

44

**PROSJEKT
RAPPORT**



BYGGFORSK

Norges byggforskningsinstitutt

Bjørn Bakken

Måling av relativ fuktighet

Instrumenter og metoder

Måling i betongvarianter

Norges byggforskningsinstitutt 1989

Prosjektrapport 44

Bjørn Bakken

Måling av relativ fuktighet

Instrumenter og metoder

Måling i betongvarianter

Norges byggforskningsinstitutt 1989

Prosjektrapport 40

Måling av relativ fuktighet
Instrumenter og metoder
Måling i betongvarianter

UDK 697.93
ISBN 82-536-0284-7

500 eksemplarer
trykt hos NOR-TRYKK A/S

© Norges byggforskningsinstitutt 1988
Adresse:
Forskningsveien 3B, Postboks 123, Blindern
0314 OSLO 3
Telefon (02) 46 98 80
TElefax (02) 69 94 38

INNHOOLD

FORORD	5
SAMMENFATNING	6
1. INNLEDNING	7
2. HENSIKT	8
3. PROGRAM	9
3.1 Endringer i programmet	10
4. BETONGBLANDINGEN - PRØVESTYKKER	11
4.1 Betongvarianter	11
4.2 Prøvestykker	12
5. BESKRIVELSE AV AKTUELLE MÅLEMETODER/UTSTYR	13
5.1 CM-apparat	13
5.2 Veie- og tørkemethoden	14
5.3 RF-målere	14
6. FUKTMÅLING	15
6.1 Måling i luft og på betongoverflater	15
6.2 Måling i betong	16
6.2.1 Måleprinsipper og prosedyrer	17
6.3 RF-givere til fuktprosjektet	20
7. KALIBRERING AV RF-GIVERE	21
7.1 Kontroll av givere mot klimaskap	21
7.2 Mettede saltløsninger	23
7.3 Nøyaktighet og langtidsstabilitet for RF-givere	26
7.3.1 Vaisala-givere	26
7.3.2 Rotronic-givere	28
7.4 Responstid	32
7.4.1 Responstid i henholdsvis romluft og over saltløsning	32
7.4.2 Responstid over saltløsninger	33
7.4.3 Responstid ved vanlig måleprosedyre	35
7.5 Konklusjon	35

8. FUKTMÅLING I BETONG	36
8.1 Biter av betong i bokser og reagensglass	36
8.1.1 Fuktinnhold	36
8.1.2 RF-måling i forhold til CM- og veie/tørkemethoden	38
8.1.3 Konklusjon	41
8.2 Betongterninger	42
8.2.1 Likevektsfukt	42
8.2.2 Fuktinnhold	44
8.2.3 Forhold mellom fuktinnhold og trykkfasthet	46
8.2.4 Forhold mellom fuktinnhold og V/C-tall	48
8.2.5 Konklusjon	49
8.3 Betong støpt i plastbokser (ensidig uttørking)	50
8.3.1 Likevektsfukt	50
8.3.2 Fuktinnhold og relativ fuktighet	51
8.3.3 Uttørkingshastigheten	53
8.3.4 Likevektsskurver, fuktnivåer	55
8.3.5 Konklusjon	57
9. LITTERATUR	58
VEDLEGG	59
1 Prøveprogram (s. 59)	
2 Tabell over nødvendig tørketid for byggfukt i betong (s. 64)	
3 Tabeller over RF og fuktinnhold i betongprøvene (s. 65)	
4 Desopsjonskurver for betongprøvene (s. 67)	

FORORD

"Problemer med fukt" har vært et stadig tilbakevendende tema i byggebransjen. Når det gjelder golv, har vel de fleste høstet den bitre erfaring at høy fukt som oftest har vært årsak eller medvirkende årsak til skader.

NBI har bl.a. ved skadebefaringer over mange år målt fuktinnholdet i betonggolv. Resultatene er normalt blitt sammenholdt med kravet i NS 3420 "Beskrivelsestekster for bygg og anlegg" tabell 98 (1976-utgaven). Tette golvbelegg kunne ifølge standarden legges på betonggolv hvor fuktinnholdet var maksimalt 2-3 %. Etter hvert fikk imidlertid NBI mistanke om at dette kravet ikke lenger var allment gyldig. Belegget lå som oftest bra også på golv med betydelig høyere fuktinnhold.

For å få klarlagt flest mulig av disse spørsmålene etablerte NBI et egetfinansiert prosjekt 16. mars 1983. Følgende har deltatt i prosjektet:

Edgar Olsen og Terje Retteråsen: Instrumentering
Svein Bøhlerengen: Mekanisk utstyr
Tom Farstad og Morten Gabrielsen: Utstøping og prøving
Gunnar Olsen: Prøving
Bjørn Bakken: Prosjektledelse

Erik J. Sellevold har deltatt som veileder med hensyn til betongteknologi, fukt m.v. i prosjektets utførelsesfase, samt ved å gå kritisk igjennom denne rapporten.

Oslo Betong Fabrikk v/G. Sauro har vært behjelpelig med å finne fram til aktuelle blandetabeller for golvbetonger. Alt tilslag er også levert av Oslo Betong Fabrikk.

Norcem har levert MP-sement fra sine prøveproduksjoner.

Forsøkene ble avsluttet våren 1987.

Oslo, desember 1988

Bjørn Bakken

SAMMENFATNING

I årene 1983 til og med 1986 har NBI målt fukttilstand og fuktendringer i 9 betongvarianter. Prøvene omfattet 4 sementtyper samt silikastøv.

Hensikten med undersøkelsen var å få kontrollert og vurdert forskjellige målemetoder. Videre ville man prøve å få etablert likevektskurver for de nyeste betongene fordi man hadde mistanke om at disse hadde høyere likevektsfukt enn tradisjonelle betonger.

Den første tiden var det store problemer med RF-givere. Den typen man startet med, av fabrikatet Vaisala, viste seg å ha dårlig langtidsstabilitet. De gikk dessuten lett istykker. En nitidig kalibrering, spesielt etter reparasjon, var derfor nødvendig. Etter hvert ble det dessuten klart at instrumentene også hadde stor spredning i forhold til kalibreringssaltene.

NBI gikk derfor til anskaffelse av nye instrumenter, denne gangen av fabrikatet Rotronic. Disse viste seg å ha svært god langtidsstabilitet. Spredningen i forhold til kalibreringssaltene var også liten. De avsluttende målingene i betongprøver ble utført med Rotronic-givere.

På grunn av vansker med måleinstrumentene, ble arbeidsinnsatsen konsentrert mer om utstyr og kalibrering enn - som opprinnelig planlagt - om måling i betong. Den dreiningen prosjektet fikk, gjorde at NBI bygde opp en god kompetanse med hensyn til RF-giveres fordeler og ulemper, samt måleteknikk. På denne måten fikk man bl.a. besvart en rekke spørsmål vedr. kalibreringsmedium, deres blandinger, konsentrasjoner m.m. NBI er derfor idag godt rustet til å foreta målinger av relativ fuktighet.

Den maksimale relative fuktighet en betong kan utøve dersom det skal være tilrådelig å legge et tett belegg på golvet, er 90 % RF. I NS 3420 "Beskrivelsesteksten for bygg og anlegg" kap. 6, anses 3 vektprosent (våtvektprosent) å tilsvare denne tilstanden.

NBIs forsøk påviste at de fleste betongvariantene hadde et fuktinnhold høyere enn 3 vektprosent etter meget lang tid til tross for at det ble målt RF < 90 % i prøvene. Midlere fuktinnhold ble bestemt til 4-6,5 vektprosent. Dette må imidlertid korrigeres til 3-5,5 vektprosent, fordi betongene ikke var i likevekt. Det vil si at for flere betonggolv må man vente unødige lenge før fukten er nede i 3 vektprosent slik at belegg kan legges etter NS 3420 (for andre kan det være omvendt). Med de tildels lange uttørkingstidene som ble registrert under forsøkene, vil dette kunne bety et betydelig tidstap.

Konklusjonen på prosjektet er derfor at fukttilstanden i betonggolv bør bestemmes med RF-givere dersom skader og tidstap skal unngås.

1. INNLEDNING

"Problemer med fukt" har vært et stadig tilbakevendende tema i byggebransjen. Når det gjelder golv, har vel de fleste høstet den bitre erfaring at høy fukt som oftest har vært årsak eller medvirkende årsak til skader.

Raskt byggetempo får nok ta sin del av ansvaret, men fukttekniske tiltak har heller ikke alltid vært gode nok for å bringe fukten ned på et forsvarlig nivå. Det bør si seg selv at et betonggolv ikke blir tilstrekkelig tørt dersom det varmes opp ved at f.eks. et Kocoverk settes inn i rommet bare kort tid før golvbelegget legges. Et annet problem er golv på grunnkonstruksjoner der et tilsynelatende tørt betonggolv blir oppfuktet nedenfra etter at belegget er lagt fordi fuktsperren enten mangler eller er ødelagt.

Fuktproblemer kan imidlertid hindres dersom golvkonstruksjonens oppbygging og fukttilstand er kjent, og at man ved valg av belegg m.v. tar hensyn til dette. Om golvkonstruksjonen tilsvarende spesifikasjonene, kan kontrolleres samtidig med at det tas fuktprøver. Vanskene starter når fukttilstanden i prøvene skal bestemmes. Her er valg av målemetoder og prosedyrer viktig. I tillegg må man ha et pålitelig vurderingsgrunnlag.

NBI har bl.a. ved skadebefaringer over mange år målt fuktinnholdet i betonggolv. Resultatene er normalt blitt sammenholdt med kravet i NS 3420 "Beskrivelsestekster for bygg og anlegg" tabell 98 (1976-utgaven). Dette golvbelegg kunne ifølge standarden legges på betonggolv hvor fuktinnholdet var maksimalt 2-3 %. Etter hvert fikk imidlertid NBI mistanke om at dette kravet ikke lenger var allment gyldig. Belegget lå som oftest bra også på golv med betydelig høyere fuktinnhold.

Det ble antatt at årsaken til dette var at nyere betongtyper pga. tilsetningsstoffer og behandlingsmetoder hadde høyere likevektsfukt ved samme RF (relativ fuktighet) enn de tradisjonelle blandingene. Norcem var dessuten iferd med å lansere en ny MP-sement (modifisert portland) som erstatning for standard sement. Et spørsmål var om denne ville gi ytterligere endringer i betongens likevektsfukt.

Det var derfor et spørsmål om eksisterende målemetoder og vurderingsgrunnlag fremdeles var egnet til å bestemme betonggolvs fukttilstand. Kanskje de burde erstattes eller suppleres med andre metoder? Et helt nytt måleprinsipp, RF-metoden som man inntil da hadde liten praktisk erfaring med i Norge, var blitt tatt i bruk,

bl.a. i Sverige, se litteraturlista pkt. 2 og 3. Her var man kommet fram til at ca. 90 % RF var et generelt sikkert krav til betonggolv som skulle belegges med tette belegg, og hadde tatt dette inn i HUSAMA (tilsvarer vår NS 3420). Metoden bygger på et prinsipp der materialets fukttilstand, dvs. relativ fuktighet, vil være uavhengig av både type og kvalitet. Dersom man etter denne metoden kunne bestemme høyeste akseptable fuktnivå før legging av belegg på betonggolv hvor det var benyttet tilsetningsstoffer m.v., ville trolig både uvisshet og unødig ventetid kunne unngås.

Det syntes imidlertid klart at metoden både pga. pris på utstyr og en naturlig treghet i markedet, først ville komme i vanlig bruk etter en tid. Etablering av likevektskurver for aktuelle nyere betonger syntes derfor å være helt nødvendig i tillegg til introduksjon av RF-metoden.

For å få klarlagt flest mulig av disse spørsmålene etablerte NBI et egetfinansiert prosjekt 16. mars 1983. Prosjektet ble avsluttet våren 1987.

2. HENSIKT

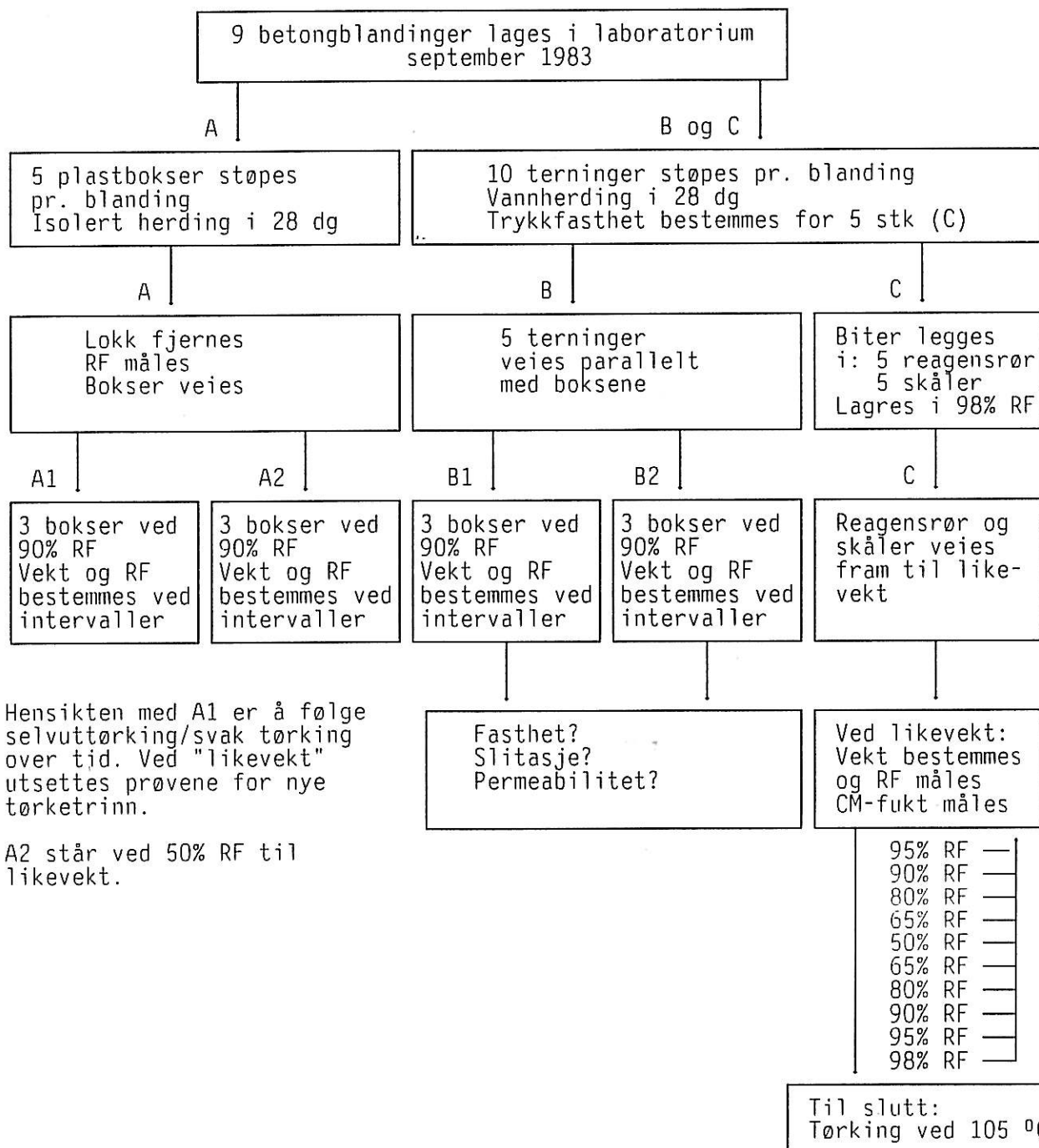
Prosjektet hadde følgende hensikt:

1. Skaffe NBI erfaring med den nye RF-giveren med hensyn til anvendelsesområder, prøvemeter og -prosedyrer, målenøyaktighet samt instrumentets fordeler og ulemper.
2. Bestemme fuktinnhold, likevektsfukt og uttørkingsforløp i tradisjonelle, dagsaktuelle og framtidige betongkvaliteter. Både veie/-tørkemeter, CM-apparat og RF-målere skal benyttes.

3. PROGRAM

Programmet er gjengitt i vedlegg 1. Flowdiagrammet nedenfor viser den endelige prøveprosedyren skjematisk for betongprøver støpt i plastbokser og for terninger. Se for øvrig pkt. 3.1.

FORSØK FLOW DIAGRAM



3.1 Endringer i programmet

Den tid det tar før betongen er kommet i likevekt i et klima, ble grovt feilregnet. Den anslåtte forsøks tiden måtte derfor forlenges vesentlig dersom alle kondisjoneringsklimaene skulle kunne benyttes. For å få til en raskere utvikling ble i første omgang 2 av de 5 parallelle variantene etter 3 uker flyttet fra 90 % RF-klimaet til 50 % RF. Det ble imidlertid fort klart at heller ikke dette ville være nok til å bringe forsøks tiden ned på et akseptabelt nivå. Syklusen som programmet beskriver, ble derfor også utelatt slik at man bare sto igjen med 2 kondisjoneringsklima: 23 °C og 50 % RF og 23 °C og 87 % RF. Mulighetene til å få etablert pålitelige likevekstkurver ble derfor redusert.

Betongbitene i skåler og reagensrør skulle vært kondisjonert i en rekke forskjellige klima (se flowdiagram). Pga. problemer med klimaskapet, ble bare kondisjonering ved 98 % RF gjennomført. En annen årsak var at man antok at karbonatiseringsprosessen påvirket vektendringen slik at disse ble usikre.

Kalibrering av RF-instrumenter ble betydelig mer omfattende enn forutsatt. Resultater og erfaringer fra dette arbeidet vil derfor bli behandlet mer grundig i rapporten enn opprinnelig planlagt.

4. BETONGBLANDINGER – PRØVESTYKKER

4.1 Betongvarianter

Med basis i utlånte blanderesepser ble det proporsjonert 9 betonger. Sementer og tilsetningsstoffer som ble benyttet, framgår av tabell 4.1.a.

Tabell 4.1.a

Prøveserie nr.	Bindemiddel/tilsetning
1	RP 38): Rapidsement
2	SP 30): Standard Portlandsement
3	SP 30 + PA(M)): Superplastifiserende stoff
4	SP 30 + PA(M) + Silikastøv
5	MP 30): Modifisert Portlandsement med 10 % flygeaske
6	MP 30): Modifisert Portlandsement med 25 % flygeaske
7	MP 30 (25 % flygeaske)
8	MP 30 (25 % flygeaske)
9	MP 30 (25 % flygeaske) + PA(M) + Silika

Hovedvekten ble lagt på MP 30 med 25 % flygeaske fordi man fra Norcems side på det tidspunktet mente at dette ville bli den framtidige MP-sementen. Senere har Norcem bestemt seg for 20 % flygeaske i MP-sementen.

Tabell 4.1.b viser betongprøvenes sammensetning samt tilsiktet og oppnådd kvalitet.

Densiteten for fersk betong ble ikke målt. Reseptene er derfor de nominelle, og ikke justert for oppnådd densitet.

Tabell 4.1.b

Alle beregninger er basert på teoretisk delvolum da ingen fersk betongdensitet ble målt!

