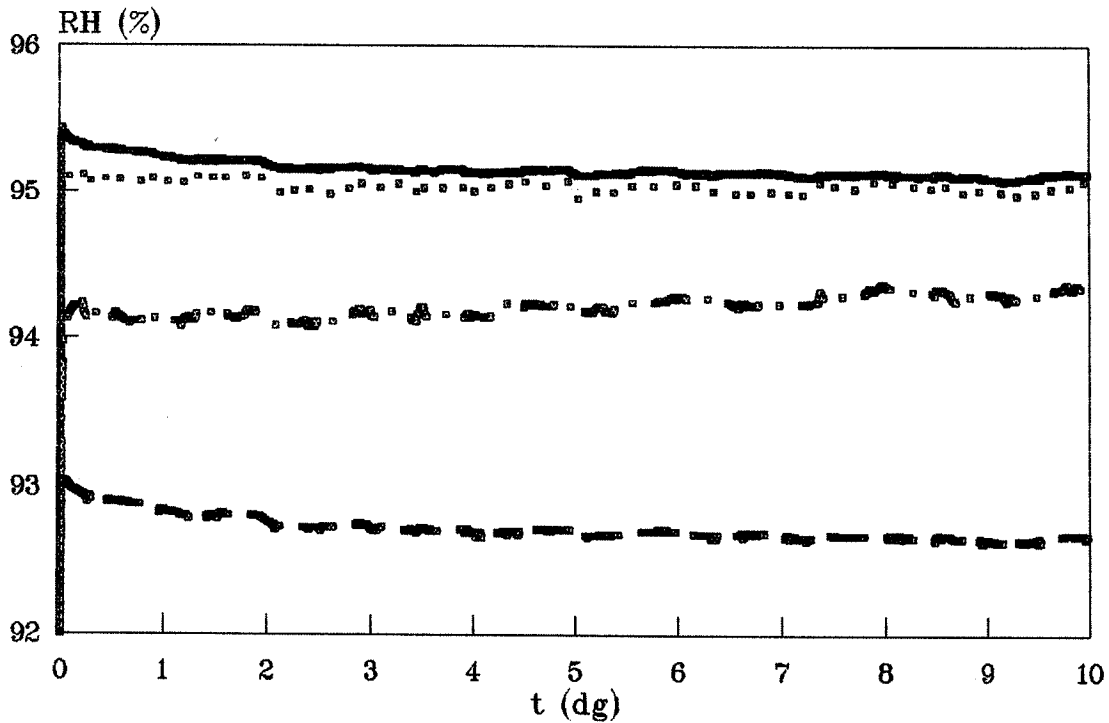


Figur 10. Eksempel på kalibreringskurve for kammer 2. Kalibreringsværdier er for $t=263$ dg (Δ) og $t=277$ dg (∇) i Figur 12. I RF-intervallet 75-100% er den retlinede beskrivelse god.

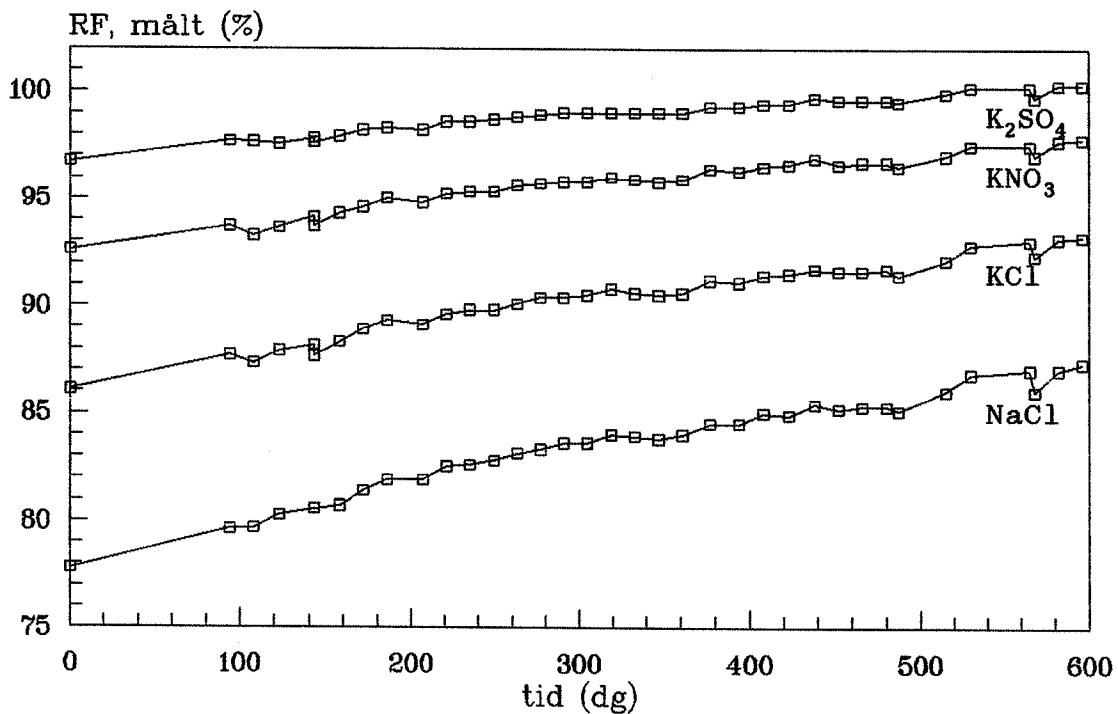
3.2 LANGTIDSSTABILITET

Figur 11 viser måling gennem 10 døgn på mættede KNO_3 -opløsninger. Graferne viser ikke tegn på væsentlig drift i RF-sensorerne inden for dette tidsrum. Bortset fra en kort indsvingsperiode varierer de aflæste RF højst $\pm 0.2\%$ RF. I forhold til repeterbarheden på 0.6% RF (jf. afsnit 3.1) er dette ubetydeligt.

Over en længere periode udviser RF-sensorerne dog betydelig drift. I Figur 12 er kalibreringsværdier gennem 600 dg optegnet. Jævnlig kalibrering ses absolut at være påkrævet; bruges kalibreringsfunktionen fra $t=0$ dg ved $t=600$ dg, vil en sand RF på 75% , målt ved $t=600$ dg, fejlagtigt beregnes til 85.5% RF. Dvs. en fejl på 10% RF!, der alene hidrører fra drift.



Figur 11. Måling på mættet KNO_3 -opløsning gennem 10 døgn. — kammer 1, --- kammer 2, ... kammer 3, -.- kammer 4. Efter et indsving er værdierne konstante inden for $\pm 0.2\%$ RF.



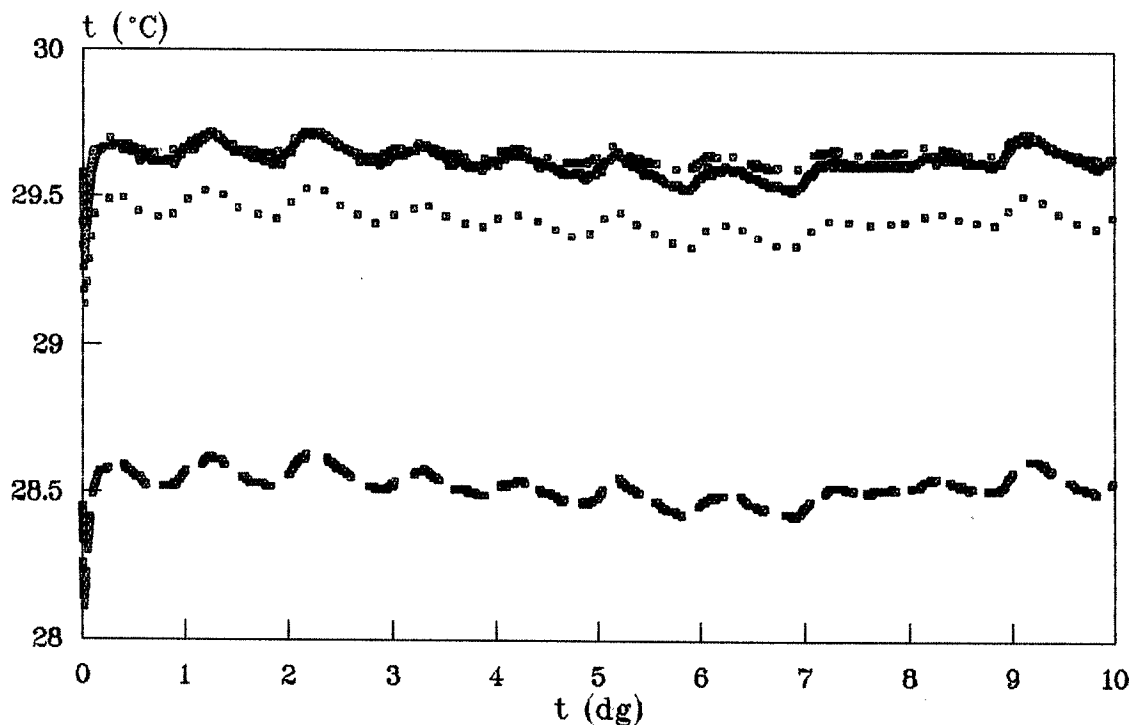
Figur 12. Gentagne målinger på mættede saltopløsninger viser drift i RF-sensorer. Det viste eksempel er for kammer 2. Målingerne for $t=0$ er middelværdier fra Tabel II.