$\rho(\text{tilslag}) = 2,63$
 Sand = 0-8 mm
 Singel = $d_{\text{max}} = 32$ mm

Tilsiktet kvalitet	C 25	C 25	C 25	C 25	C 25	C 25	C 25	C 15	C 35
Oppnådd kvalitet	C 25		C 30	C 35	C 25		C 30	C 15	C 35
Prøve nr.	1	2	3	4	5	7	9	6	8
Sem. Type	RP 38	SP 30	SP 30 + PAM	SP 30 + Silika + PAM	MP 30 (10%)	MP 30 (25%)	MP 30 (25%) + Silika + PAM	MP 30 (25%)	MP 30 (25%)
V/C	0.74	0.74	0.66	(0.55) 0.61	0.74	0.76	(0.71 0.79	0.95	0.59
Slump	11	12	15	11	10	12	9	12	10
Fasthet (28 d)	32.6	31.8	35.9	41.4	29.0	28.7	37.0	18.0	43.1
Sement	263	277	282	275	278	276	250	219	340
Sand	1060	1046	1066	1096	1051	1041	1056	1124	961
Singel	769	769	784	806	773	765	776	729	801
Vann	195	205	184	165	206	210	197	208	200
Silika	-	-	-	15	-	-	15	-	-
PAM	-	-	3 l	3 l	-	-	3 l	-	-
Luft	2,7%	1,8%	2,1%	1,6%	1,2%	1,3%	1,5%	1,6%	1,9%
V/c	0.74	0.74	0.66	0.61	0.74	0.76	0.79	0.95	0.59
Vol. pasta (%)	30.4	31.0	29.5	27.6	30.6	31.4	30.2	29.6	33.1
Beregnet/ ρ fersk	2.288	2.298	2.321	2.360	2.309	2.291	2.297	2.280	2.301
Målt/ ρ 28 døgn P/PS (28 døgn)	2.374	2.402	2.430	2.394	2.404	2.400	2.380	2.360	2.410
Silika/semnt	-	-	-	0.053	-	-	0.058	-	-

4.2 Prøvestykker

Det ble støpt ut 10 terninger av hver betongkvalitet med dimensjonene 100 x 100 x 100 mm og i 5 plastbokser hvor l = 110, b = 90 og h = 100 mm. Prøvene i plastboksene skulle brukes til RF-målingene. De ble derfor utstyrt med et rør av rustfritt stål. Se fig. 4.2., hvor RF-giveren skulle plasseres.

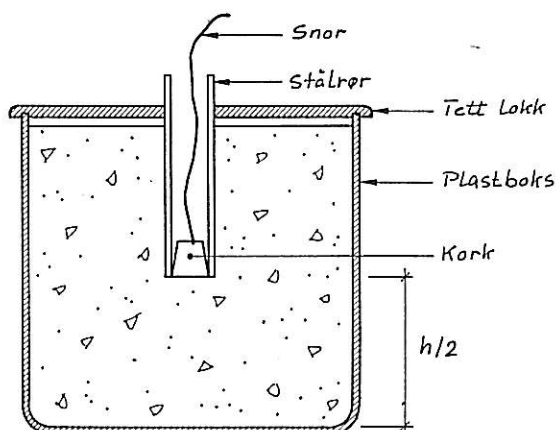


Fig. 4.2
Prøver for RF-måling

Terningene fikk herdne i vann, mens plastboksene ble dekket med et tett lokk i 28 dg. Etter herdingen ble trykkfastheten bestemt på 5 terninger av hver kvalitet. Biter fra prøvestykkene ble lagt i bokser (skåler) og reagensglass for å gå inn i fuktforsøkene.

Lokkene ble fjernet fra plastboksene, bunnkorken trukket ut og ny kork satt på plass i toppen. Overgangen mellom plastboks og betong ble forseglet med plastilin.

Alle prøver ble kontrollveiet og satt til kondisjonering i sine respektive klima. Vektendringer og RF ble bestemt ved intervaller. Målingene strakk seg over ca. 3 1/2 år.

5. BESKRIVELSE AV AKTUELLE MÅLEMETODER/UTSTYR

5.1 CM-apparat

Måling med CM-apparat er en metode som benyttes bl.a. av golvleggere og andre ute på byggeplassen. Ofte blir apparatet omtalt med sitt tyske navn - "CM-gerät". Den kalles også kalsiumkarbidmetoden og er en kjemisk metode.

Metoden er imidlertid ikke særlig nøyaktig. Hovedårsakene er at prøvestykkene er så små (ca. 20 gr) at det blir vanskelig å få representativt prøveuttak fra betongen, og at fukt forsvinner når betongen knuses. Prinsippet for metoden er at den fuktige prøven blandes med kalsiumkarbid som reagerer med vannet i materialet.

Man fyller finknust betong, stålkuler og en glassampulle med karbid på en stålflaske, og fester manometeret slik at det slutter tett om åpningen. Deretter rystes flasken. Stålkulene knuser glassampullen. Kalsiumkarbiden kan da reagere med vannet i prøven, og dermed dannes

det acetylgass. Gassen gir et overtrykk i flasken som kan leses av på manometeret. Trykket er direkte proporsjonalt med mengde vann i flasken. Ved hjelp av en tabell kan man avlese fuktinnholdet i prosent. Metoden gir ca. 1/2-1 % lavere fukt i betongen enn veie-/tørkemethoden. Figur 5.1 viser måleprinsippet.

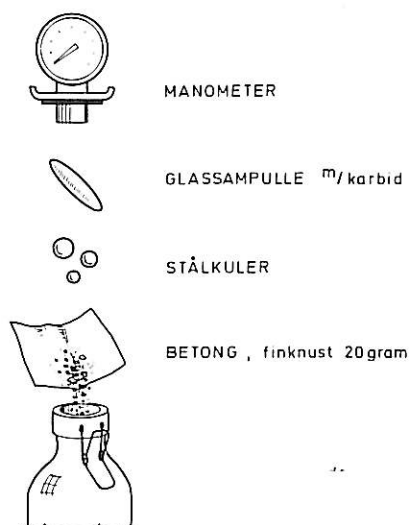


Fig. 5.1

Utstyr til måling av fukt i betong etter kalsiumkarbidmetoden

5.2 Veie- og tørkemethoden

En prøve veies, tørkes til likevekt og veies påny. Ved hjelp av de avleste vektene beregnes fuktinnholdet i prøven, vanligvis som prosent av tørrvekten etter følgende:

$$\frac{\text{våtvekt} - \text{tørrvekt}}{\text{tørrvekt}} \times 100$$

Betongprøven tørkes i en ovn ved 105 °C. Metoden kan gi de samme problemene med å få representative prøver som ved karbidmetoden, men med store prøver blir faren for feilmåling redusert.

5.3 RF-målere

Målingen utføres med en såkalt kapasitiv giver hvor det sitter et fuktfølsomt materiale mellom to kondensatorplater. Endringer i materialets ledeevne er proporsjonal med luftens relative fuktighet.

Metoden kan benyttes til å måle RF i alle porøse bygningsmaterialer. Materialbiter plasseres i f.eks. et reagensglass og tettes slik at det lille luftvolumet i glasset kommer i likevekt med den fukten som er i materialets porer. Målingen foretas i luftvolumet ved at en

giver føres ned i røret og tettes. Avlesningen foretas når systemet er kommet i likevekt. Eksempel på instrument vises i fig. 5.3.

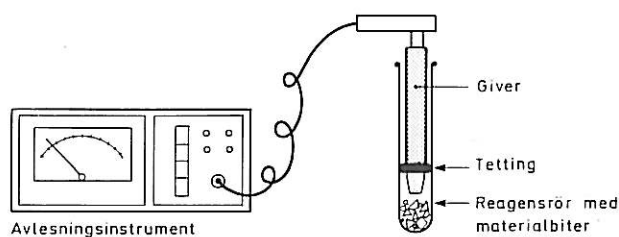


Fig. 5.3

Prinsipp-skisse for måling av relativ fuktighet

6. FUKTMÅLING

6.1 Måling i luft og på betongoverflater

Luftfuktigheten blir vanligvis bestemt med psykrometer (vått og tørt termometer). Termohydrografer, hårhydrometere mm. blir også ofte kalibrert i forhold til et psykrometer. Psykrometer er imidlertid ikke egnet til å bestemme betongfuktighet.

En metode som er blitt anvendt en del på golv, er at et måleinstrument plasseres under et diffusjonstett dekk. Her kan man f.eks. bruke en kalibrert termohydrograf. Denne blir plassert på betonggolvet med et deksel over som forsegles mot betongen, se fig. 6.1.a. I (1) er denne metoden benyttet.

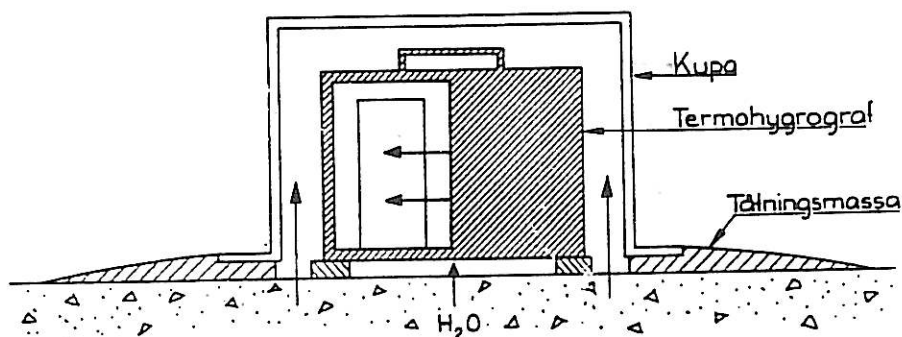


Fig. 6.1.a

Kalibrert termohydrograf med deksel for måling av temperatur og relativ fuktighet

Prinsippet forutsetter at fukten i rommet rundt termohydrografen blir like fuktig som poreluften i betongen. Dette vil ta lang tid. Normalt kan derfor bare fukten i betongoverflaten bli bestemt på denne måten. Elektriske RF-givere kan brukes etter samme prinsipp. Fordelen med disse er at rommet kan være betydelig mindre slik at omfordelingen av

fukten går raskere. Det første elektriske RF-instrumentet som kunne brukes til dette, ble innkjøpt av NBI i februar 1979. Typen var Vaisala HM 11, se fig. 6.1.b.

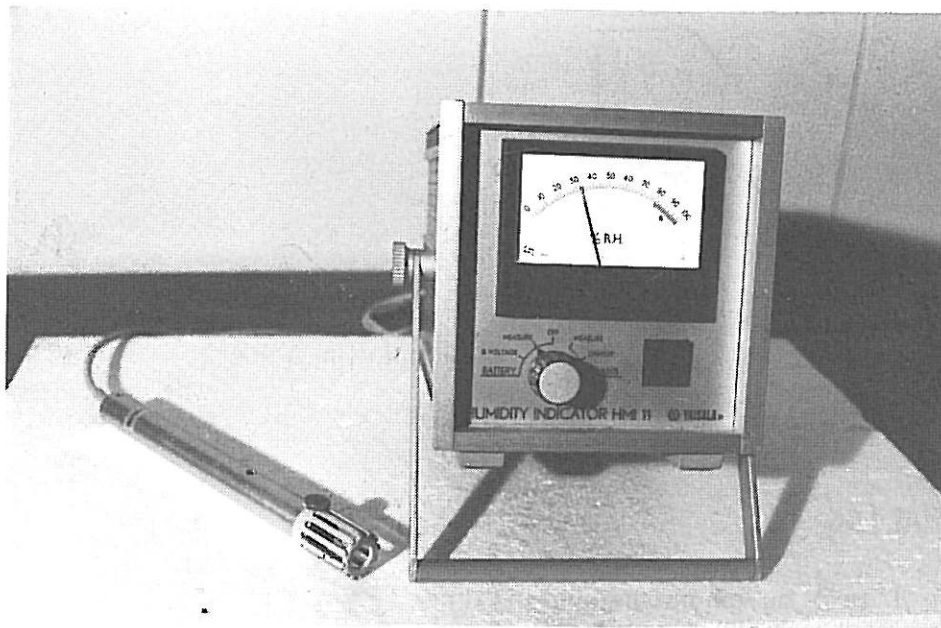


Fig. 6.1.b
Elektrisk RF-instrument av typen Vaisala HM 11

I begynnelsen ble kalibreringen av instrumentet fra produsentens side gjort mot fosforpentoksyd (P_2O_5), som utøver praktisk talt 0 % RF, og en klut fuktet med vann (100 % RF). Senere kunne Vaisala levere kalibreringsbokser med saltløsninger som utøvet forskjellig RF. Kundene kunne da selv foreta kalibrering. Kalibreringstiden var kort.

NBI benyttet instrumentet i felten ved at man skar hull i golvbelegget, plasserte føleren under og forseglet snittet. Instrumentet ble avlest etter noen minutter og ga derfor bare en indikasjon på overflatefukten. Det viste seg snart at instrumentet ikke var stabilt. Problemene var størst for målinger over 80 % RF.

6.2 Måling i betong

I oktober 1982 kjøpte NBI et nytt instrument, HM 14B, fra Vaisala. Dette skulle være mye bedre enn HM 11. I tillegg til giveren for måling i luft hadde dette instrumentet også en giver spesielt utviklet for måling i betong, se fig.6.2.



Fig. 6.2

Vaisala RF-måler HM 14 B

Måleområder: Relativ fuktighet 40 % til 98 %

Temperatur -5 °C til +45 °C

Denne giveren ble utviklet i et forskningsprosjekt ledet av Lars-Olof Nilsson (2).

6.2.1 Måleprinsipper og prosedyrer

Giveren i fig. 6.2 kan, foruten å måle luftfuktigheten på vanlig måte, også måle fukt i materialer i følgende tilfeller:

- a) på overflater etter "dekselmetoden" (punkt 6.1) slik det framgår av fig. 6.2.1.a
- b) i borehull på byggeplassen etter prinsippet i fig. 6.2.1.b
- c) i uttalte prøver som er lagt ned på reagensrør og forseglet, fig. 6.2.1.c

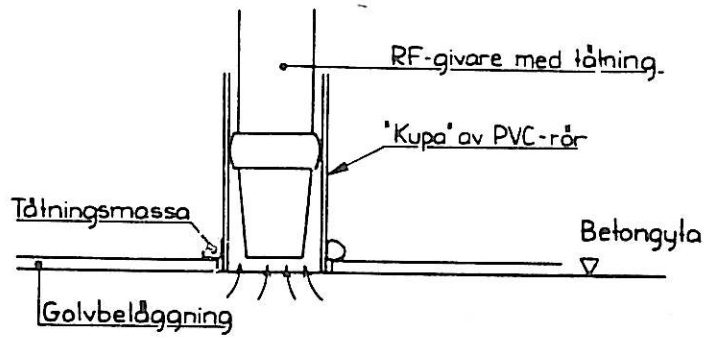


Fig. 6.2.1.a
Måling av fukt på overflate

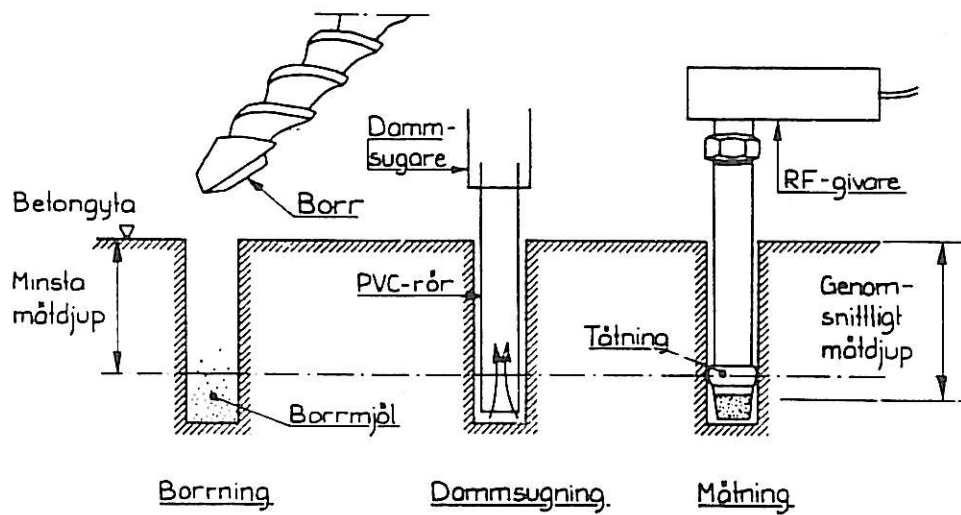


Fig. 6.2.1.b
Måling i borehull på byggeplassen

Anbefalte måledybder i ulike konstruksjoner

Konstruksjon	Minste måledyp (%) av platetykkelse
Mellombjelkelag	20
Golv på grunn, underliggende	
PE-folie	40
polystyren	40
mineralull	35

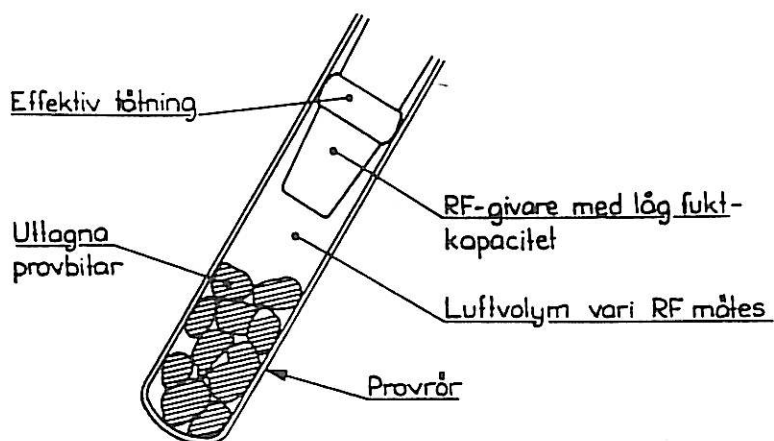


Fig. 6.2.1.c
Måling av fukt i prøver på reagensrør

Det er det siste prinsippet NBI vanligvis benytter seg av i forbindelse med skadeutredninger.

Fra det nye instrumentet (HM 14 B) ble kjøpt inn til en systematisk kalibrering ble startet opp våren 1983, ble instrumentet bare brukt sporadisk. Erfaringene fra HM 11 gjorde at man ikke helt stolte på resultatene. Første gangen instrumentet ble benyttet fullt ut, var ved et skadeoppdrag i januar 1984. Som tabellen fra rapporteringen av dette oppdraget i fig. 6.2.1.d viser, så målte man fremdeles også fuktinnholdet for sikkerhets skyld.

Tabell 6.2.1
Måleresultater fra skadeoppdrag med HM 14 B

Prøve A (L108)	Prøvedybde mm	I Fukt- vekt %	II Fukt RF %	Tid for måling av RF t	Prøve B (L 210)	Prøvedybde mm	I Fukt- vekt %	II Fukt RF %	Tid for måling av RF t
Sparkel	0-3	3,4	86	18 t	Sparkel	0-3	2.9	81	7 1/2 t
Betong	3-20	4,3	87	5 t	Betong	3-30	3.8	84	16 t
Betong	20-45	5,3	91	18 t	Betong	30-70	5.6		
Betong	45-90	5,4	91	6 t					
Isolasjon	90-120	0,9							
Isolasjon	120-140	78							
Drens- masse	140-	3,6							

6.3 RF-givere til fuktprosjektet

Dersom de RF-målinger som programmet forutsatte, skulle kunne gjennomføres innenfor en rimelig tid, måtte man ha flere givere. Det ble derfor anskaffet 3 givere til fra Vaisala. Disse var beregnet for fast montering i klimarom e.l. Betegnelsen var HMP 23 UTA.