Tilsvarende kurver for kammer 1, 3 og 4 er vedlagt som henholdsvis bilag VII, VIII og IX.

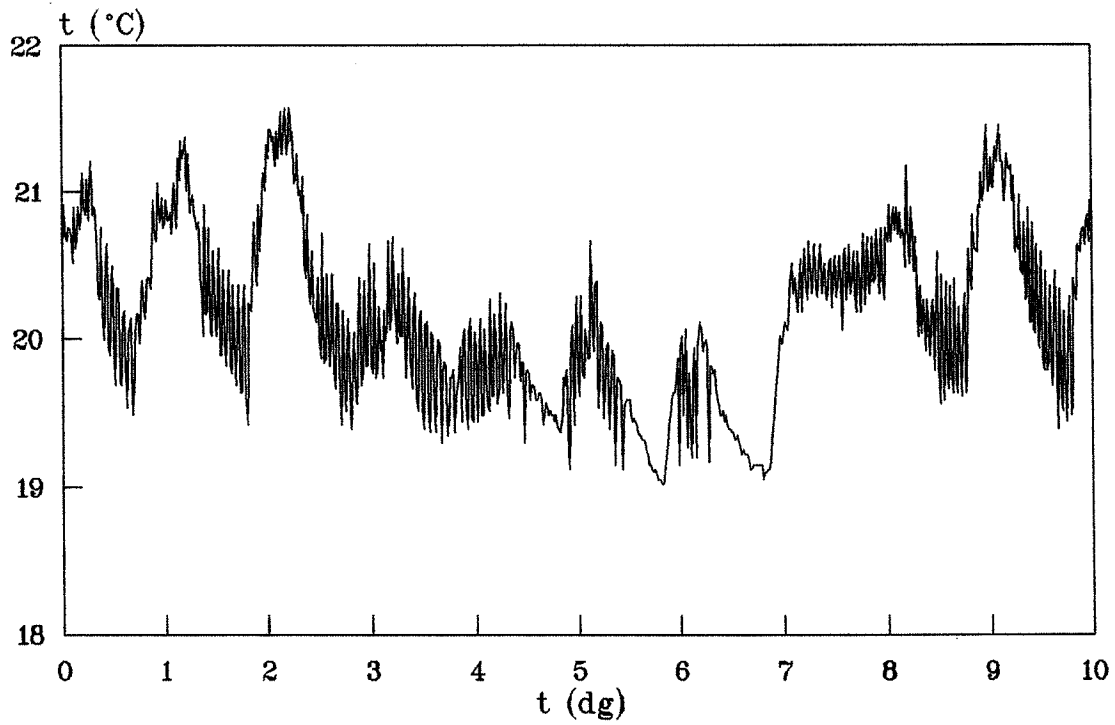
Temperaturforløbet i målekamrene indledes med et indsving, se Figur 13. Dette varer i målemæssig henseende ca. 2 timer, hvorefter temperaturen er konstant inden for $\pm 0.1^\circ\text{C}$.

Ved sammenligning med Figur 14 ses temperaturforløbet i kamrene at være forbundet med lokaletemperaturen. Det fremgår af Figur 15 at lufttemperaturen i klimakassen er upåvirket af lokaletemperaturen. Det antages derfor at målekammertemperaturens variation skyldes varmestråling mellem klimakassens indersider og målekamrene.

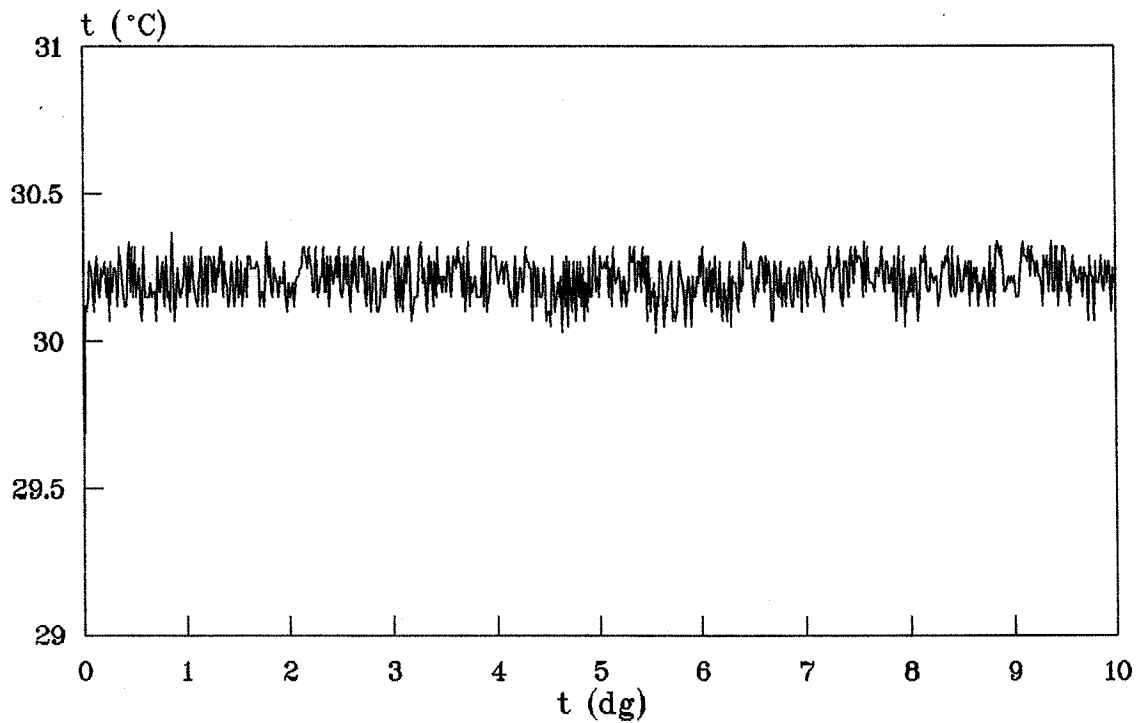
Klimakassens temperatur er ifølge et kalibreret kviksølvtermometer indstillet til $30.0 \pm 0.1^\circ\text{C}$. De afvigende temperaturer som er målt, se bl.a. Figur 15, skyldes termoelementers unøjagtighed i absolut temperaturbestemmelse. Dette er uden betydning, da temperaturmålingerne kun fungerer som kontrol.



Figur 13. Temperatur i målekamre under langtidsstabilitetstest. — kammer 1, --- kammer 2, ... kammer 3, -.- kammer 4.



Figur 14. Lokaletemperatur under langtidsstabilitetstest.



Figur 15. Temperatur i klimakasse under langtidsstabilitets-
test.

3.3 TÆTHED

Målekamrenes tæthed over for vanddampdiffusion er undersøgt. Dette er gjort ved at måle vægttabet af mattede KNO_3 -opløsninger anbragt i kamrene. Tabel III angiver vægte.