Ved NBI ble givene bygd om slik at dimensjoner og tetteanordning ble som hos innstikkiveren til HM 14 B, se fig. 6.2. Alle tre givene ble tilkopleet en spenningskilde som skulle levere spenning til givernes sensorer. Registreringen ble foretatt med en x-y skriver. Denne var kalibrert slik at målt relativ fuktighet kunne avleses direkte.

7. KALIBRERING AV RF-GIVERE

7.1 Kontroll av givere mot klimaskap

Den første kontrollen av RF-giverne HM 14 B og HMP 23 UTA fra Vaisala ble utført mot et klimaskap. Forsøkene startet 20.9.83. Klimaskapet ble regulert i forhold til psykrometer (vått og tørt termometer). Skapet var også nytt. Nøyaktigheten var derfor ikke kjent. Man hadde bare benyttet en termohydrograf for å sjekke innstillingsnivåene.

Kontrollen av RF-giverne var derfor faktisk å stille to ukjente størrelser opp mot hverandre. På denne bakgrunnen så man seg derfor rimelig fornøyd med resultatene som vises i fig. 7.1.a.

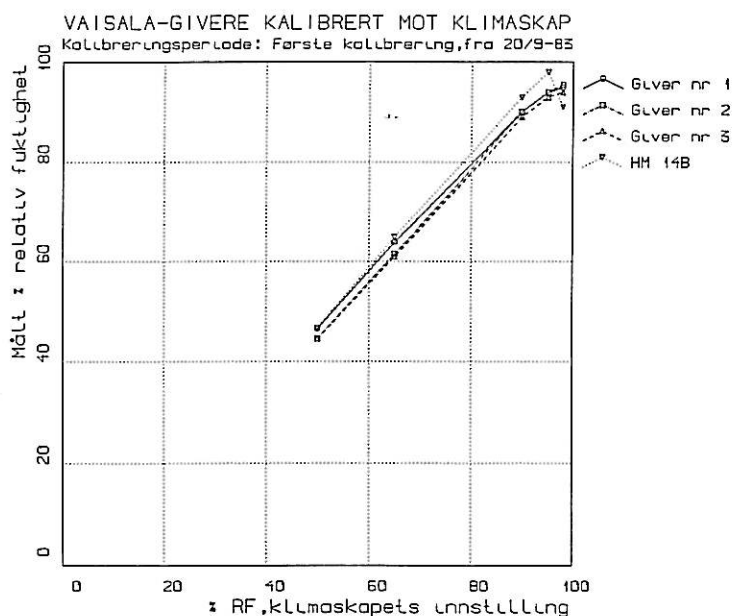


Fig. 7.1.a

Vaisala-givere kalibrert mot klimaskap

Kalibreringsperiode: Første kalibrering fra 20.9.83

I området under 90 % RF er lineæriteten god, mens kurven bøyer av over. (På et senere tidspunkt ble krumningen ved hjelp av en lineæriseringsenhet rettet opp.) Spredningen mellom giverne er liten. Klimaskap og givere samsvarte best ved ca. 80 % RF, mens giverne viste for lite ved lavere RF. Vinkelen kunne imidlertid justeres. For målingene som er vist i fig. 7.1.b er giverne blitt justert. Forholdet mellom skap og givere er her blitt bedre. Det samme gjelder lineæriteten. Verdien for giver 1-3 (HMP 23 UTA) er svært like, mens HM 14 B ligger på et lavere nivå.

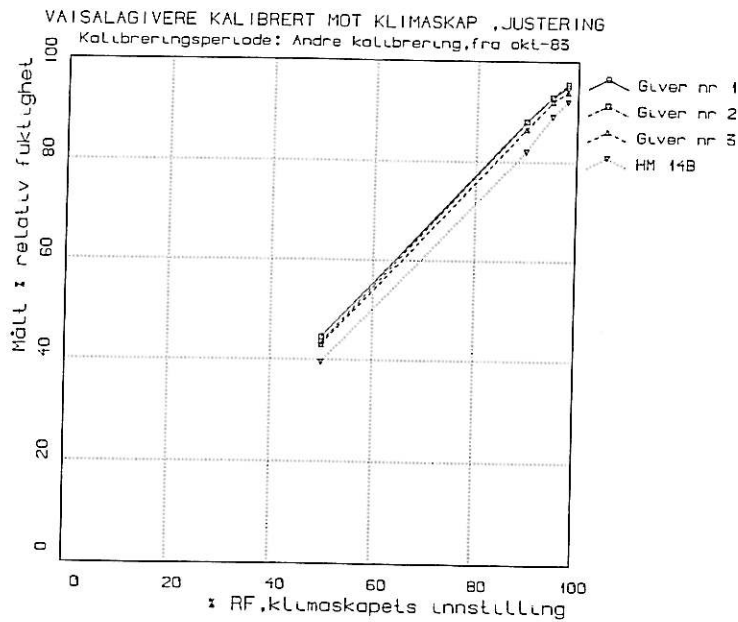


Fig. 7.1.b

Vaisala-givere kalibrert mot klimaskapjustering

Kalibreringsperiode: 2. kalibrering, fra oktober 1983

For å undersøke måleprinsippet med å legge materialbiter i reagensglass, se fig. 6.2.1.c, ble det tatt fliser av trematerialer som var i likevekt i et 90 % RF klimarom. Flisene ble lagt på reagensglassene og korket. En dag senere ble føler 1-3 stukket ned i glassene. De startet da fra et klima mellom 70-80 % RF.

Figur 7.1.c viser at måletiden i dette tilfellet måtte være ca. 12-24 t før riktig resultat kunne avleses. Man kunne imidlertid ha fått akseptable resultater etter ca. 2 t. Måleresultatene var svært oppløftende, 90-92 % RF i avlest verdi var meget bra.

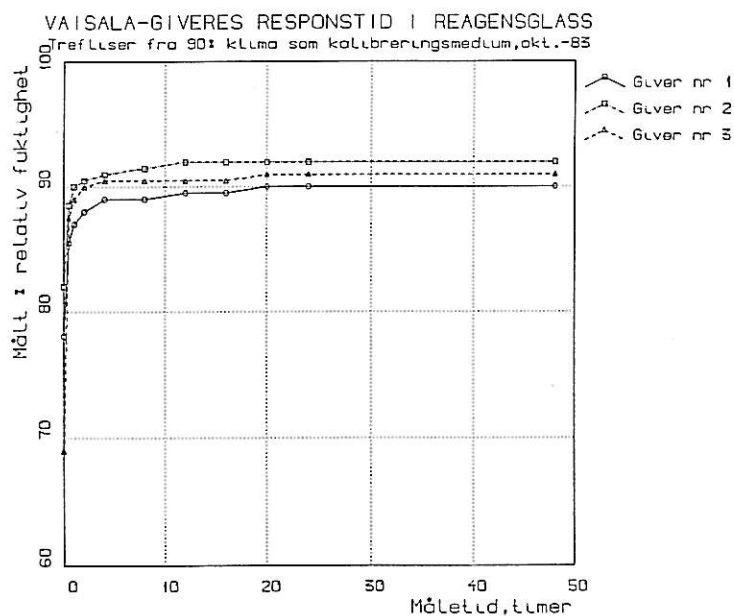


Fig. 7.1.c

Responstid for Vaisala-givere i reagensglass

Treflisser fra 90% klima som kalibreringsmedium, oktober 1983

7.2 Mettede saltløsninger

Vaisala hadde etter hvert begynt å basere sin kalibrering på den RF som utøves over mettede saltløsninger. De hadde i denne forbindelsen laget kalibreringsbokser hvor det var satt ned 2 glass med hver sin saltløsning. Normalt ble det ved kalibreringen benyttet lithiumklorid (LiCl) med 11,3 % RF ved 20 °C og kaliumsulfat (K_2SO_4) med 97,4 % RF ved 20 °C. Løsningene ble framstilt ved at saltet ble fylt på glassene til et visst nivå og destillert vann til et nivå over dette. Løsningene fikk stå i 24 t og var deretter klare til bruk.

Mellom 11,3 og 97,4 % RF kan det også brukes andre saltløsninger for å få bestemt lineæriteten. NBI framstilte løsninger av Magnesium nitrat ($\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$) med 53,4 % RF og Natriumklorid (NaCl) med 75,4 % RF til dette formålet.

De forskjellige RF-giverne ble i første omgang noe vilkårlig kalibrert mot disse 4 saltløsningene. Forskjeller i resultater over samme saltløsning gjorde at man lurte på om kalibreringsmetoden var god nok. Blant annet var man usikker på om løsningene var riktig blandet, eller om det var luftlekkasjer mellom giver og kalibreringsglass. Man fikk dessuten informasjon fra Danmark om at man der brukte "grøt", dvs. lite vann i saltet, i stedet for løsninger. For å få klarlagt om noe av dette hadde innflytelse på kalibreringen, ble de variantene som gjengis i tabell 7.2 undersøkt.

Tabell 7.2

Målinger utført i mars/april 1984 med HM 14 B (Betongføler)		Måletid 1 t				Måle- tid 5 t
		11,3%	53,4%	75,4%	97,4%	97,4%
% RF over salt:		11,3%	53,4%	75,4%	97,4%	97,4%
Løsningstype	Kalibreringstype					
Saltløsninger framstilt etter Vaisala resept	Vaisala kalibreringsboks % RF:		52,5		94,5	95,0
	Reagensrør	9,5	53,0	73,0	93,5	94,0
Saltet ble til- satt så lite vann at det ble "en grøt"	Vaisala kalibreringsboks % RF:					93,5
	Reagensrør % RF:	11,0	45,0	71,5	90,0	92,0

Man var på det tidspunktet ikke helt innforstått med måletidens betydning for resultatet. Giverne sto derfor bare en kort tid til kalibrering. Systematikken var også dårlig. Forsøkene indikerte imidlertid at grøtblandinger av salter ikke ga riktigere kalibreringsverdi enn løsninger, heller tvert om. Med løsninger var det liten forskjell mellom resultatene i Vaisala boks og reagensrør, se fig. 7.2.

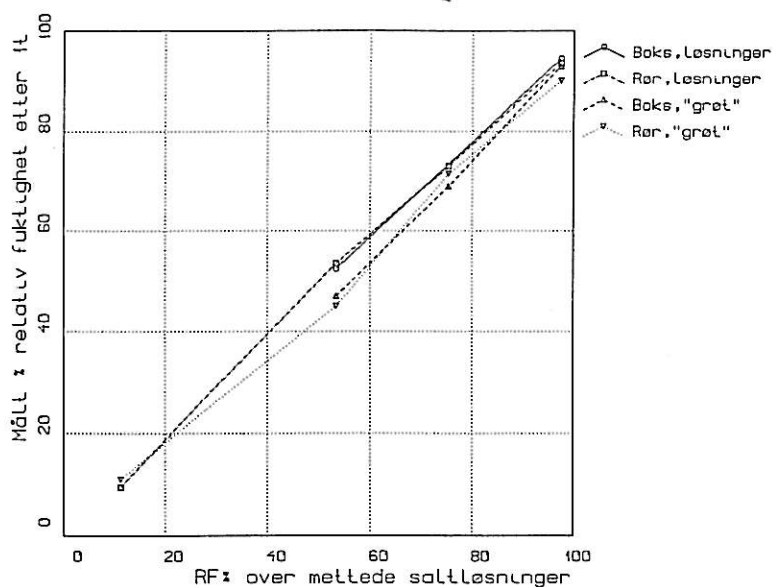


Fig. 7.2

Kalibreringer i forskjellige saltløsninger og "kammer"
Målingen utført i mars/april 1984 med HM 14 B

Vaisala-boksene var imidlertid noe mer tungvinte å bruke enn reagensrørene, bl.a. fordi bronsefiltrene på givene måtte fjernes før kalibrering. Av praktiske årsaker ble derfor reagensrør med saltløsninger bestemt som kalibreringsutstyr for framtiden.

Vi stolte imidlertid ikke ennå helt på saltløsningene. Det ble derfor også laget nye løsninger fra én bestemt salttype, både av salt fra samme emballasje, men med måneders intervaller og fra innkjøp på forskjellige tidspunkt. Kalibrering i disse variantene avslørte ingen systematiske feil. Videre ble løsninger av $Mg(NO_3)_2$, dvs. saltløsning med 53,4 % RF ved 23 °C, laget ved at blandingen av salt og destillert vann ble varmet opp til 100 °C og deretter avkjølt til 23 °C slik at "overskuddssaltet" ble utfelt. På denne måten skulle løsningen bli mer homogen. RF over denne løsningen ble den samme som for løsninger der blandingen var utført mekanisk. Det var imidlertid viktig for begge prosedyrer at det etter blandingen alltid var utfelt salt på reagensglasset. På denne måten kunne det kontrolleres at blandingen var mettet. Man slo seg derfor til slutt til ro med at salter er tilstrekkelig nøyaktige som kalibreringsmedia dersom temperaturen i rommet er stabil.

7.3 Nøyaktighet og langtidstabilitet for RF-givere

7.3.1 Vaisala-givere

Fra og med mai 1984 ble kalibreringen systematisert for de 3 ombygde giverne. Kalibreringstiden var 24 t over hver saltløsning. (På grunn av helgen forekom også 72 t.) Hver giver ble kalibrert 1-2 ganger pr. uke. Alle hadde derfor vært gjennom en full kalibreringssyklus, dvs. kontrollert over 4 forskjellige saltløsninger, i løpet av 1 måned.

I 1985 ble det også laget 3 løsninger av hvert salt, slik at giverne kunne bli kalibrert mot lik RF samtidig. Årsaken til dette forsøket var at man hadde registrert endringer i langtidsstabiliteten. Denne kontrollen avslørte intet uvanlig. Det ble derfor klart at problemene skrev seg fra giverne, og man foretok hyppigere justeringer. Filamenter (sensorer) ble også skiftet ut. Alt dette virket inn på nøyaktigheten av de målingene som ble foretatt i betongprøvene. Man ble etter hvert derfor lite fornøyd med måleutstyret. Et eksempel på spredning er gjengitt i fig. 7.3.1.a for giver nr. 1. Der er både de enkelte kalibreringsresultatene og regresjonskurven med standardavviket angitt. Langs Y-aksen er standard avvik $\pm 4,6$ % RF-enheter. Nøyaktigheten for de første målingene i betong er derfor dårlig. Hyppigere justeringer m.m. fra februar 1985 bedret nøyaktigheten, dvs. at standardavviket ble redusert til $\pm 2,7$ % RF-enheter. Disse kalibreringene angis i fig. 7.3.1.b

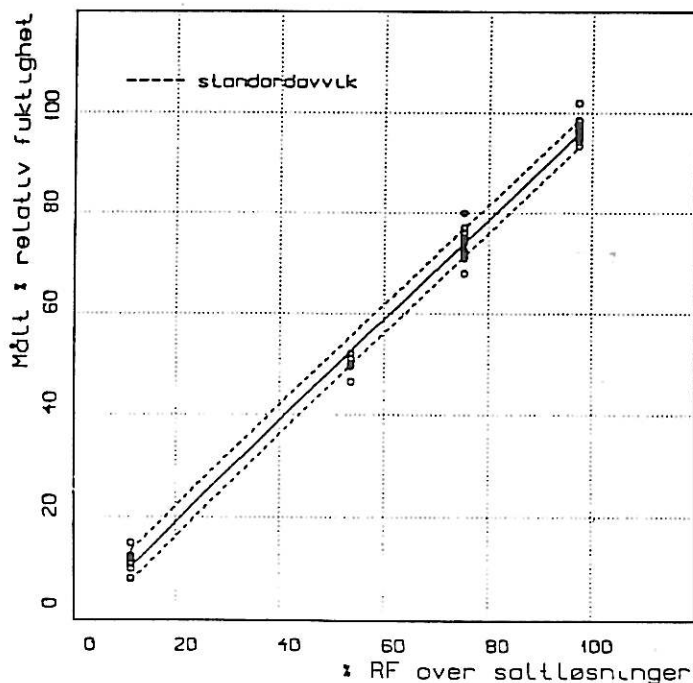


Fig. 7.3.1.a

Regresjonskurve for Vaisala RF-indikator nr. 1
Kalibreringsperiode: 24.11.83 til 17.1.85

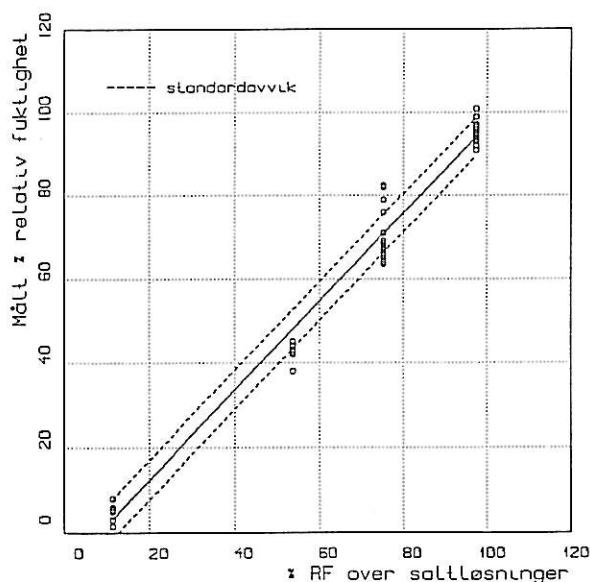


Fig. 7.3.1.b

Regresjonskurve for Vaisala RF-indikator nr. 1

Kalibreringsperiode: fra 4.2.85 til 30.9.85

Fra juni 1984 til januar 1985 ble giverne bare avlest, og ikke som tidligere justert til "sann" verdi. I fig. 7.3.1.c går det fram at giveren viser synkende RF over alle salter i denne perioden, bortsett fra over løsningen som gir 53,7 % RF, hvor RF varierte. Etter justeringen som ble foretatt i februar 1985 syntes giverne å bli bedre, men også nå var det en synkende tendens. (Endringene i juni 1985 skyldes service på skriver.) I september 1985 ble filamentene på alle giverne byttet ut med en type som bl.a. skulle ha bedre langtidsstabilitet enn tidligere. Hvorvidt dette stemte, ble ikke kontrollert da den tidligere erfaring med langtidsstabiliteten gjorde at NBI nå ville prøve andre fabrikat til de fortsatte målingene.