Kammer nr.	1	2	3	4
vægt før	8.639	9.530	9.335	9.482
vægt efter 1 uge	8.624	9.513	9.309	9.460
vægttab	0.015	0.017	0.026	0.022
vægt før	8.733	8.646	8.126	8.828
vægt efter 1 døgn	8.716	8.631	8.107	8.810
vægttab	0.017	0.015	0.019	0.018

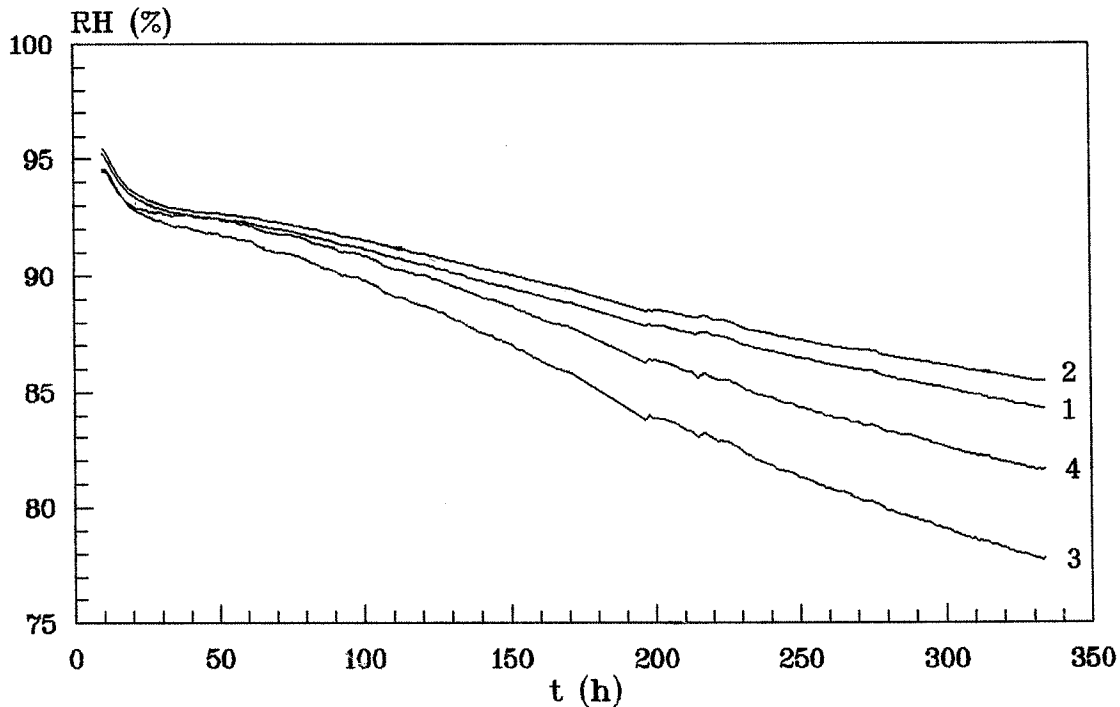
Tabel III. Vægte af saltopløsninger før og efter opbevaring i målekamre gennem 1 uge og 1 døgn. Vægte i g.

Det registrerede vægttab (vægt før - vægt efter) varierer fra 0.015 til 0.026 g.

Kontrolmålinger viste, at en betydelig del (0.010-0.015 g) af vægttabet skyldes fordampning fra saltopløsningen ved transport fra vægt til målekammer og omvendt. Yderligere opstår der et vægttab, idet målekamrene før forsøgene var i ligevægt med RF-25% og saltopløsningerne dannede RF-92%: opfugtning af luften i kamrene, befugtning af indersiden af kamrene, vandoptagelse af elektrolytten i RF-føleren m.m.

Målenøjagtighed og variation i de enkelte observationer taget i betragtning er der ikke nogen signifikant sammenhæng mellem opbevaringstid og vægttab for kammer 1 og 2; vægttabet over 1 døgn er ca. lig vægttabet gennem 1 uge. Målingerne antyder derimod, at kammer 4 og specielt kammer 3 er utætte. Utætheden medfører en vanddampdiffusion på henholdsvis ca. 8 og 14 mg/2 uger.

Ved efterfølgende målinger af autogen RF-ændring på cementpasta viser det sig, at selv dette beskedne vandtab kan influere mærkbart på RF-forløbene. Pastaerne ved lavt v/c og høje mikrosilicaindhold er særlig følsomme over for fugttabet. I Figur 16 er vist kurver for autogen RF-ændring registreret på 4 Rotronic fugtmålestationer. Målingerne er foretaget simultant på samme pasta: v/c=0.25 med 6% mikrosilica. Hvert kammer indeholdt ca. 9 g pasta.



Figur 16. Autogen RF-ændring for pasta ved $v/c=0.25$ med 6% mikrosilica målt samtidig på 4 fugtmålestationer. Tallene angiver kammernummer. Forskellen mellem kammer 1 og 2 kan skyldes måleusikkerhed af føler eller forskelligt fugttab under nedknusning, jf. afsnit 4. Kammer 3 og 4 afviger pga. fugttab under måling, se tekst.

Ved $t=2$ uger er RF-sænkningen i kammer 3 ca. 7% RF større end i kammer 1 og 2. Selv beskedne fugttab kan derfor udgøre en væsentlig fejlkilde ved måling af autogen RF-ændring.

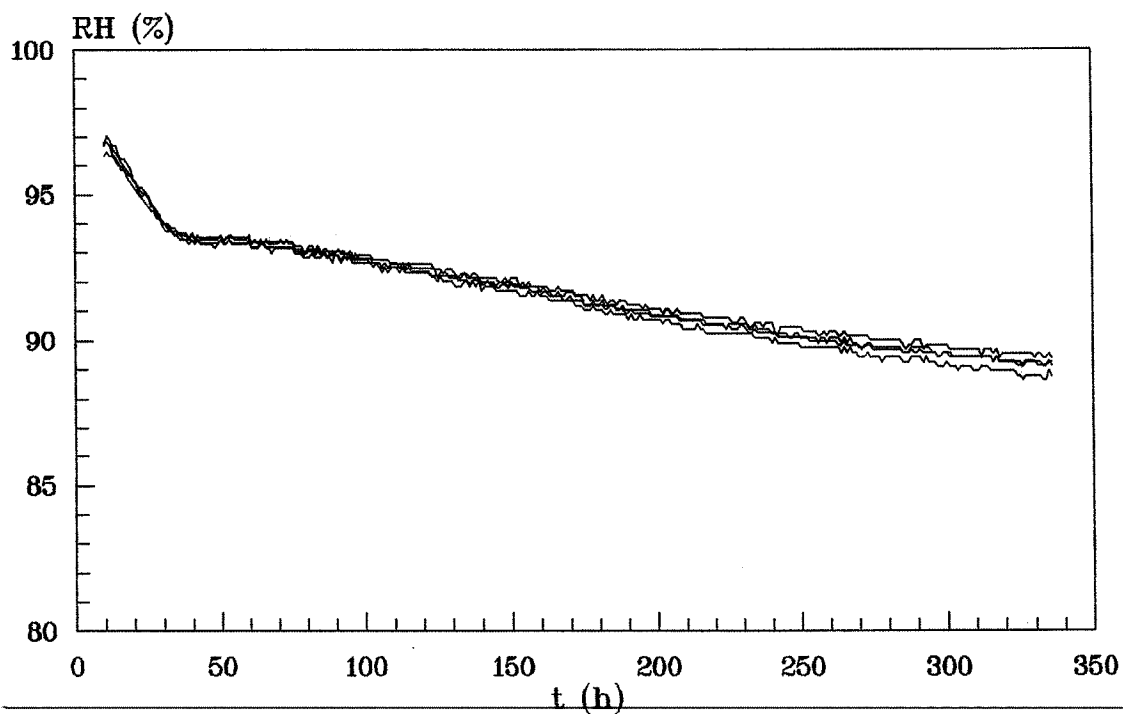
At årsagen til de afvigende RF-forløb var forårsaget af fugttab blev verificeret ved følgende afprøvning: Under et senere forsøg blev målestation 3 anbragt i eksikator som indeholdt mættet NaCl-opløsning. RF omkring kammeret øges herved fra ca. 25% til 75%. Ved denne måling var måleforløbet for kammer 3 tilnærmelsesvis som for kammer 1 og 2.

Ved efterfølgende forsøg blev denne fugtkonditionering indsnævret til kun at være omkring først ledningsindgangen og dernæst målekammeret, jf. Figur 4.

Utætheden blev på denne måde lokaliseret til en gummi-O-pakningsring som målekammeret lægger an mod ved lukning.

Gummiringene er af producenten limet fast i en nedadvendt not. Denne lim gjorde gummiringene i kammer 3 og 4 skøre og revnede. Ringene i kammer 1 og 2 var et par år tilbage blevet udskiftet uden fastnelse med lim; disse pakninger var intakte.