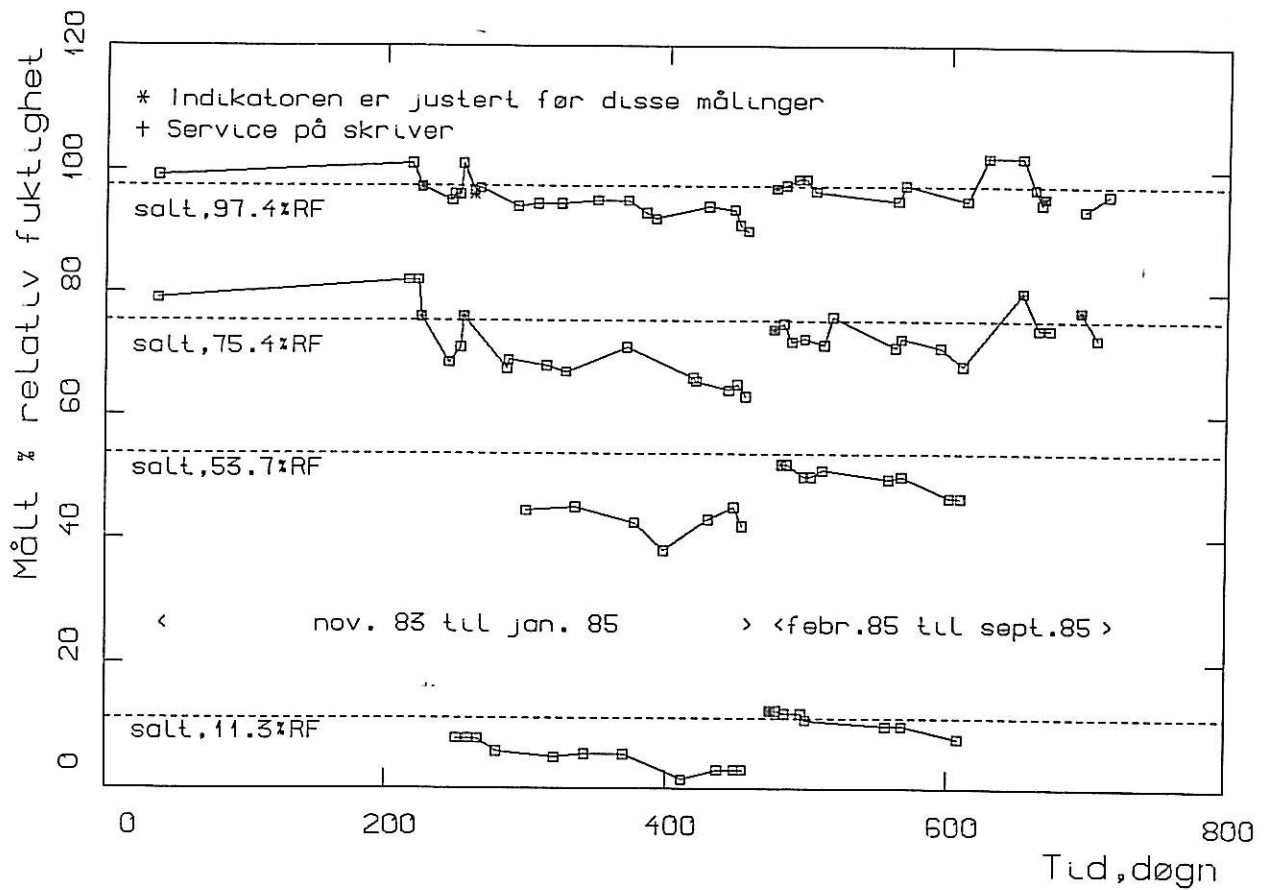


Fig. 7.3.1.c

Langtidsstabilitet for Vaisala RF-indikator nr. 1

Målt etter 24 t i reagensglass med ulike saltløsninger

7.3.2 Rotronic-givere

I august 1984 fikk NBI låne en Rotronic GT-P RF-måler. Instrumentet er beregnet for feltmålinger. Fig. 7.3.2.a viser både instrumentet og tetteanordningen som brukes i hull eller reagensrør.



Fig. 7.3.2.a

Rotronic GT-P RF-måler med tettestanordning for hull eller reagensrør

Rotronic-givere kalibreres mot lithium-klorid (LiCl) med forskjellig densitet. Et egnet kalibreringskammer følger med instrumentet. Ved NBI ble det foretatt kalibreringer mot både den medfølgende lithium-klorid og de saltløsningene NBI hadde benyttet for kalibrering av Vaisala-givere. Figur 7.3.2.b viser at lineæriteten er meget god, uavhengig av kalibreringsmedium.

I låneperioden ble derfor instrumentet også benyttet til å kontrollere klimaet i både 90 % RF klimarom og klimaskapet innstilt på 98 % RF. Følgende ble bestemt:

Klimarom: $23,5 \pm 0,5$ °C og $87 \pm 0,5$ % RF
 Klimaskap: $23,0 \pm 0,1$ °C og $94 \pm 0,5$ % RF

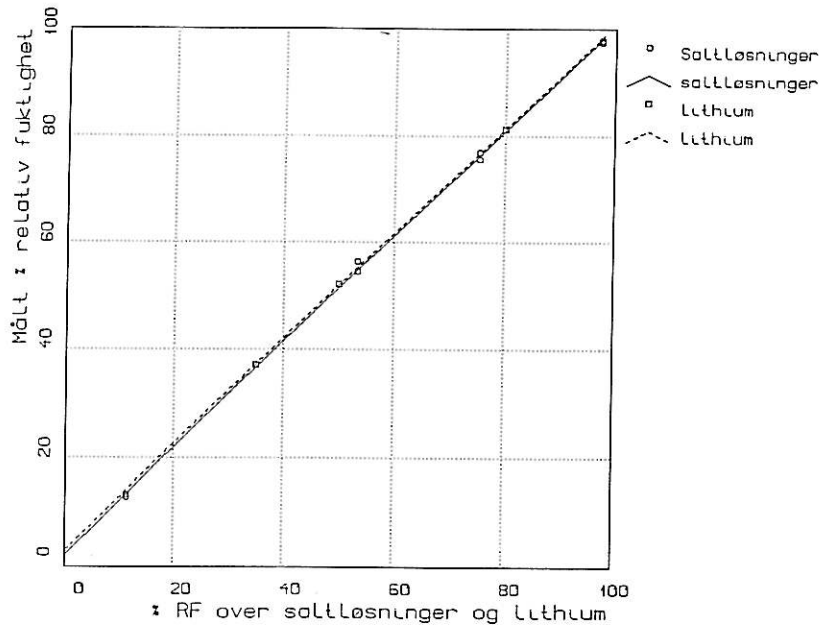


Fig. 7.3.2.b
 Regresjonskurve for Rotronic GT-P
 Kalibreringsperiode: august 1984

Til laboratoriemålinger ville imidlertid NBI ha instrumenter med størst mulig nøyaktighet, samt indikatorer med skriveruttak, noe GT-P ikke hadde. Først sommeren 1985 var det mulig å få innkjøpt egnede instrumenter, dvs. en indikator og to følere som vist i fig. 7.3.2.c og d. Disse var operative fra september 1985. Samtidig ble Vaisalagiverne kuttet ut.

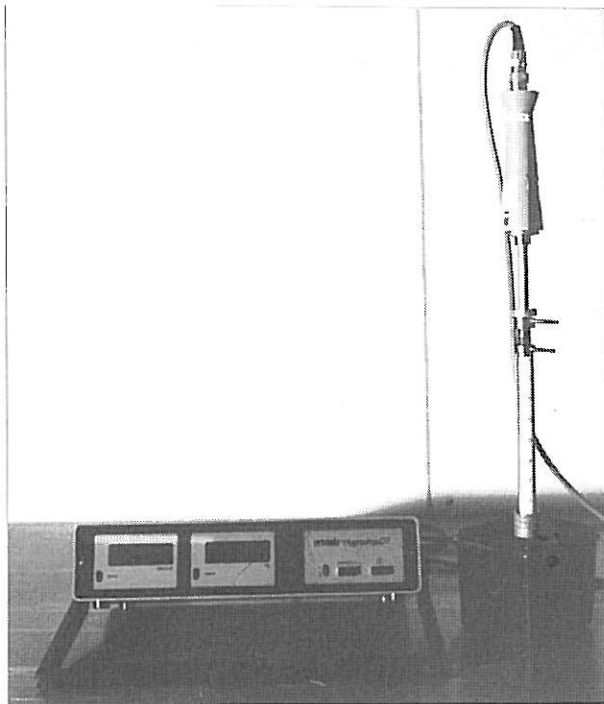


Fig. 7.3.2.c
 Rotronic 2-kanals indikator

Kalibreringene startet den 3. september 1985. Begge giverne hadde god lineæritet slik regresjonskurven for giver nr. 1, fig. 7.3.2.e, viser. Standardavviket var $\pm 1,6$ % RF-enheter for begge.

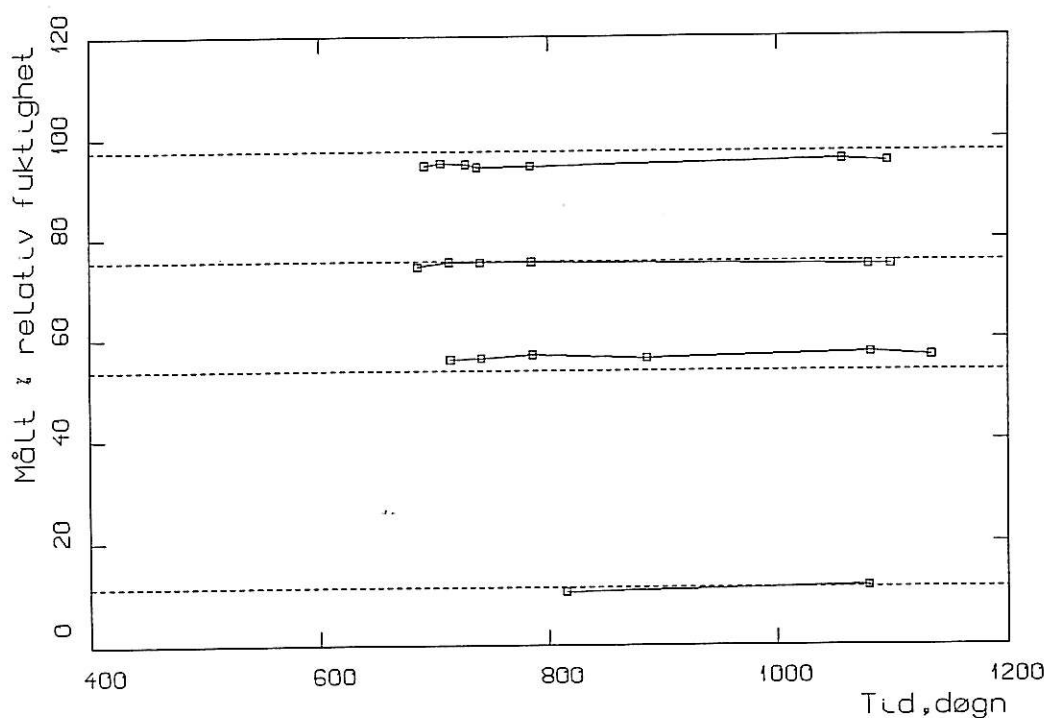


Fig. 7.3.2.d

Regresjonskurve for Rotronic RF-indikator nr. 1
Kalibreringsperiode: fra 3.9.85 til 24.11.86

Et annet positivt forhold med dette instrumentet var langtidsstabiliteten. Avviket i kalibreringen over et år var ubetydelig slik fig. 7.3.2.f viser.

Resultatene av de innledende kalibreringene indikerte at Rotronic-instrumentet var bedre enn de Vaisala-giverne NBI brukte i prosjektet. Alle målinger i betongprøvene ble derfor fra september 1985 bare utført med Rotronic-instrumentet.

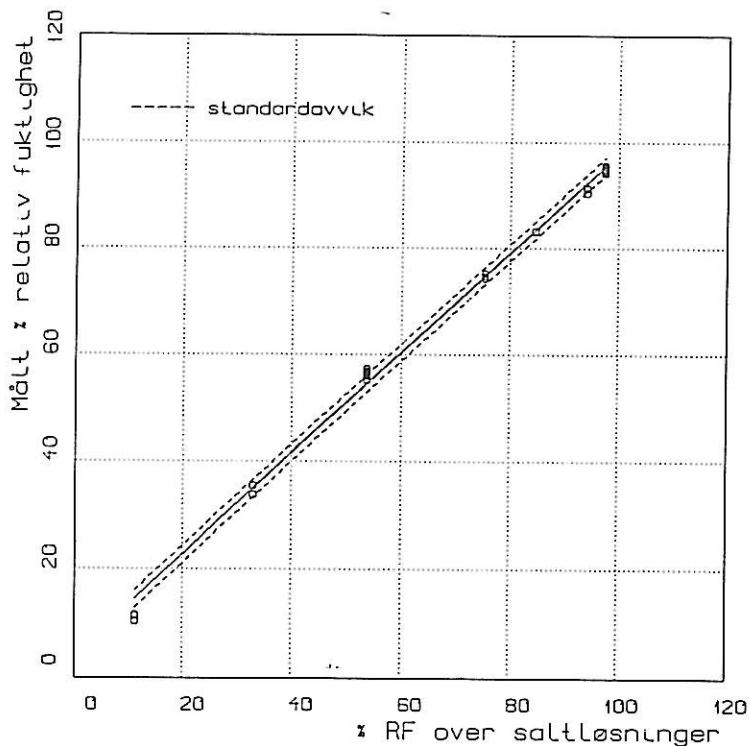


Fig. 7.3.2.e

Langtidsstabilitet for Rotronic RF-indikator nr. 1

Målt etter 24 t i reagensglass med ulike saltløsninger

7.4 Responstid

Hvor riktig et resultat skal bli, avhenger av den tiden RF-giveren befinner seg i sitt medium før den avleses. Man bør derfor kontrollere de responstidene produsentene oppgir, fordi oppgitte data bl.a. kan være framskaffet under andre forhold. Foruten måletiden, er det en forutsetning at giveren er temperaturstabilisert før relativ fuktighet avleses. Den kan f.eks. ikke tas med fra et kaldt til et varmere sted og benyttes umiddelbart. Under stabile temperaturforhold er det NBIs generelle erfaring at ved måling i romluft vil giverne stille seg raskt inn, mens det vil ta lengre tid i reagensrør og hull.

7.4.1 Responstid i henholdsvis romluft og over saltløsning

Figur 7.4.1 viser responstiden når giveren flyttes mellom romluft med 23 °C og 50 % RF og reagensrør med 97 % RF over saltløsningen (heltrukket og sammensatt linje). Fra romluft til reagensglass tar det ca. 15 t før målingene er stabile, mens det omvendt bare tar 1/2-1 t. Når den relative fuktigheten over saltløsningen bare er 73 %, reduseres måletiden (stiplet og prikket linje). Likevel bruker giveren her ca. 10 t før målingene er stabile. Fra reagensrør til rom tar det også i dette tilfellet bare 1/2-1 t å få stabile målinger.

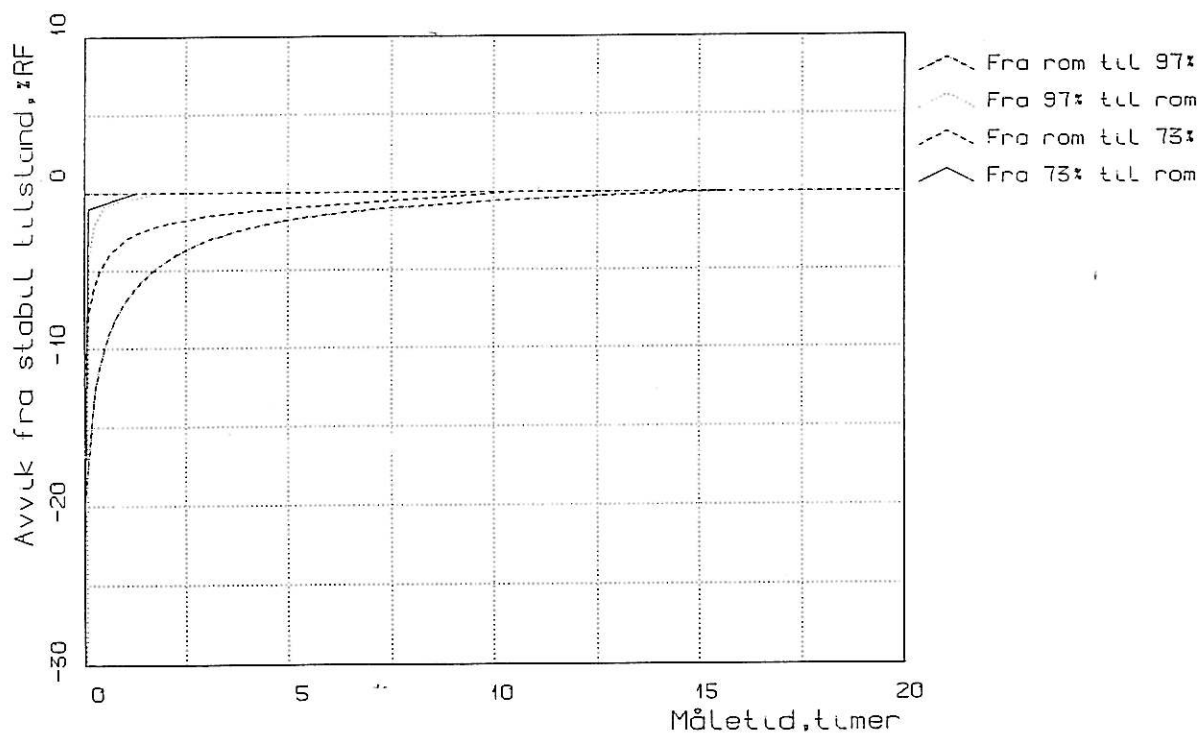


Fig. 7.4.1

Responstid for RF-giver i området 50-97 % RF

Målinger i reagensrør med saltløsninger og i romluft

7.4.2 Responstid over saltløsninger

Ugunstigste tilfelle burde være dersom giveren ble flyttet mellom reagensrør hvor saltløsningene utøvet henholdsvis høy og lav RF. Figur 7.4.2.a viser slike forsøk. Responstiden blir imidlertid også her ca. 15 t, men det synes som om at det er en viss hysteresi i giverens fuktfølsomme filament. Det tar lengst tid å avgi fukt fra høy til lav RF. Etter ca. 5 t er imidlertid forskjellen i utviklingen liten.

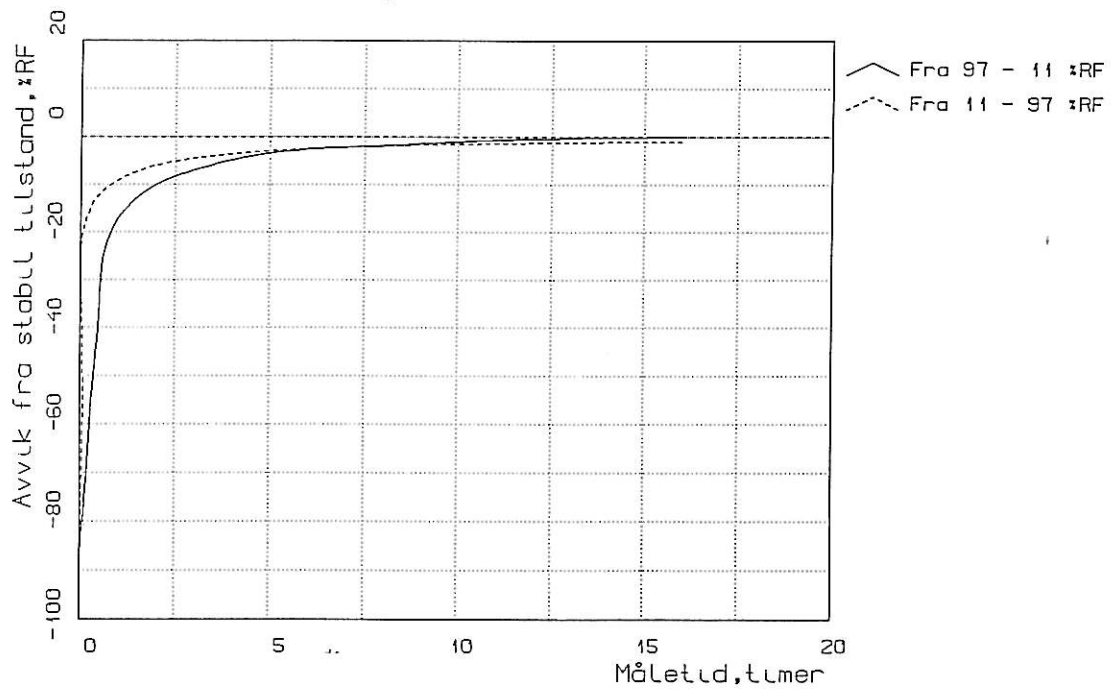


Fig. 7.4.2.a

Responstid for RF-giver i området 11-97 % RF
Alle målinger i reagensrør med saltløsninger

Figur 7.4.2.b viser at dersom intervallet mellom to RF over løsnin-
gene i reagensglassene er små, f.eks. 75-97 % RF og 53-75 % RF
vil en avlesning etter kort tid f.eks. 5 t, gi mindre feil enn ved
store intervaller.

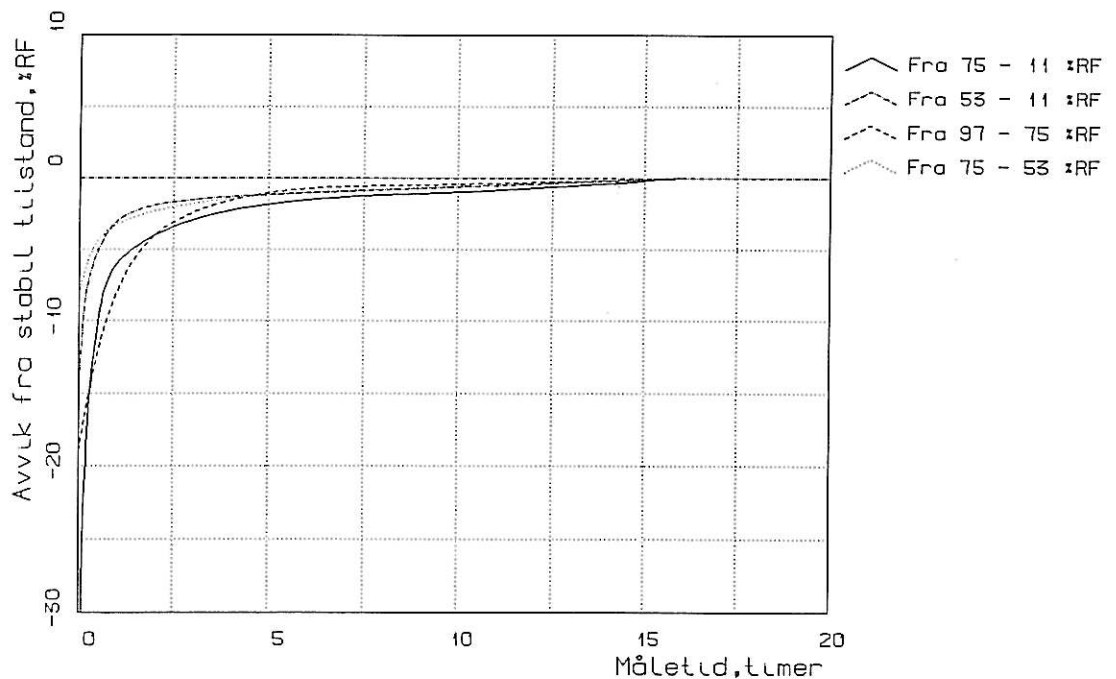


Fig. 7.4.2.b

Responstid for RF-giver i flere saltløsninger
Målinger i reagensrør

7.4.3 Responstid ved vanlig måleprosedyre

Når måling av fukttilstand for prøver i reagensrør utføres, flyttes giveren direkte fra ett reagensrør til et annet, eventuelt avbrutt av et kort opphold i klimarommet.

Figur 7.4.3 viser en slik prosedyre med noen saltløsninger og én måling med betongprøver hvor giveren flyttes fra et reagensrør etter at fukten er blitt bestemt til 95 % RF til et annet der fukten ved stabil RF blir bestemt til 88 % RF.

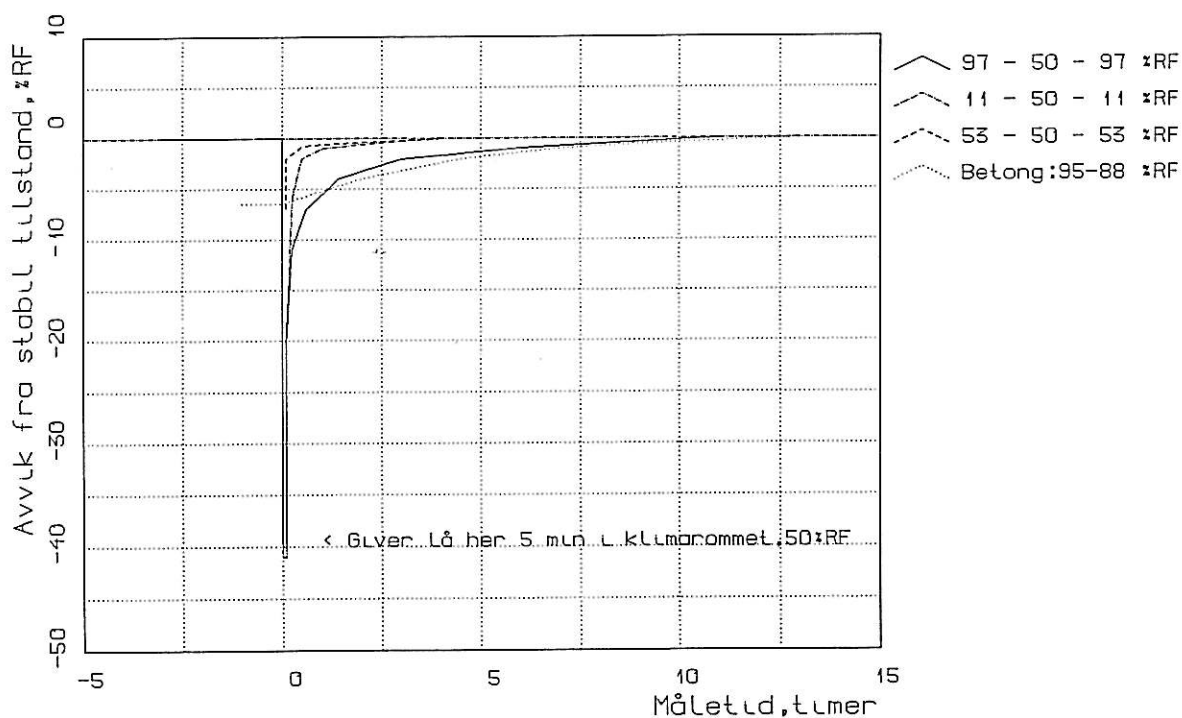


Fig. 7.4.3

Responstid for RF-giver målt alternerende i rør-rom-rør
Målinger i reagensrør

Figur 7.4.3 viser klart at responstiden blir lengst når den RF som prøven eller saltløsningen utøver, er høy. Avlesning etter kort tid når føler flyttes mellom reagensrør med høy RF, vil gi for lave verdier. Aksepteres 1-2 prosentenheter for lave verdier, kan imidlertid avlesning foretas etter ca. 5 t måletid.

7.5 Konklusjon

Vaisala-givere av den type NBI brukte, hadde for dårlig langtidsstabilitet. De krevde dessuten omfattende justeringer og oppdatering av regresjonsanalyser for at spredningen skulle bli tilnærmet akseptabel. Disse giverne ble derfor ikke benyttet ved de avsluttende fuktmålinger i prosjektet.

Rotronic-giverne viste seg å ha både god langtidsstabilitet og liten spredning. Disse er nå i bruk ved NBI for alle målinger av relativ fuktighet.

Måleprosedyren er viktig for å oppnå best mulig resultat, eller få konstatert hvilken "beregnet risiko" det innebærer ved avvik. Generelt vil man lese av "riktig" resultat etter ca. 15 t i reagensrør eller hull. Aksepteres opp til 2-3 prosentenheter for lave verdier, kan avlesning foretas etter ca. 5 t. Tidligere avlesning er ved høy RF ikke tilrådelig. I romluft vil avlesning etter ca. 1/2-1 t gi tilnærmet riktige resultater. Det forutsettes at RF-giveren i alle tilfellene har samme temperatur som måleobjektet.

For å unngå hyppige justeringer av instrumentene har NBI i stedet funnet det hensiktsmessig å etablere kalibreringskurver for hver RF-giver. Avleste resultater korrigeres i henhold til kurven.

8. FUKTMÅLING I BETONG

8.1 Biter av betong i bokser og reagensglass

8.1.1 Fuktinnehold

Hensikten med disse forsøkene var å klarlegge:

- a) Sammenhengen mellom fuktinnhold bestemt etter henholdsvis veie-/tørkemethoden og CM-metoden
- b) Fuktinnehold i forhold til relativ fuktighet

Ved å bruke betongbiter til disse forsøkene var det forventet at likevekt skulle inntre raskere enn for betongterninger og betong i plastbokser. Det viste seg imidlertid at man etter en tids kondisjonering i 95 % RF fikk vektøkning i stedet for stabilisering etter vekttapet. Da man ikke visste årsaken til dette, ble de andre kondisjoneringssklimaene kuttet ut.

Figurene 8.1.1 a og 8.1.1 b viser utviklingen for knuste betongbiter i henholdsvis "vide" bokser (skåler) og trange reagensrør.

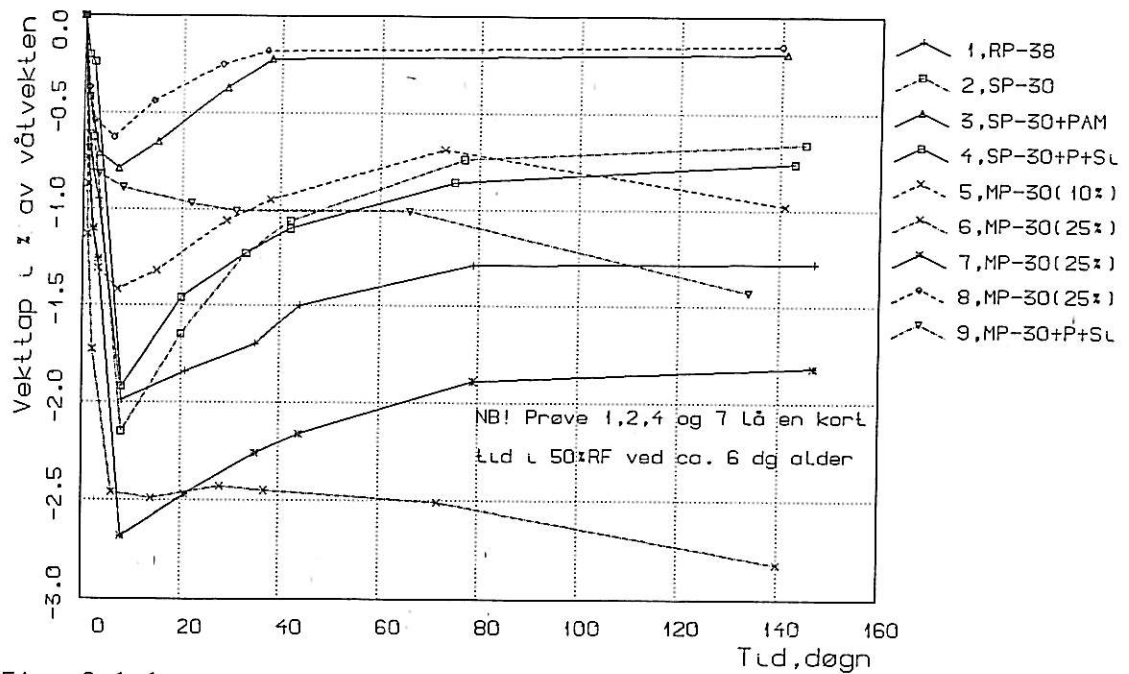


Fig. 8.1.1.a
Knuste betongbiter i boks
Vektendringer av prøve A i 98 % RF

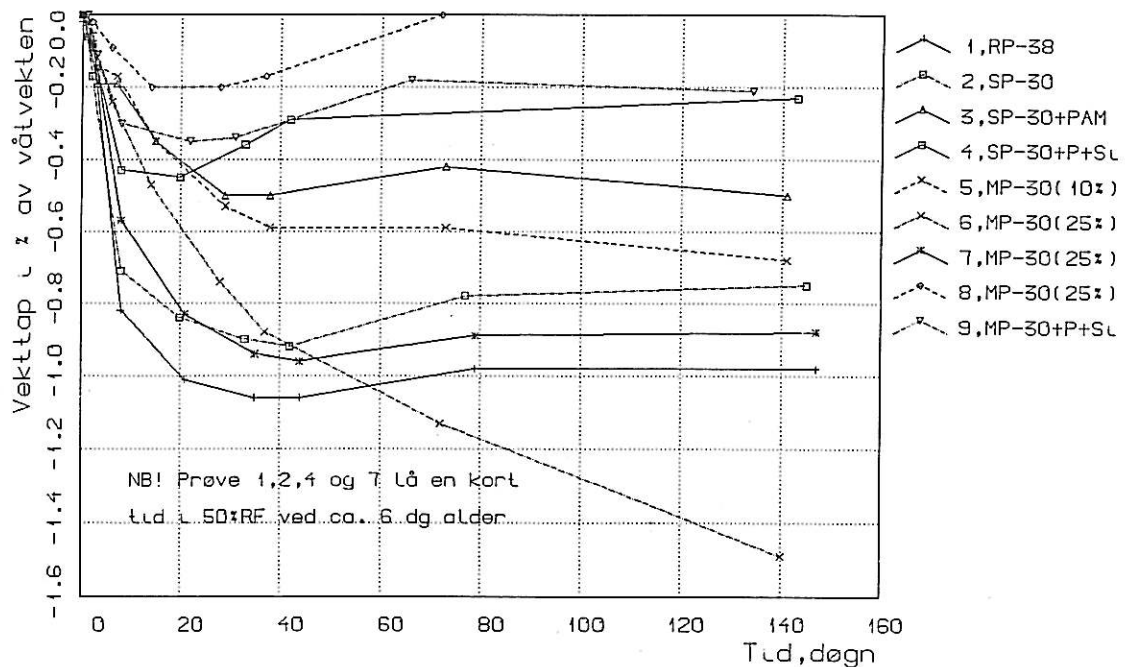


Fig. 8.1.1.b
Knuste betongbiter i reagensrør
Vektendringer av prøve A i 98 % RF

Naturlig nok skjedde vektendringen raskest og mest markert i boksene, men forløpet var stort sett det samme i begge emballasjene: Etter en relativt kort periode med vekttap begynte vekten for de fleste å øke. Endringene var små, men tydelige.

Man kunne ha ventet at prøve 1, 2, 4 og 7 ville fått en vektøkning fordi disse pga. problemer med klimaskapet hadde vært kort tid i 50 % RF. Av de øvrige var det bare prøve 6 som hadde et klart vekttap i begge emballasjene, og prøve 5 og 9 henholdsvis i rør og boks.

Kondisjoneringsklimaet var 23 °C og 95 % RF. Faren for karbonatisering er størst ved 30-70 % og skulle derfor ha liten betydning for disse prøvene. Dersom karbonatisering likevel har skjedd, må den ha hatt ulik innvirkning, avhengig av bindemidlet. (Prøve 6 hadde minst og prøve 8 mest sement.)

En årsak kan imidlertid være selvuttørkingen. Ved f.eks. v/c 0,60 vil betongen pga. denne utøve < 95 % RF, dvs. at i et kondisjoneringsklima på 95 % RF, vil vekten øke. Prøvene var tatt fra betongtærninger som ble knust. Disse hadde ligget vannlagret i 28 dager. De var derfor våte på overflaten og pga. selvuttørking tørre inni. Forskjellig mengde vått og tørt materiale som ble lagt i prøveemballasjen og ulike v/c-tall (Se tabell 4.1.b) kan ha gitt variasjonene. Prøve 6 med v/c 0,95 har i denne forbindelse hatt svært liten selvuttørking.

På grunn av de noe uforklarlige vektøkningene ville man ikke satse på å føre forsøkene videre med nye kondisjoneringsklima. Prøvene ble derfor bare tatt ut av klimaskapet og lagt til lagring i 87 % klimarom, slik at endringer i RF kunne måles på et senere tidspunkt. Bestemmelse av vektendringer ble avsluttet.

8.1.2 RF-måling i forhold til CM- og veie-/tørkemethoden

Prøvene var 280-300 dager gamle den 1.8.84. Da ble det tatt biter fra boksene for å bestemme fuktinnholdet. Samtidig ble den relative fuktigheten i reagensrørene bestemt. Tabell 8.1.2 viser resultatene.