Figur 17 viser et eksempel på måleforløb efter udskiftning af pakningsringe. Afvigelserne mellem kurverne ligger inden for følernes måleusikkerhed.



Figur 17. Efter udskiftning af defekte pakningsringe er måleforløbene for de 4 kamre tilnærmelsesvis identiske. Målt på pasta ved $v/c=0.35$ med 6% mikrosilica.

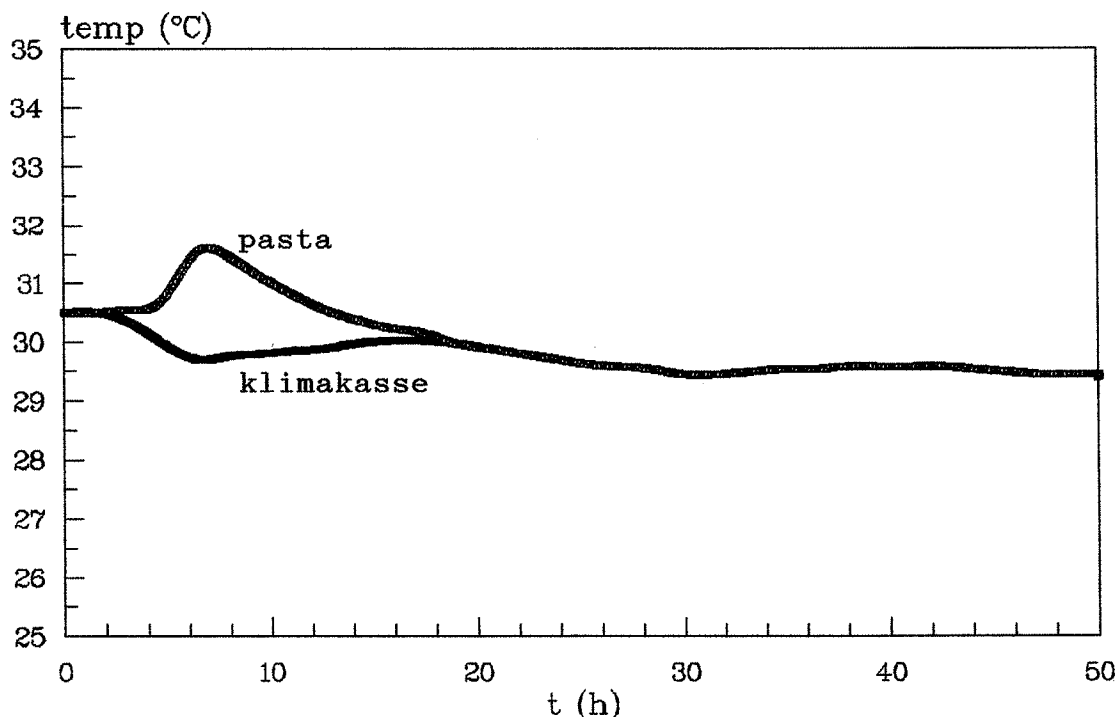
4 RF-PRØVER

Prøver til måling af autogen RF-ændring for cementpasta blev udstøbt på vibratorbord i 150 mm, Ø 14 mm cirkulærcylindriske teflonforme. Formene blev i begge ender aflukket med tætslutende gummipropper.

Under den efterfølgende forhårdning var prøverne anbragt i en særlig prøveholder således, at de langsomt roterede omkring længdeaksen, ca. 1 omgang/min. Dette modvirkede bleeding. Prøveholderen var placeret i en klimakasse termostateret til $30 \pm 0.5^\circ\text{C}$.

Figur 18 viser temperaturforløb i klimakasse og pasta under hældning. $t=0$ svarer til blandestart. Pastaen var uden mikrosilica med $v/c=0.25$.

Pga. varmeudvikling ved cementens hydratisering sker der en temperaturstigning i pastaen. Denne når et maksimum på ca. 2°C efter 6 timer.



Figur 18. Registreret temperatur i pasta og klimakasse under hældning. Tid er målt fra blandestart. Temperaturen er målt med termoelementer, der for pastaens vedkommende var indstøbt i centrum af prøven.

Denne temperaturstigning accelererer prøvernes hydratisering. Forskydning af hydratiseringsforløbet i forhold til hældning ved 30°C kan beregnes med Freieslebens temperaturfunktion /6/:

$$\int_{t_0}^{t_1} \left[e^{\frac{E_a}{R} \left(\frac{1}{293} - \frac{1}{273+\theta_p} \right)} - e^{\frac{E_a}{R} \left(\frac{1}{293} - \frac{1}{273+\theta_k} \right)} \right] dt \approx 15 \text{ min ved } 20^\circ\text{C}$$

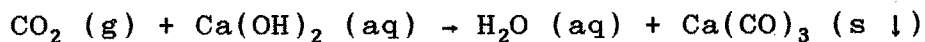
hvor E_a er aktiveringsenergien, 22 kJ/mol /7/, R gaskonstanten, 8.314 J/(mol·K) /8/, θ_p og θ_k temperaturen af pastaen og klimakassen i °C, og t_0 og t_1 er valgt til 0 og 9 h.

Integrationen er foretaget numerisk.

Med ovennævnte talstørrelser svarer ~15 min ved 20 °C til ~10 min ved 30°C.

Forhårdningen afsluttes, når pastaen har opnået fornøden styrke til nedknusning. Forsøg viser, at dette varer op mod ca. 8.5 time. Herefter afformes pastaen. Pastaen presses med et pneumatisk stempel ned i en pose af 0.15 mm polyethylen, som straks lukkes.

Pastaen knuses med hammer på en stålblok. Dette sker i et handsketelt med styret atmosfære; teltet indeholder mættede opløsninger af K_2SO_4 og $Ca(OH)_2$. K_2SO_4 -opløsningen holder RF på ca. 98%. Dette reducerer fugtudveksling med pastaen under nedknusningen. $Ca(OH)_2$ -opløsningen fjerner CO_2 i luften, idet der dannes bundfald i form af tungt opløselig $CaCO_3$:



I den CO_2 -fattige atmosfære undgås karbonatisering af pastaen. Ca. 10 g af den knuste pasta anbringes i en målekammerskål, som umiddelbart placeres i målestationerne.

Selv om nedknusningsprocessen kun varer ca. 30 sek. er det vigtigt, at atmosfæren i handsketeltet er konditioneret: pga. det kraftigt forøgede overfladeareal udveksler pastaen hurtigt f.eks. fugt med luften (overfladeareal ~ korndiameter⁻¹).

Principielt forandrer nedknusningen cementens reaktionskinetik; pore størrelsesfordelingen ændres og brudflader kan blotte uhydratiseret cement. I praksis vil disse fænomener være uden betydning:

Granulatets overfladeareal er ved $r \approx 0.3$ mm: $A/V = 4\pi r^2 / (4/3\pi r^3) = 3r^{-1} = 10 \text{ mm}^2/\text{mm}^3$ (kugleform antaget). Til sammenligning er cements overfladeareal af størrelsesorden $1000 \text{ mm}^2/\text{mm}^3$ /6/, dvs. ca. 100 gange større. Det er desuden usandsynligt, at brudflader spalter cementklinkeren på dette tidlige tidspunkt af hydratiseringen - den er væsentlig stærkere end CSH-gelen. Afdækning af uhydratiseret cement antages derfor at være uden betydning.

På samme måde er de nydannede porer mellem kornene uden betydning for pastaens egenskaber m.h.t. selvudtørring. Damptrykkssænkning pga. kapillareffekter er først målelig for

poreradier < ca. 100 nm. Hulrummene mellem kornene vil være af størrelsesorden 0.5 mm dvs. over 1000 gange større.

Teflonformens vandoptagelse fra pastaen er vurderet ved vejningsforsøg:

Vægt af laboratorietør, tom form: 174.51 g
vægt, overfladetør efter 1 døgn opbevaring under vand: 174.53 g

Forskellen er ubetydelig og kan skyldes måleusikkerhed. Teflonformene må anses for at være ikke-hygroskopiske.

Teflons vandabsorption er i /9/ angivet til 0%.