Tabell 8.1.2

Føler nr.		Prøve nr.		Kondisjoneringsklima 23 ± 0,1 °C og 94,0 ± 0,5% RF		Anmerkninger:
				% RF 1)korr	Veie/tørke- metoden tørrvekt -%	
1	1A	94,5	4,0	2,6	3,6	A: RF 93-98 % ved fuktinnhold 2,7-7,1 vektprosent for tørke/veiemetoden, og 1,0-5,1 vekt- prosent for CM- apparater. Dvs. begge er <u>uten</u> korrelasjon til RF. B: CM-metoden har dårlig korrelasjon til tørke/veiemetoden: 0,517. Se fig. 8.1.2.a
1	1B	95,5	2,7	3,9	4,4	
2	2A	93,0	4,1	2,5	2,8	
2	2B	94,5	3,1	2,7	3,2	
3	3A	94,5	5,3	3,1	3,8	
3	3B	97,5	5,7	3,5	4,1	
1	4A	96,0	2,5	3,5	4,4	
1	4B	96,5	4,2	3,2	3,8	
2	5A	94,0	4,7	3,3	3,7	
2	5B	93,5	4,6	3,6	4,3	
3	6A	97,5	2,9	2,6	2,7	
3	6B	98,0	3,9	2,7	3,0	
1	7A	95,0	2,9	3,0	3,3	
1	7B	96,0	3,1	0,8	1,0	
2	8A	93,0	6,4	4,0	5,1	
2	8B	94,0	7,1	3,1	3,8	
3	9A	96,5	6,5	4,2	4,5	
3	9B	97,0	6,4	-	5,1	
Modell		95,4	4,5	3,1	3,7	
St. avvik		1,6	1,5	0,8	1,0	
Var. koeff.		1,6%	32,9%	25,1%	26,3%	

1) Notat: Kalibreringsperiode for Vaisala-givere: 23.7-3.9.1984

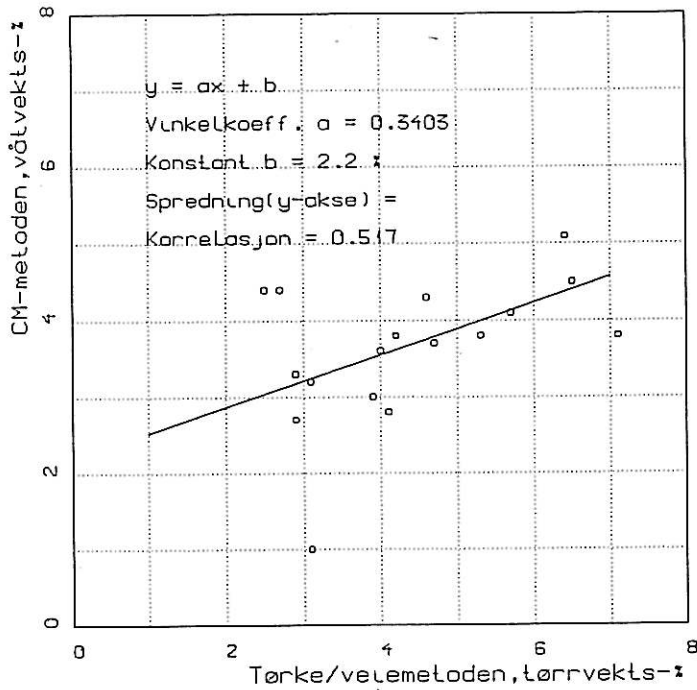


Fig. 8.1.2.a

Korrelasjon mellom CM-metoden og tørke-/veiemetoden

Tabell 8.1.2 illustrerer klart at måling av fuktinnhold på små betongbiter gir stor spredning enten man benytter seg av veie-/tørke-metoder eller CM-metoden. Særlig CM-metoden kan her bli villedende fordi man bruker bare noen få gram av betongen til prøven (5-20 g). Den blir dessuten først knust slik at fukt også avgår før betongprøven blir lagt i stålflasken. Videre kan man med så små prøver risikere å ikke få med seg en representativ del av betongen. Resultatene for prøve nr. 7 A og B i tabell 8.1.2 er et godt eksempel på dette. Tiden før manometeret avleses har også betydning for resultatet. Kolonne for avlesning etter henholdsvis 1/4 t og 24 t viser dette. Normalt vil et CM-apparat ble avlest etter 15-30 min på byggeplassen, mens tilnærmet riktig resultat først kan forventes etter ca. 1 dag. I tabell 8.1.2 har den feilen varierende betydning. Midlere feilavlesing vil være ca. 0,5 prosentdel for lavt, mens enkeltresultatene vil være over 1 prosentdel. Figur 8.1.2. b viser grafisk den midlere utviklingen.

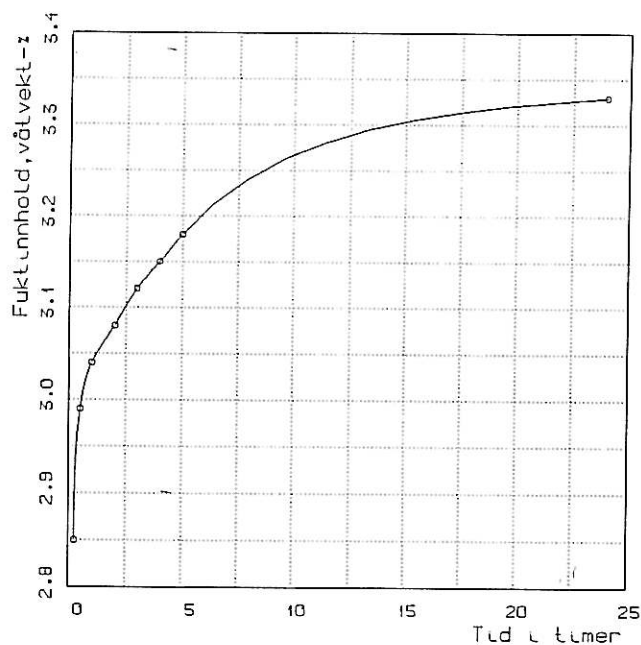


Fig. 8.1.2.b

Fuktinnhold som funksjon av tiden, bestemt med CM-apparat

8.1.3 Konklusjon

Forsøkene viste at CM-apparatet er et lite egnet utstyr for bestemmelse av fukt i betong. Erfarne folk kan likevel ha noe nytte av apparatet fordi disse i tillegg til måleresultatet tar med i vurderingen betongens alder, sammensetning, m.v.

Bestemmelse av fuktinnholdet etter veie/tørkemethoden blir også feilaktig på små prøver. Metoden er imidlertid brukbar dersom prøvene blir 0,25 kg eller mer. Problemet er at man sjelden vet nok om betongen til å bestemme hvilken RF det aktuelle fuktinnhold representerer. Figur 8.1.3 fra (3) viser dette. Denne metoden er derfor også lite egnet for betong - spesielt for uthogne prøver.

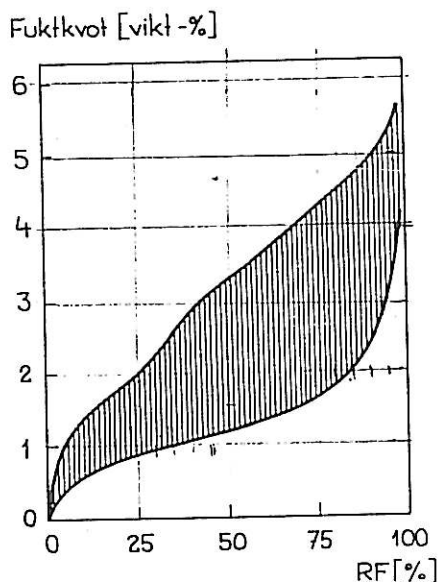


Fig. 8.1.3
Variasjonsområdet for likevektsfukt i betong av ulike kvaliteter.
Etter Ahlgren (1972)

Klimaskapet var innstilt på 98 % RF, mens riktig RF ble bestemt til $94 \pm 0,5$ % RF (pkt. 7.3.2.). I reagensrørene ble det målt et midlere RF på $95,4 \pm 1,6$ %, dvs. et variasjonsområde på 94-97 RF. Det var altså god overensstemmelse mellom kondisjoneringsklima og RF i prøvene.

I motsetning til fuktinnhold-metodene gir RF direkte den fullbelastning en betong vil utøve på et belegg som legges på golvet, uavhengig av hvor mye fukt betongen inneholder. Med den lille spredningen det var mellom RF i prøvestykkene, viste forsøkene at måling av RF direkte gir det mest entydige svar på betongens fukttilstand.

8.2 Betongterninger

8.2.1 Likevektsfukt

Betongterningen med størrelse 100 mm x 100 mm x 100 mm vil normalt ha en sammensetning/homogenitet slik den kan forventes å være i f.eks. en golvkonstruksjon. Fordelen med å bruke terninger er at de vil få flersidig uttørking eller oppfukning og derved komme raskere i likevekt i kondisjoneringsklimaet enn prøver av samme dimensjoner og med ensidig oppfukning/uttørking. Man trenger likevel en 6-7 måneder før terningen er i "likevekt" i henholdsvis 50 og 87 % RF dersom fuktendringen skjer fra vannlagret tilstand. Ved 87 % RF fortsetter vekt-tapet selv ved en alder av ca. 3 år. Dette framgår av fig. 8.2.1. a og b som også viser at likevektsfukten er forskjellig for betongvariantene. Forskjellen er størst ved 87 % RF, men forholdet mellom høyeste og laveste verdi er omtrent det samme i begge klimaene.

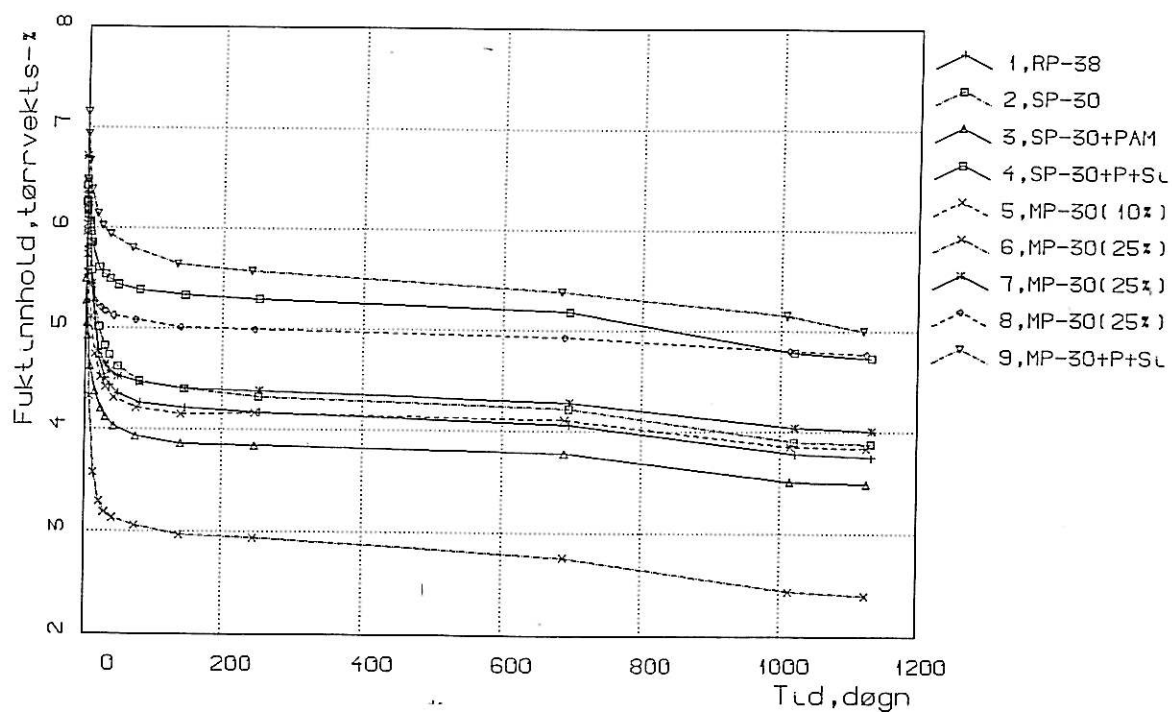


Fig. 8.2.1.a

Betongterninger 100 mm x 100 mm x 100 mm

Fuktendringer ved lagring i 87 % RF

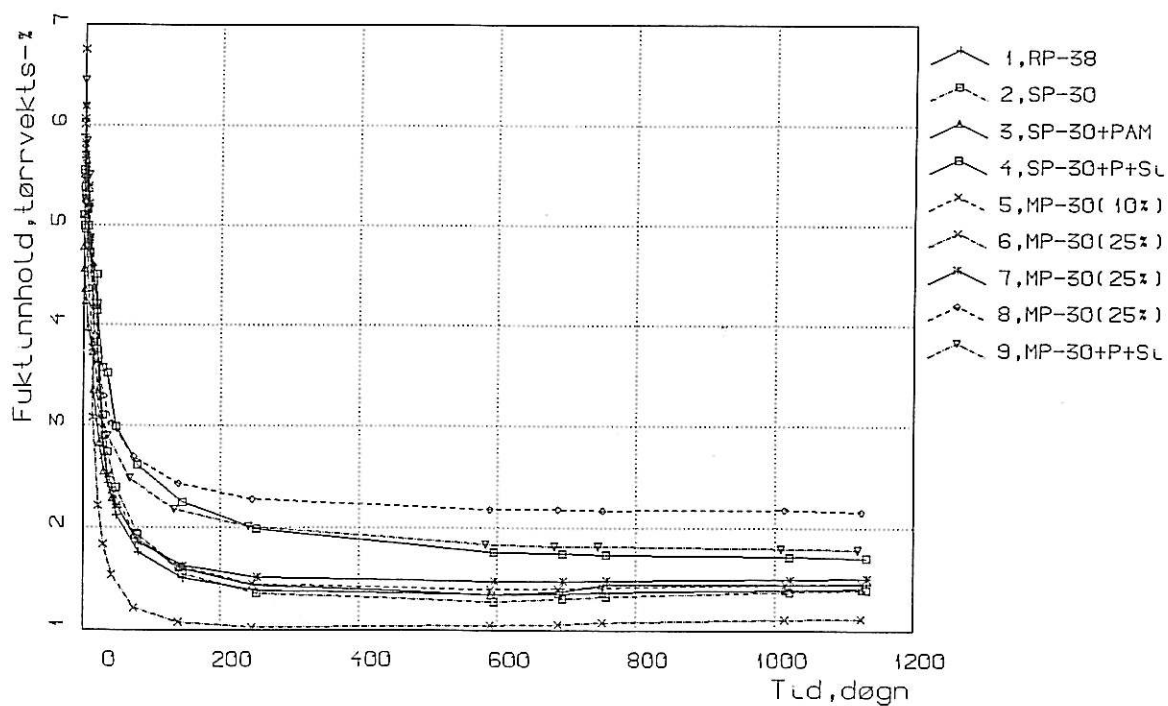


Fig. 8.2.1.b

Betongterninger 100 mm x 100 mm x 100 mm

Fuktendringer ved lagring i 50 % RF

8.2.2 Fuktinnhold

I tabell 8.2.2 gjengis betongprøvenes fuktinnhold straks etter vannlagringen og etter lang tids lagring i henholdsvis 87 og 50 % RF. Kapillærmetningen er bestemt ved å måle vannoppsugningen ved 1 atm. trykk. Teorien bak dette er at ved å se på forholdet (kapillærmetningsgraden) mellom det fuktinnholdet en betong har ved en bestemt RF og det fuktinnholdet betongen har ved kapillærmettet tilstand, kan eliminere problemene med varierende tilslagsmengde, komprimeringsgrad, separasjon mm. i prøvene. Tabell 8.2.2 viser kapillærmetningsgraden for de ulike fukttilstandene.

Diagrammene i fig. 8.2.1.a og b og tabell 8.2.2 viser at både betongens sammensetning og kvalitet vil ha betydning for fuktinnholdet. Tabell 8.2.2 viser dessuten at likevektsfukten ved 87 % RF (dvs. under krav-nivået på 90 % RF) for de fleste betonger ligger langt over kravet i NS 3420 kap T6 på 3 vektprosent. Ifølge NS 3420 skal imidlertid fukten bestemmes med et CM-apparat (med de usikkerheter dette medfører). En viss reduksjon av det fuktinnholdet som angis i tabell 8.2.2 må derfor gjøres, se pkt. 8.1. Selv med en slik reduksjon viser imidlertid måleresultatene at dersom kravet i NS 3420 skal følges, risikerer man å vente unødige lenge før golvbelegg kan legges på golv av de prøvde betongkvalitetene.

Tabell 8.2.2

Prøve nr.	Trykkfasthet N/mm ²	Kapillært fuktinnhold vekt-%		FØR KLIMATISERING						KONDISJONSERINGSKLIMA					
		A	D	PRØVE A		PRØVE D		23 °C og 87 % RF		PRØVE A		23 °C og 50 % RF		PRØVE D	
				Fuktinnhold vekt-%	Metningsgrad	Fuktinnhold vekt-%	Metningsgrad	Fuktinnhold vekt-%	Metningsgrad	Fuktinnhold vekt-%	Metningsgrad	Fuktinnhold vekt-%	Metningsgrad	Fuktinnhold vekt-%	Metningsgrad
1	32,6	6,55	6,45	6,30	0,96	5,90	0,91	3,58	0,55	1,46	0,23				
2	31,8	6,70	6,35	6,37	0,95	5,55	0,87	3,87	0,58	1,40	0,22				
3	35,9	5,75	5,95	5,41	0,94	4,78	0,80	3,46	0,60	1,41	0,24				
4	41,4	6,40	5,55	6,32	0,99	5,10	0,92	4,80	0,75	1,71	0,31				
5	29,0	6,86	6,70	6,33	0,92	6,01	0,90	3,78	0,55	1,46	0,22				
6	18,0	7,35	7,60	6,72	0,91	6,76	0,89	2,46	0,33	1,12	0,15				
7	28,7	7,25	6,60	6,72	0,93	6,06	0,92	3,99	0,55	1,51	0,23				
8	43,1	6,65	6,20	6,35	0,95	5,48	0,88	4,93	0,74	2,16	0,35				
9	37,0	7,30	6,95	7,04	0,96	6,45	0,93	4,90	0,67	1,79	0,26				
Middel		6,76	6,48	6,40	0,95	5,78	0,89	3,97	0,59	1,56	0,25				
St.avvik		0,51	0,59	0,45	0,02	0,63	0,04	0,80	0,13	0,30	0,06				
Var.koeff. %		7,6 %	9,1 %	7,0 %	2,5 %	10,9	4,4	20,3	21,3	19,0	22,9				

8.2.3 Forholdet mellom fuktinnhold og trykkfasthet

Tabell 8.2.2 viser at prøve 4, 8 og 9 har betydelig høyere fuktinnhold enn de øvrige, spesielt ved 87 % RF. Disse hadde en trykkfasthet på henholdsvis 41,4, 43,1 og 37,0 N/mm², dvs. også høyest trykkfasthet. (Prøve 4 og 9 var dessuten tilsatt silika). Prøveresultatene indikerte derfor at høy trykkfasthet vil gi høyt fuktinnhold. Dette var også forventet fordi høyere fasthet generelt betyr større bindemiddelinnhold og dermed større kapasitet til fuktabsorpsjon. Figur 8.2.3.a viser også at dette stemmer, men spredningen er stor.

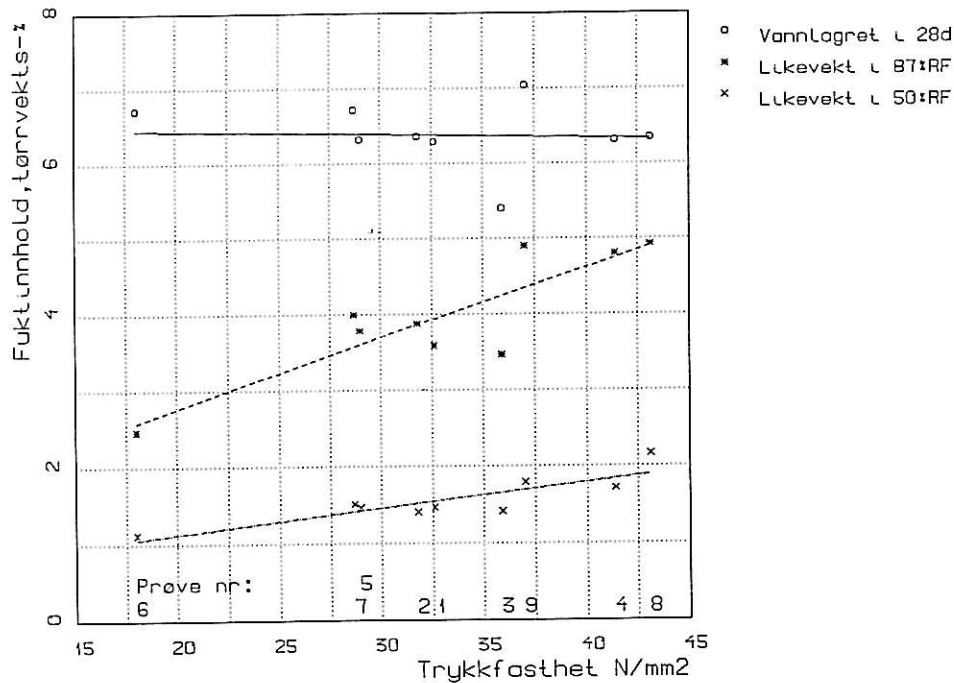


Fig. 8.2.3.a
Fuktinnhold (vektprosent) og trykkfasthet

Det framgår av tabell 8.2.2 at parallelle prøver (A og D) ikke alltid vil få likt fuktinnhold selv om de er støpt av samme blanding. Årsaken er at mengden av bindemiddel (fuktabsorbent) og tilslag vil variere fra prøve til prøve under utstøpingen. Mengdenes betydning vil imidlertid reduseres dersom man benytter kapillærmethningsgraden i stedet for fuktinnholdet. Figur 8.2.3.b viser dette. At kapillærmethningsgraden vil være større for betong med høy fasthet, framgår av prinsippskissen i fig. 8.2.3.c.

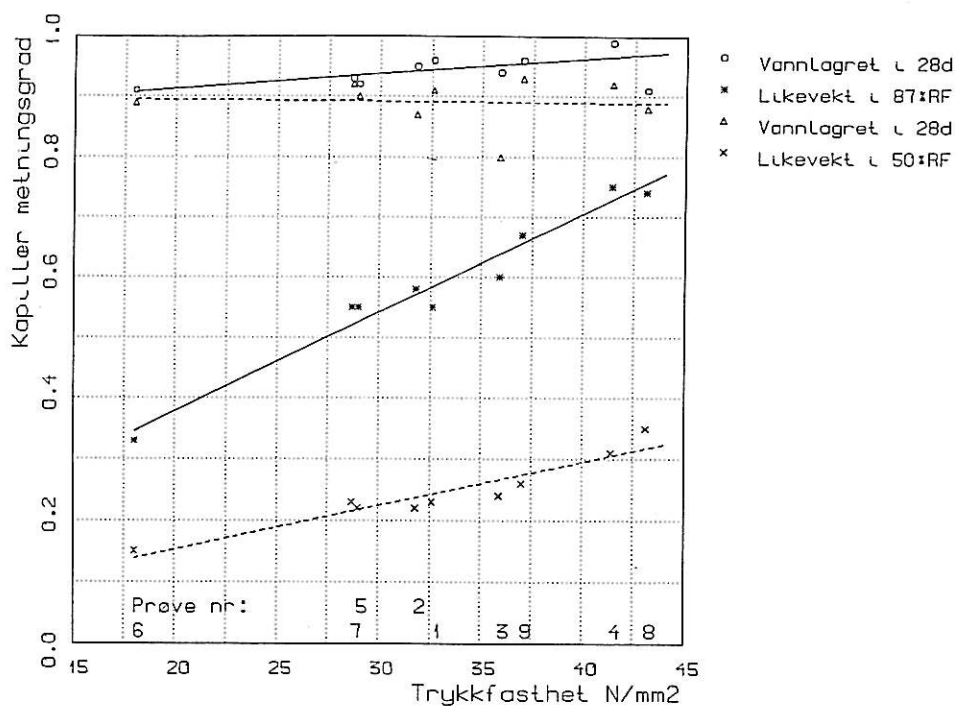


Fig. 8.2.3.b
Kapillær metningsgrad og trykkfasthet

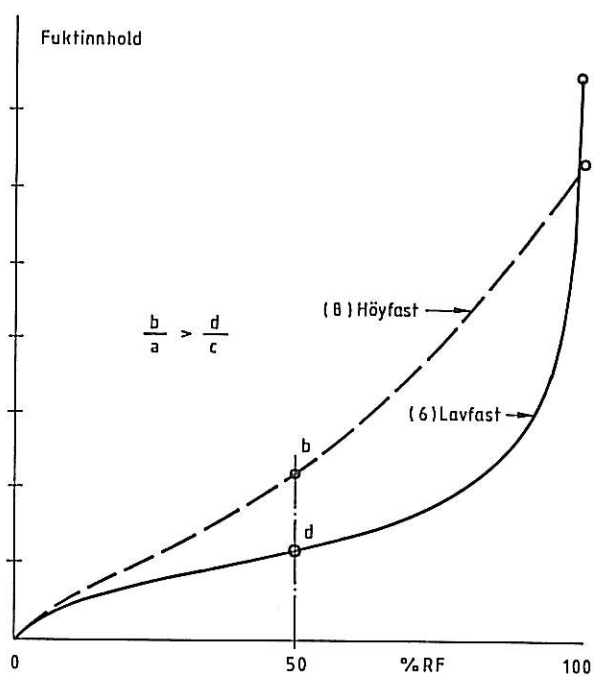


Fig. 8.2.3.c
Kapillærmetningsgraden avhenger av betongens fasthet

I området 50-87 % RF øker kapillærmetningsgraden med trykkfastheten, spredningen er liten. Når metningsgraden går mot henholdsvis 0 og 1, vil avhengigheten naturlig nok reduseres. Prøver med silikatilsetning (4 og 9) eller bare flygeaske (5, 6, 7 og 8) hadde relativt sett ikke høyere metningsgrad enn rapid- eller standard sement (1, 2 og 3). Isolert sett (dvs. når det gjaldt betong med samme fasthet) påvirket derfor ikke silika kapillærmetningsgraden. Et annet forhold er at silika primært påvirker porestrukturen og dermed fastheten og metningsgraden.

8.2.4 Forholdet mellom fuktinnhold og v/c-tall

Resultatene for disse forsøkene viser at høyt v/c-tall gir lavt fuktinnhold ved lav RF, men ikke ved høy RF hvor høyt v/c-tall gir mye kapillært vann. Se fig. 8.2.4.a.

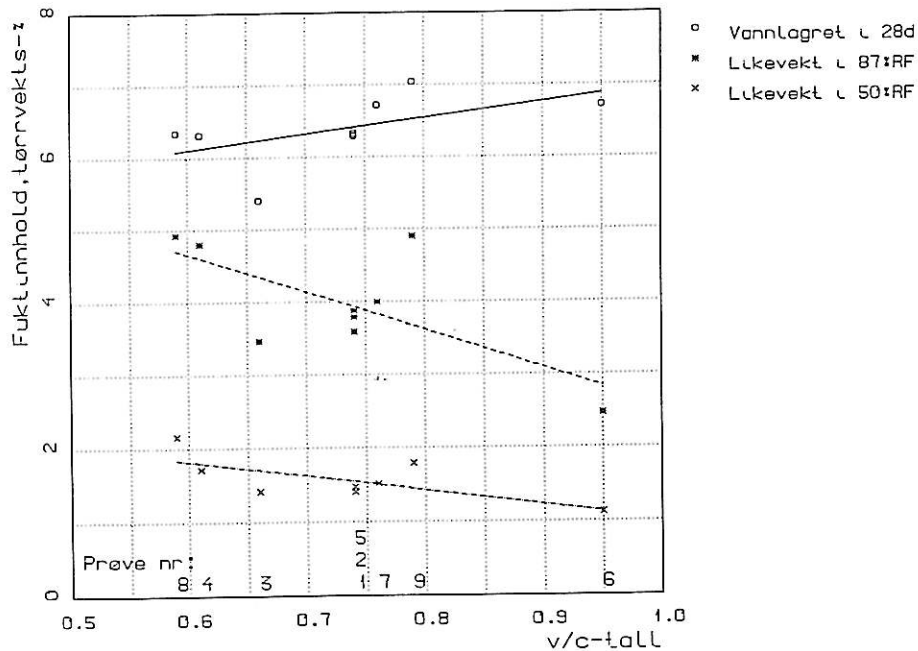


Fig. 8.2.4.a
Fuktinnhold (vektprosent) og v/c-tall

Sammenhengen er best ved 50 % RF. Spredningen er stor ved 87 % RF. Prøvene med silika (4 og 9) skiller seg ut ved å ha likt fuktinnhold ved svært ulikt v/c-tall på henholdsvis 0,6 og 0,8.

Kapillærmetsningsgraden sett i forhold til v/c-tallet, reduserer spredningen, se fig. 8.2.4.b. Prøve 4 og 9 skiller seg ikke like klart ut, men tendensen er der.

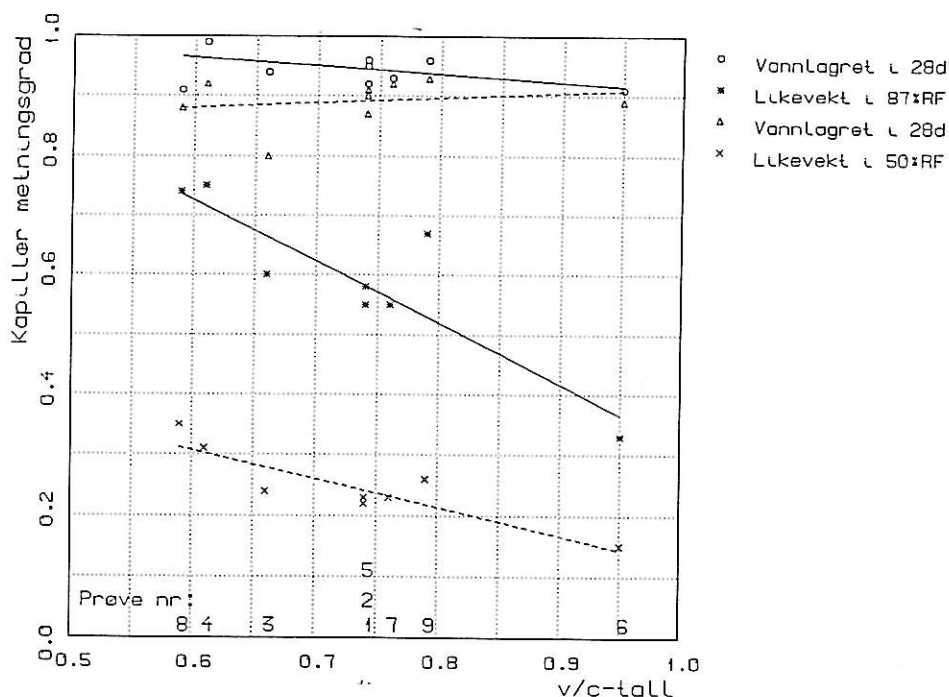


Fig. 8.2.4.b
Kapillær metningsgrad og v/c-tall

8.2.5 Konklusjon

Terningene oppnådde likevekt etter 7-8 måneders klimatisering i 50 % RF, mens de i 87 % RF ikke hadde stabilisert seg etter en klimatiseringsperiode på ca. 3 år.

På betonggulv kan det legges tette golvbelegg når fukttilstanden er ca. 90 % RF. For betongterningene som lå i 87 % RF (lavere enn kravet) varierte fuktinnholdet med mellom 2,5 og 5,0 vektprosent. Det vil si at for de fleste betongkvaliteter vil kravet til fuktinnhold på maks. 3,0 vektprosent ifølge NS 3420, være irrelevant.

Betongens likevektsfukt i et bestemt klima vil øke med trykkfastheten. Forholdet kommer best til uttrykk dersom den kapillære metningsgraden brukes i stedet for fuktinnholdet.

Fuktinnholdet (ev. kapillærmethningsgraden) ved lav RF reduseres med økende v/c-tall. Forholdet er imidlertid ikke like bra som mellom trykkfasthet og fuktinnhold. Dersom betongen er tilsatt silika, vil denne ved høyt v/c-tall ha et høyere fuktinnhold enn en betong uten.

8.3 Betong støpt i plastbokser (ensidig uttørking)

8.3.1 Likevektsfukt

Prøvene i plastboksene ville få ensidig uttørking. Det var derfor forventet at disse ville trenge lengre tid til likevekt enn terningene. Det tok imidlertid betydelig lenger tid enn antatt. Etter ca. 3 år var ingen av prøvene kommet i likevekt i sine kondisjoneringsklima; fig. 8.3.1.a og b viser dette. På samme måte som for terningene viser de dessuten at variasjonene mellom fuktinnholdet i de forskjellige betongkvalitetene er store. Som nevnt under pkt. 8.2 er fuktinnholdet derfor lite egnet som rettesnor når et betonggolvs fukttilstand skal bedømmes.

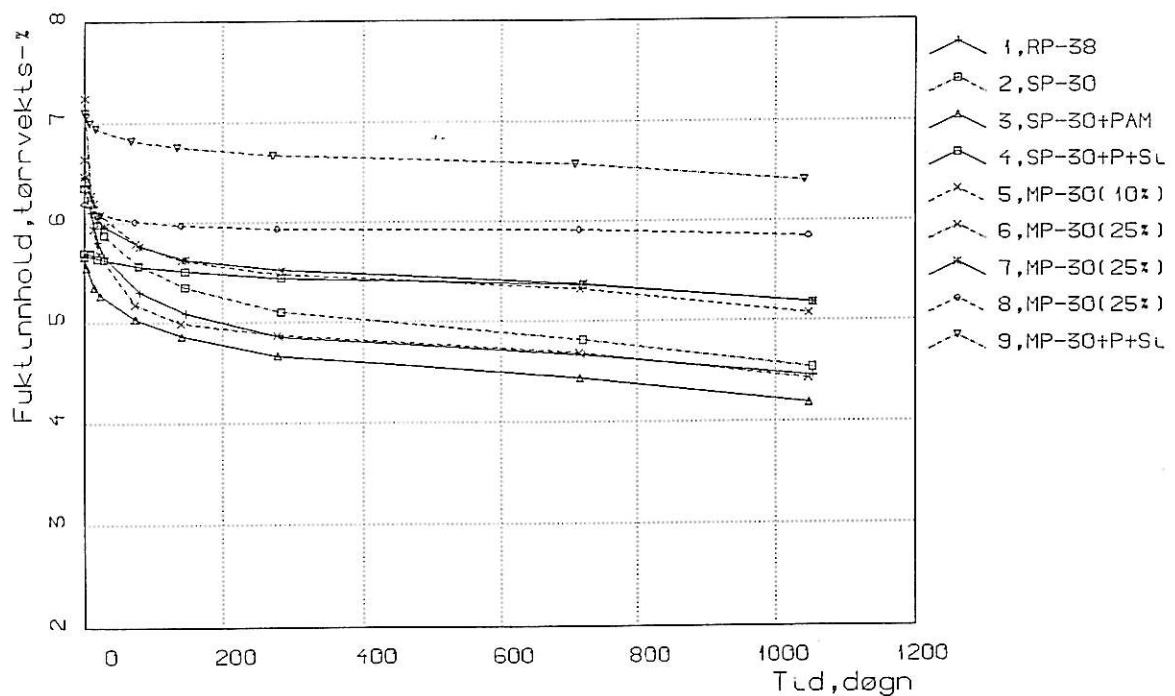


Fig. 8.3.1.a
Betong med ensidig uttørking
Fuktendringer ved lagring i 87 % RF

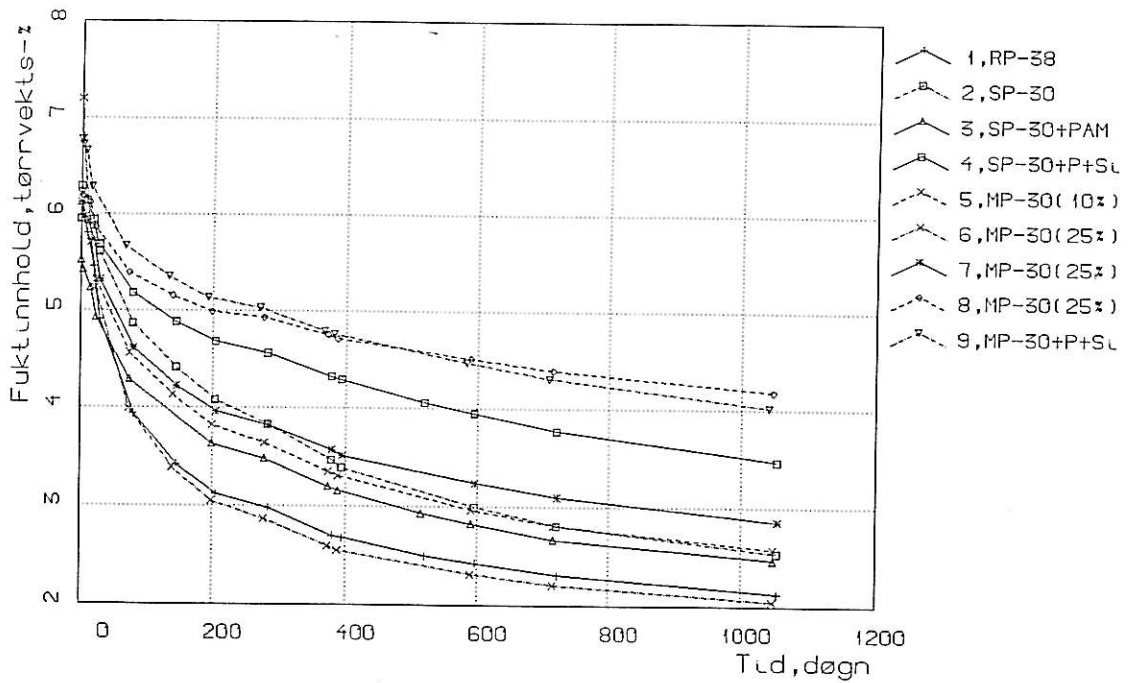


Fig. 8.3.1.b
 Betong med ensidig uttørking
 Fuktendring ved lagring i 50 % RF

8.3.2 Fuktinnhold og relativ fuktighet

Tabell 8.3.2.a angir betongfuktigheten straks etter at lokkene ble fjernet (isolert herding i 30 dager) og etter lang tids kondisjonering i henholdsvis 87 % og 50 % RF.

Tabell 8.3.2 a

Prøve nr.	Antatt trykkfasthet N/mm ²	Fuktinnhold før klimatisering		Kondisjoneringsklima			
				23 °C og 87 % RF best. for <u>prøve A:</u>		23 °C og 50 % RF best. for <u>prøve D:</u>	
				A	D	% RF	Fukt vekt-%
1	32,6	6,09	6,09	85,6	4,14	61,4	2,13
2	31,8	6,53	6,29	87,1	4,63	65,1	2,54
3	35,9	5,37	5,52	88,0	3,86	66,0	2,47
4	41,4	5,44	5,95	87,8	4,94	69,9	3,47
5	29,0	6,89	6,12	87,9	5,27	64,7	2,58
6	18,0	7,34	7,20	84,9	4,49	58,7	2,05
7	28,7	6,61	6,12	86,3	5,30	62,2	2,86
8	43,1	6,06	6,24	86,7	5,69	67,6	4,18
9	37,0	6,97	6,77	88,9	6,28	69,8	4,02
Middel		6,37	6,26	87,0	4,96	65,0	2,92
Standardavvik		0,68	0,48	1,28	0,77	3,8	0,79
Var. koeff. %		10,7	7,7	1,5	15,5	5,8	26,9

I 23 °C og 87 % ble det bestemt $87 \pm 1,5$ % RF som midlere fukttilstand i prøvene. De var derfor tilsynelatende i likevekt i kondisjoneringsklimaet. I 23 °C og 50 % RF ble midlere fukttilstand bestemt til 65 ± 4 % RF. Disse hadde derfor et godt stykke igjen til likevekt.