5 KONKLUSION

På baggrund af en række afprøvninger af fugtmåleudstyret kan følgende konkluderes:

- Repeterbarheden af målinger på samme fugtreference ligger inden for 0.6% RF
- RF-sensorerne udviser kun en ubetydelig tendens til hysteres
- inden for få uger er RF-sensorerens drift ubetydelig. Over længere perioder kan drift udgøre en væsentlig fejlkilde, f.eks. 10% RF på 1-2 år
- selv ved momentane RF-ændringer på ca. 50% er RF-sensorerne i ligevægt inden for ca. 20 minutter
- temperaturvariationerne i målekamrene ligger inden for $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$
- selv beskedne fugttab kan udgøre en væsentlig fejlkilde ved måling af autogen RF-ændring for cementpasta

Til brug i området 75-100% RF anvendes lineære kalibreringsfunktioner: $y=ax+\beta$, hvor x er den målte og y den korrigerede værdi. Parametrene a og β bestemmes ved lineær regression.

Kalibreringskurverne afviger højst 1.0% RF fra de undersøgte fugtreferencer.

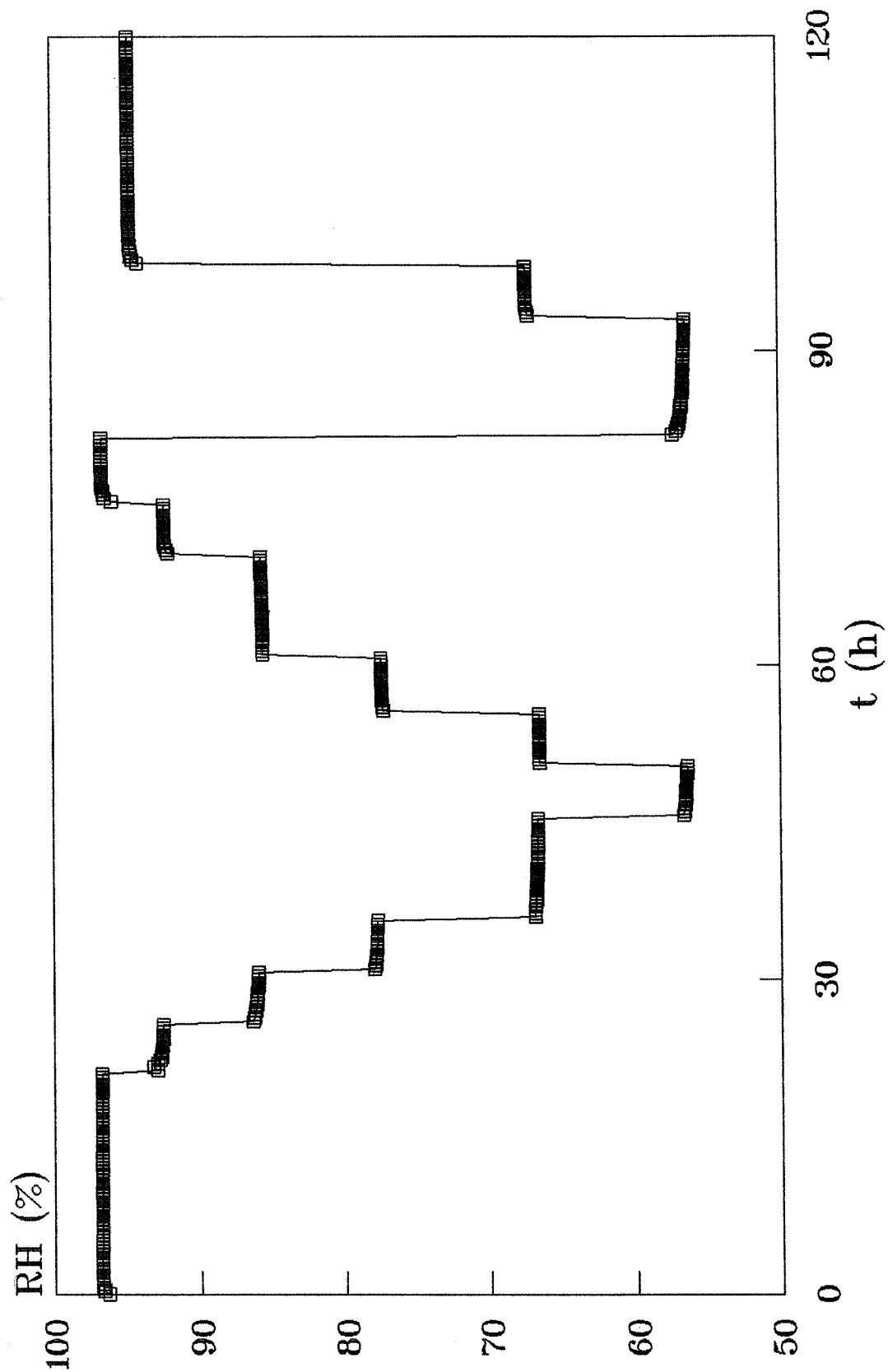
REFERENCER

- /1/ L Greenspan
Humidity Fixed Points of Binary Saturated Aqueous
Solutions
Journal of research of the National Bureau of
Standards A. Physics and Chemistry, vol. 81A,
1, 1977
- /2/ Plastics - small enclosures for conditioning and
testing using aqueous solutions to maintain relative
humidity at constant value
ISO 483, 1988
- /3/ Konstantklimate über wäßrigen Lösungen
DIN 50 008 Teil 1, 1981
- /4/ CRC Handbook of Chemistry and Physics
CRC Press inc., Florida 1987
- /5/ Rotronic-Hygroskop, Betriebsanleitung
Rotronic ag
- /6/ A D Herholdt
C F P Justesen
P Nepper-Christensen
A Nielsen
Beton-Bogen
Aalborg Portland, CtO, 1985
- /7/ M Geiker
Studies of Portland Cement Hydration
IMI, Dth, 1983
- /8/ A E Nielsen
Kemiske data
FADL's Forlag, København, 1984
- /9/ E Koefoed
Plast
Polyteknisk forlag, Lyngby 1981

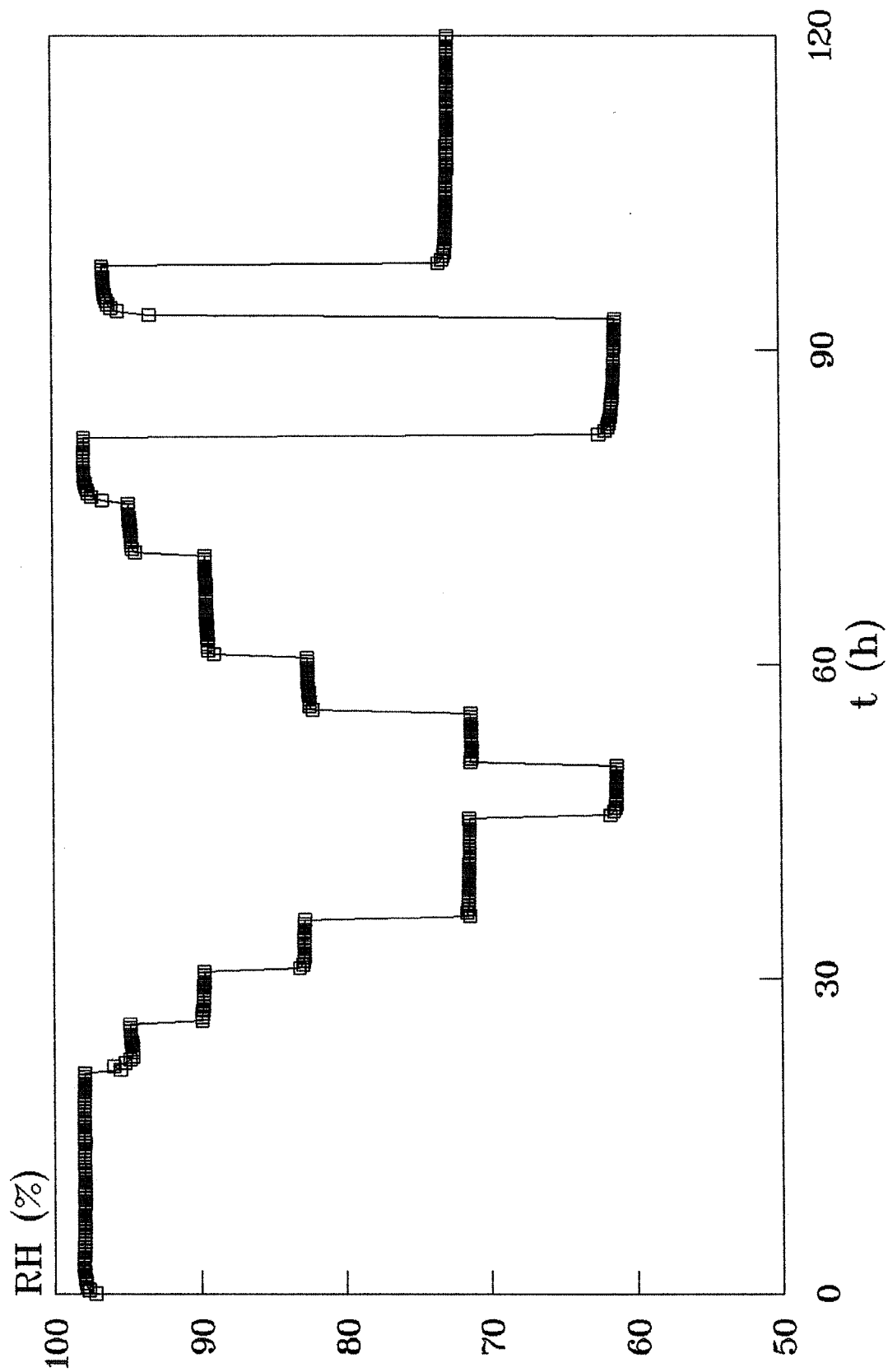
BILAG

	nr.
RF, kammer 2	I
RF, kammer 3	II
RF, kammer 4	III
Temperatur, kammer 2	IV
Temperatur, kammer 3	V
Temperatur, kammer 4	VI
Kalibrering, kammer 1	VII
Kalibrering, kammer 3	VIII
Kalibrering, kammer 4	IX

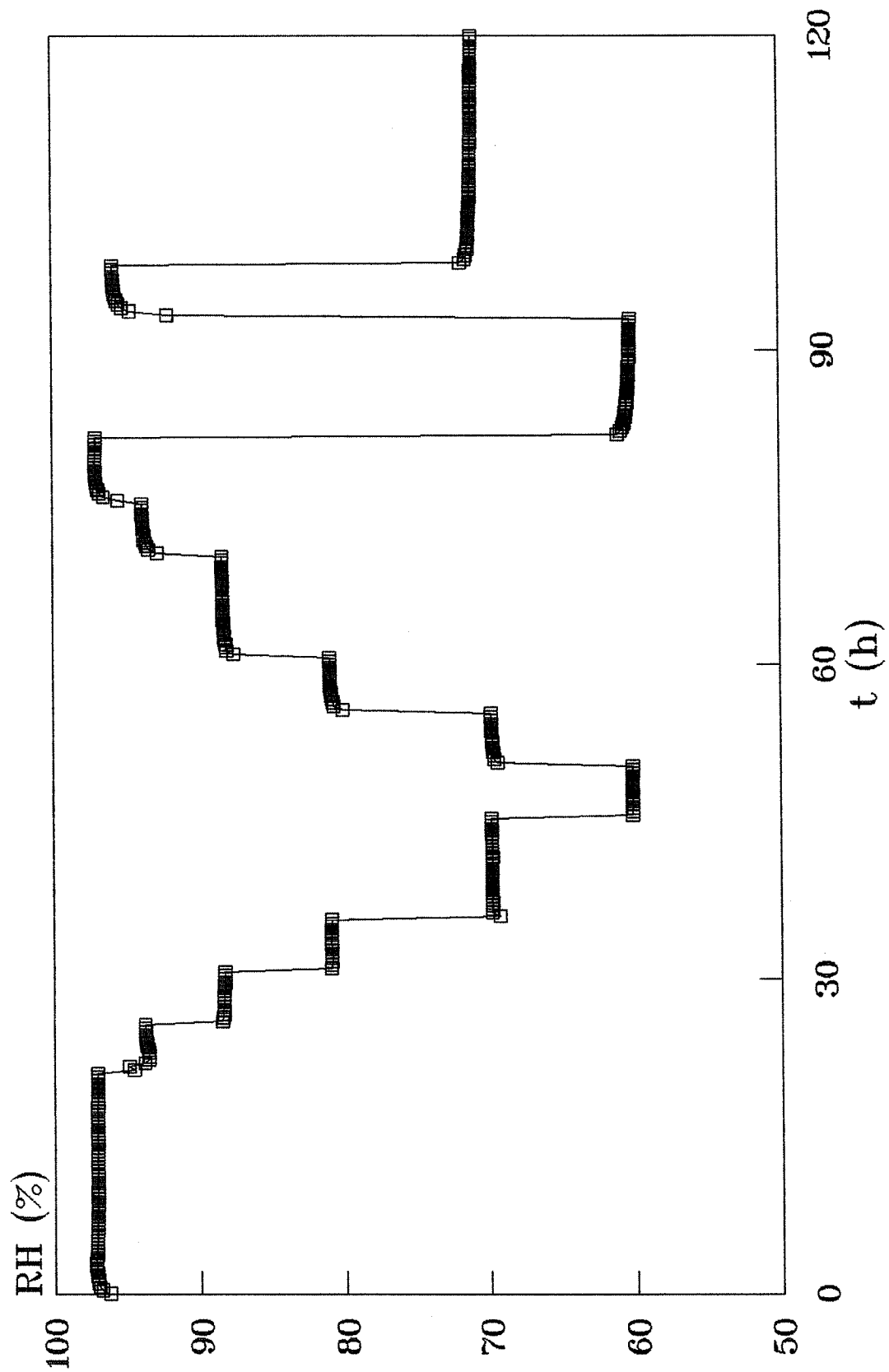
RF, kammer 2



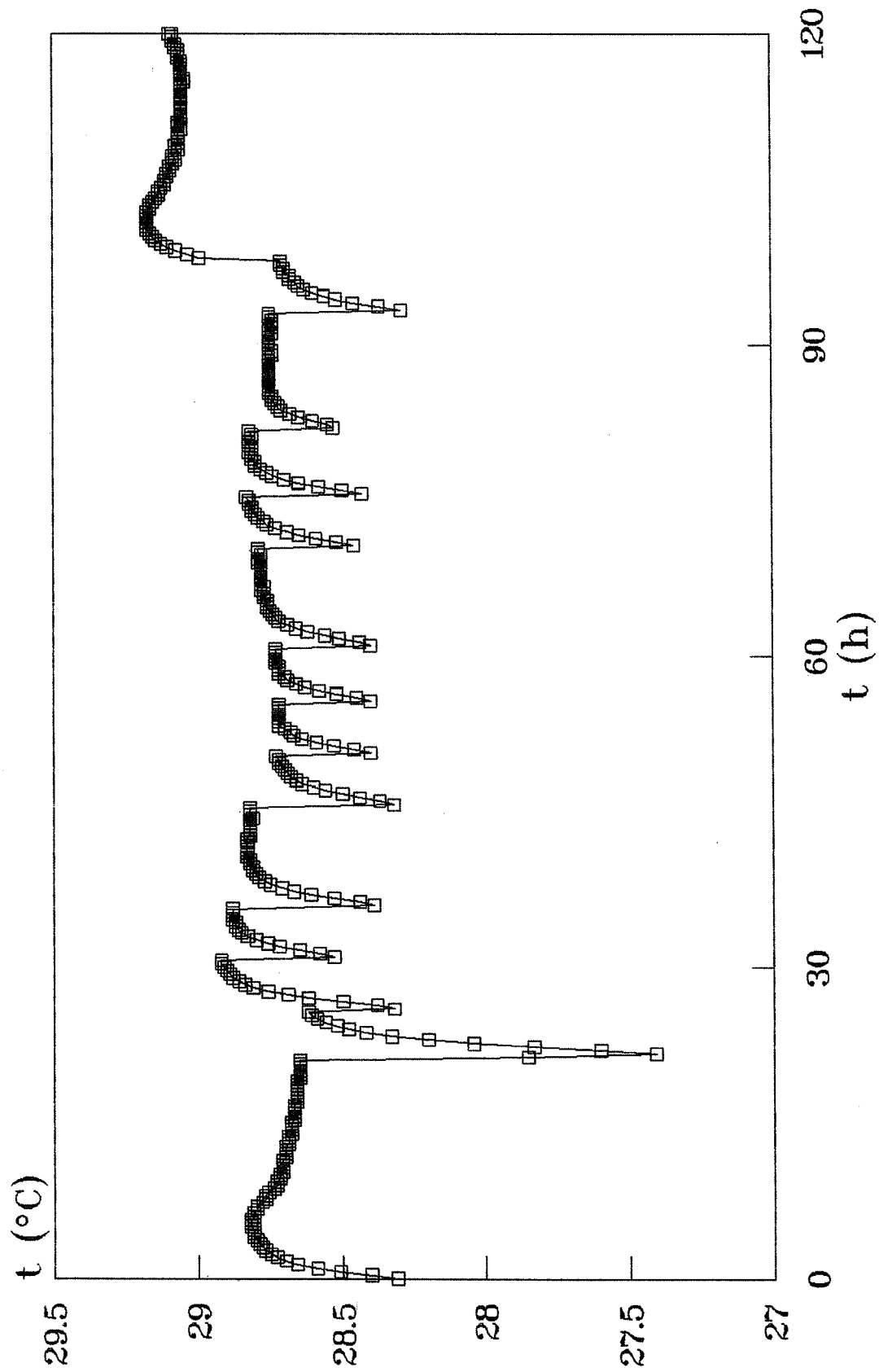
RF, kammer 3



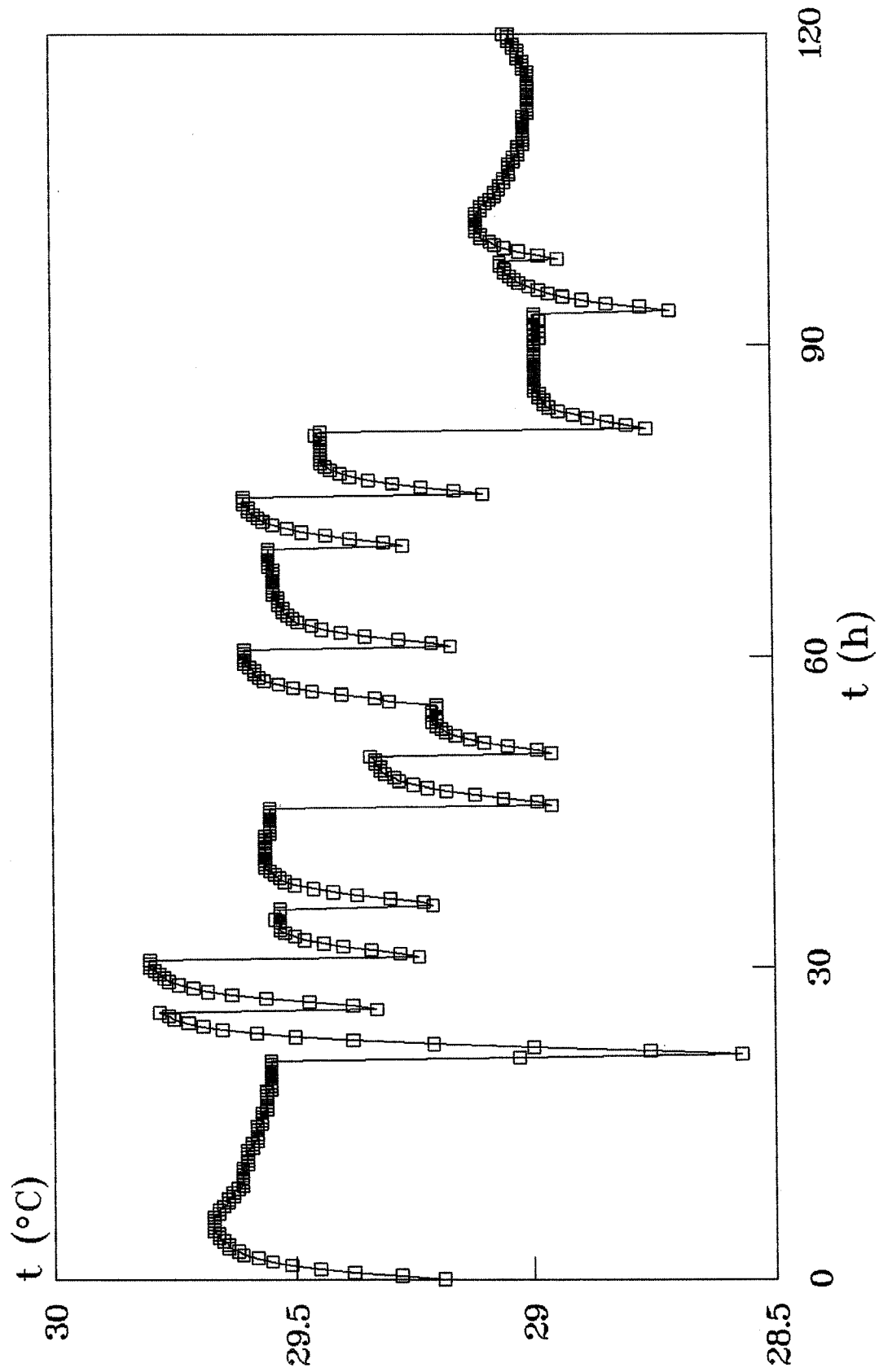
RF, kammer 4



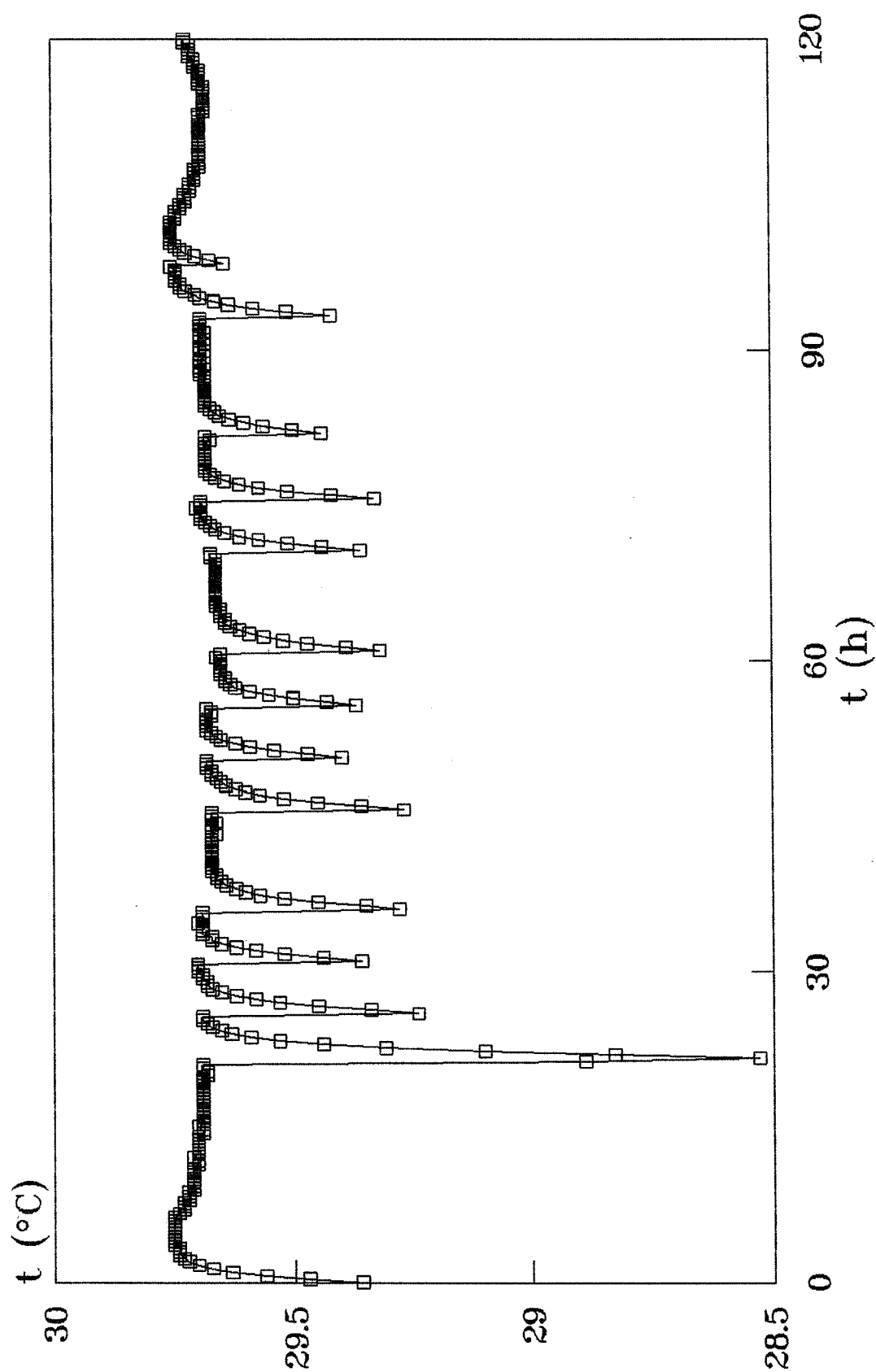
Temperatur, kammer 2



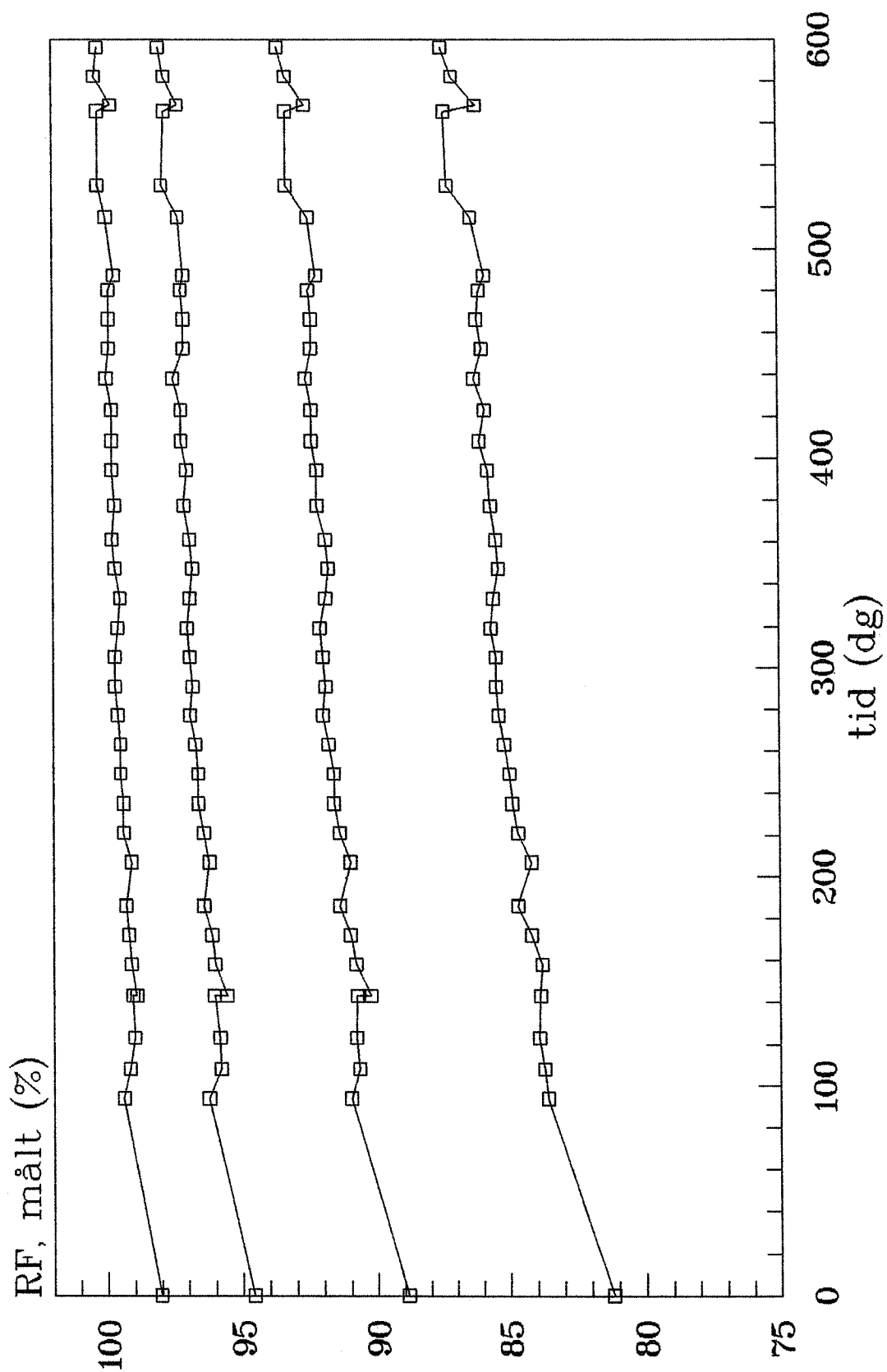
Temperatur, kammer 3



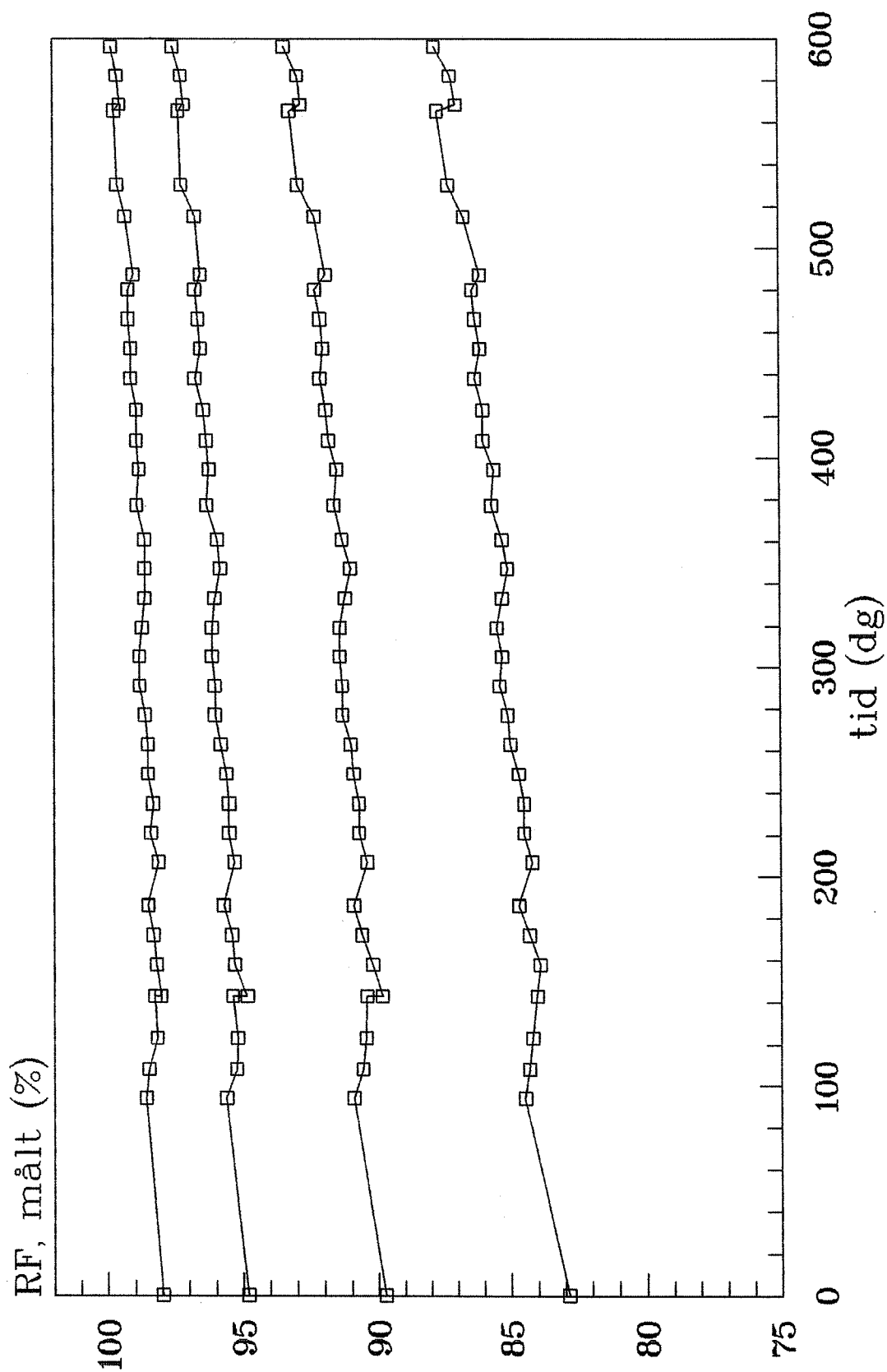
Temperatur, kammer 4



Kalibrering, kammer 1



Kalibrering, kammer 3



Kalibrering, kammer 4