Tabell 8.3.2.b viser midlere fuktinnhold for henholdsvis betongterninger og betongprøver i plastbokser.

Tabell 8.3.2.b
Fuktinnhold i vektprosent

Prøve:	Før kondisjonering		Ved 23 °C og 87 % RF	Ved 23 °C og 50 % RF
	A	D	A	D
Terning	6,4	5,8	4,0	1,6
Plastboks	6,4	6,3	5,0	2,9

Fuktinnholdet i midlere A-prøve er lik før kondisjoneringen starter, mens D-prøvene har en forskjell på 0.5 prosentdel.

Ved 23 °C og 87 % er forskjellen mellom terninger og plastbokser 1.0 prosent-deler, dvs. en forskjell på 25 %. Ifølge tabell 8.3.2.a skulle plastboksene være i likevekt i 87 % RF, mens diagrammet i fig. 35 viser at de fremdeles tørker ut. Dette indikerer at betongen likevel ikke er i likevekt. Årsaken er mest sannsynlig at fuktinnholdet i betongtverrsnittet er ulikt. Relativ fuktighet måles ca. midt i prøven. Fukt lengre ned i prøven kan derfor godt være høyere, slik fig. 8.3.2.a viser.

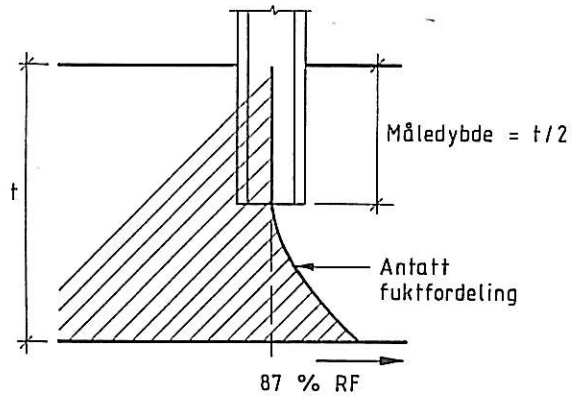


Fig. 8.3.2.a

Antatt fuktfordeling under målepunktet for RF-giver

Dermed vil også prøvestykkets midlere fuktinnhold være høyere enn terningens. Den betydning tørkebetingelsene har illustreres i fig. 8.3.2.b der resultatene for både terninger og betong i plastbokser av betongprøve nr. 1 er angitt.

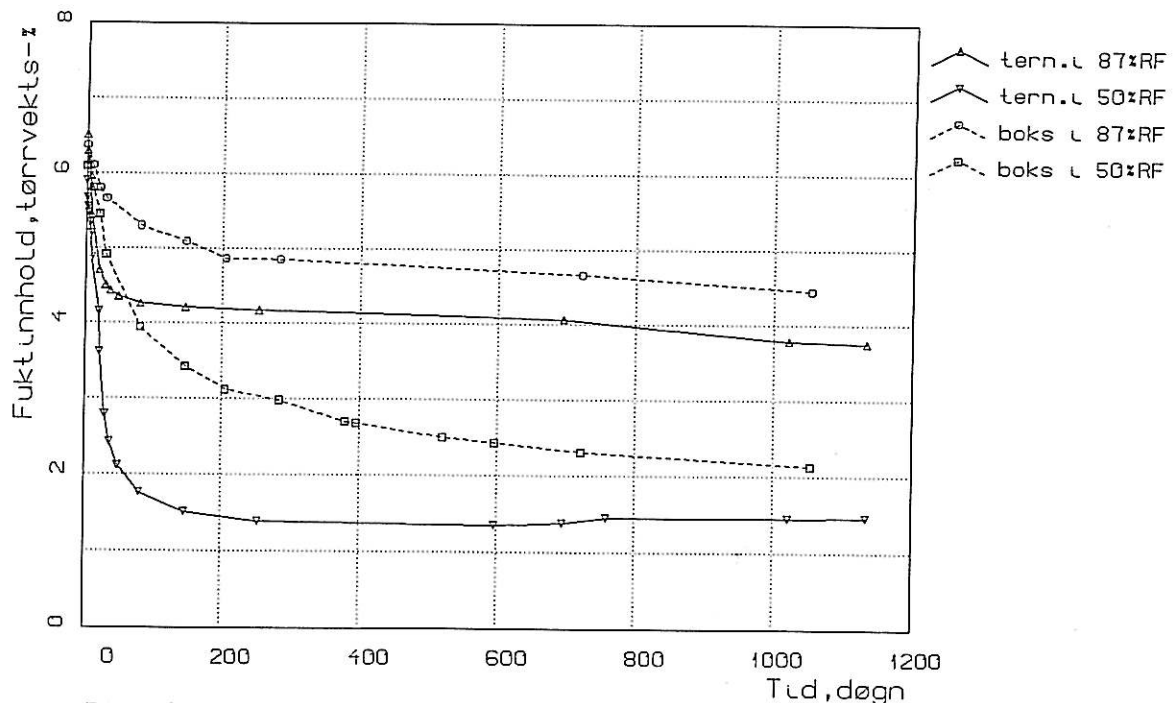


Fig. 8.3.2.b

Tørkebetingelsenes betydning for fuktinnholdet
Fuktendringer for prøve nr. 1 RP-38 sement

8.3.3 Uttørkningshastigheten

Fuktteknisk vil en terning med dimensjoner 100 mm x 100 mm x 100 mm kunne sammenliknes med en plate med tykkelse 25-30 mm som får ensidig uttørring. I vedlegg 2 er gjengitt en tabell fra (3) som kan benyttes for å regne ut den nødvendige tørketiden for et betonggulv.

Tabell 8.3.3 viser hvilken tørketid som ut fra tabellen i vedlegg 2 skulle ha vært nødvendig for betongen i fig. 8.3.2.b.

Tabell 8.3.3

	Multiplikator for:			
	Terning I:		Boks I:	
	87 % RF	50 % RF	87 % RF	50 % RF
Betongkvalitet (C 25)	1	1	1	1
Tørkeklima, % RF (87 og 50 %)	1,45	1	1,45	1
Tørkeklima, °C (23 °C)	0,9	0,9	0,9	0,9
Platetykkelse (30 og 100 mm)	0,2	0,2	1,0	1,0
Kritisk fukttilstand (87 og 50 %)	1,75	11	1,75	11
Vannlagret	1,2	1,2		
Total multiplikator (m)	0,55	2,38	2,28	9,9
Beregnet tid fram til likevekt: 60 dg x m = (x)dg	33 dg	143 dg	137 dg	594 dg
Målt fukt ved (x)dg	4,2	1,5	4,4	2,4
Målt "likevekt"	3,6	1,4	4,1	2,1
Antall dg til "likevekt"	1020	250	1050	1050

dg = døgn

Det var bare betongterningen i 50 % RF som var i likevekt ved forsøketts avslutning. Beregningsmessig skulle denne ha vært i likevekt etter 143 dager. Fukttinnholdet i betongen var da 1,5 vekt-prosent. Den var i likevekt etter 250 dager med 1,4 vektprosent fukttinnhold, se fig. 8.3.2.b, altså en ubetydelig forskjell i fukttinnhold.

Ved beregnet tørketid ble fukttilstanden i plastboksene bestemt til henholdsvis ca. 92 % RF (i 87 % klimaet) og ca. 62 % RF (i 50 % klimaet), se tabell for prøve 1 i vedlegg 3. For betonggulv med ensidig uttørking vil midlere fukttilstand bli bestemt i en dybde av ca. 40 % av tykkelsen. Målepunktet i prøvene lå i ca. 50 % av tykkelsen. Tar man hensyn til dette, vil trolig prøvene i 87 % klimaet og ha nådd "kritisk fukttilstand" etter den beregnede tiden.

Tabellen i vedlegg 2 synes derfor etter denne beregningsstikkprøven å være en brukbar tommelfingerregel for bestemmelse av nødvendig tørketid for betonggulv. Man bør imidlertid bygge inn noe sikkerhet ved å legge til litt tid.

Selv om nødvendig tørketid kan beregnes, må man likevel alltid måle fukttilstanden i betonggulv før belegget legges. Tabell 8.3.2.a viser hvor nøyaktig en kan bestemme den relative fuktigheten en betong utøver. Figur 8.3.3 viser sammenstillingen av målt RF i alle betongene.

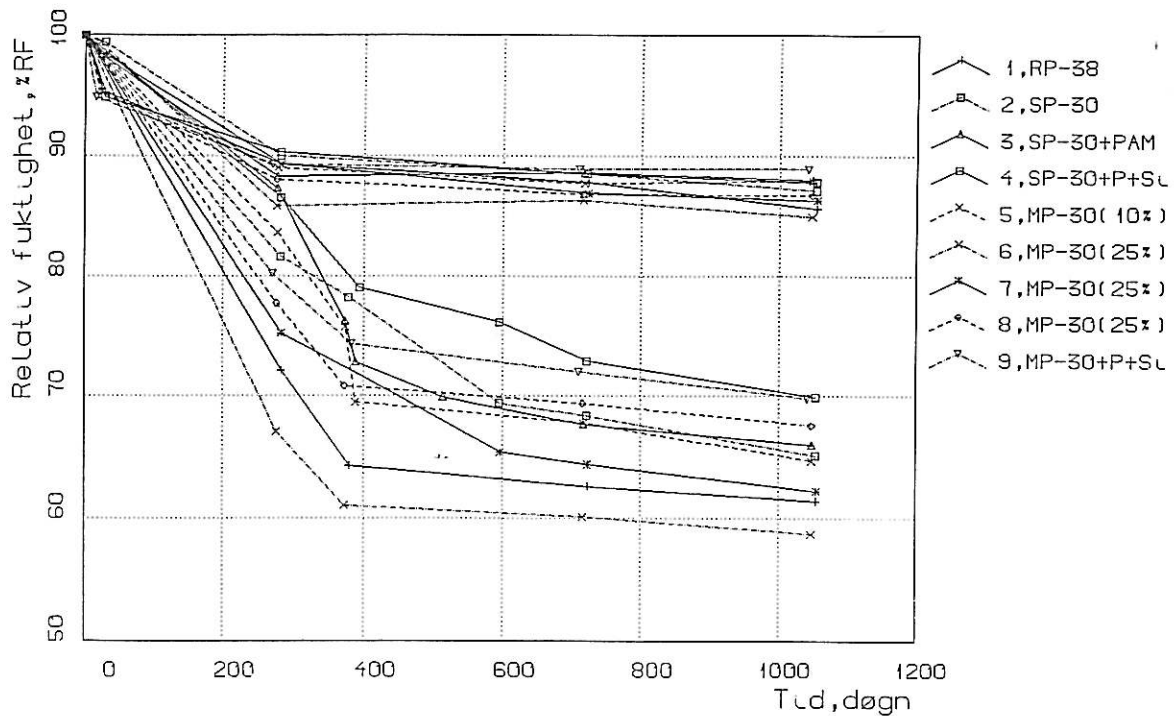


Fig. 8.3.3

Betong med ensidig uttørking. Sammenstilling av resultatene i 50 % RF og 87 % RF klima

I motsetning til fukttinnholdet, se fig. 8.3.1.a, er det målt RF i prøvene kondisjonert i 87 % RF som samler seg rundt denne RF. I 50 % RF klimaet er det stor spredning. Årsaken er at disse prøvene fremdeles har et stykke igjen til likevekt.

8.3.4 Likevektskurver, fuktnivåer

En viktig del av undersøkelsen var å få klarlagt om de nyere betongtypene har høyere likevektsfukt enn de tradisjonelle, og eventuelt å få etablert likevektskurver for disse.

Da prøvene i plastboksene desverre ikke var kommet i likevekt selv i 87 % RF (fig. 8.3.1.a og b) vil likevektsfukten antakelig ligge 1/2-1 prosentdel (vektprosent) lavere enn hva "likevektskurvene" i vedlegg 4 til 8 viser. Kurvene gir imidlertid en god indikasjon på forskjeller i fuktnivå for de ulike betongene.

I de 9 betongprøvene var det benyttet 4 typer sement fordelt på 2 hovedgrupper. Den tidligere SP-30 var benyttet i 3 prøver og MP-30 med 25 % flygeaske i 4 prøver. Figur 8.3.4.a viser "likevektskurver" for betongprøver med Standard Portland sement (SP-30).

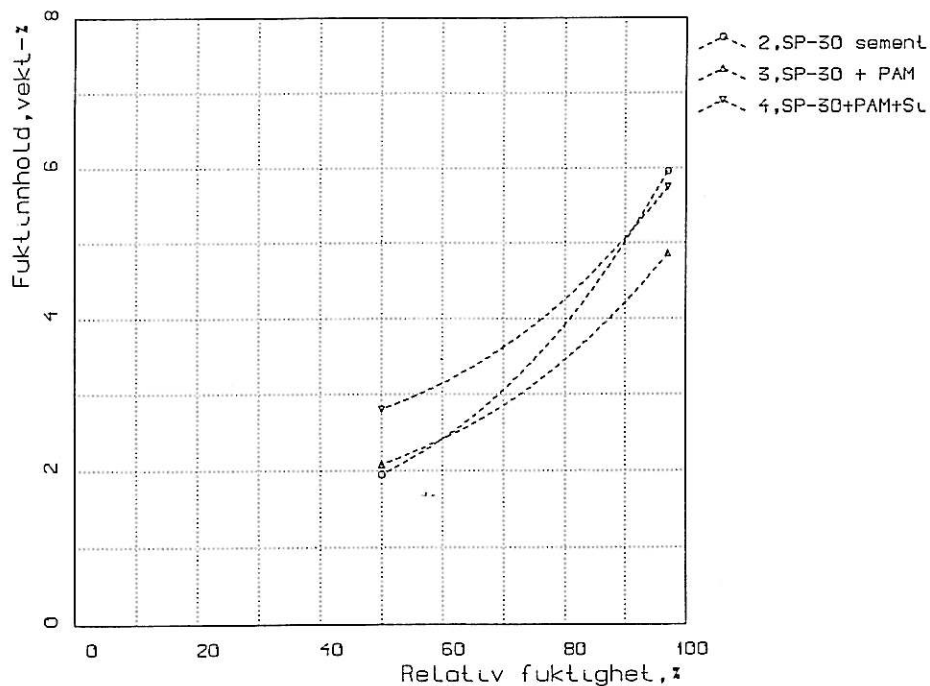


Fig. 8.3.4.a

Likevektsfukt for betong med ensidig uttørring.

Trykkfasthet: nr. 2: 31,8 N/mm², nr. 3: 35,9 N/mm², nr. 4: 41,1 N/mm²

Ved 90 % RF er fuktinnholdet fra 4-5 vektprosent. Prøve 3 og 4 har parallelle kurver hvor prøve 4, med høy trykkfasthet, har høyest fuktinnhold, noe vi har antatt under pkt. 8.2.3. Prøve 2, uten tilsetningsstoffer, har høyt fuktinnhold ved 90 % RF sett i forhold til prøve 3 og 4, mens det faller bra ut ved 50 % RF. Forklaringen på dette er at forholdet til trykkfastheten blir dårlig når kapillærmetningsgraden går mot 1, slik fig. 8.2.3.b viser. Selve fuktnivået synes noe høyt i forhold til det som var forventet selv om man reduserer med 1 prosentenheter. Prøve 3 ligger lavest, antakelig pga. luftinnholdet, se tabell 4.1.b. Effekten av PAM i prøve 4 er trolig redusert pga. silikatilsetningen.

Figur 8.3.4.b viser "likevektskurver" for betongprøver med Modifisert Portland sement tilsatt 25 % flygeaske.

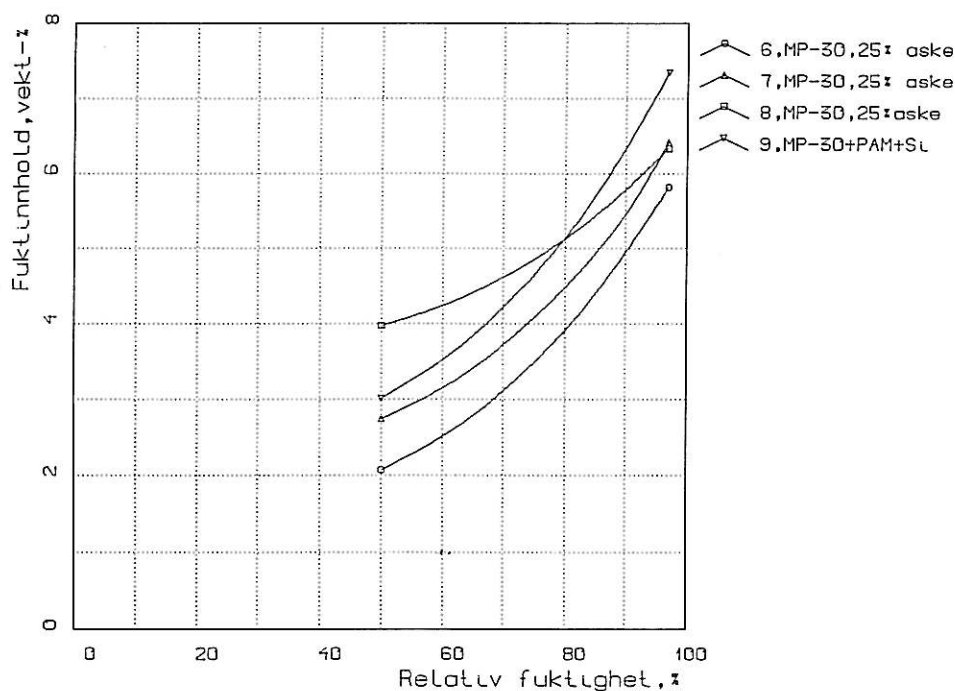


Fig. 8.3.4.b

Likevektsfukt for betong med ensidig uttørking

Trykkfasthet: Nr. 6: 18,0 N/mm², nr. 7: 28,7 N/mm², nr. 8: 43,1 N/mm² og nr. 9: 37,0 N/mm²

Også for disse prøvene øker fuktinnholdet med trykkfastheten. Ved 90 % RF ligger fuktinnholdet mellom 5 og 6,5 vektprosent. Prøver med MP-30 sement har altså 1-1,5 % høyere fuktinnhold ved 90 % RF enn prøver med SP-30. Dette indikerer at flygeaske vil øke fuktinnholdet i betongen.

8.3.5 Konklusjon

Prøvene med ensidig uttørking (i plastbokser) var ikke kommet i likevekt i sine respektive klima etter 3 års kondisjonering. Prøvene i 87 % RF hadde imidlertid stabilisert seg i den fukttilstanden, selv om vekten stadig minsket. Årsaken er plasseringen av målepunkt for RF-giveren. Midlere fuktinnhold for prøvene i plastboksene lå ca. 1 prosentdel (vektprosent) høyere enn for terningene.

Det er etablert "likevektskurver" for alle 9 betongvarianter. Disse vil imidlertid ikke være helt korrekte både fordi de er basert på fuktmålinger i kondisjoneringsperioden og dermed ikke på stabile forhold, og fordi betongen ikke kom i likevekt. Kurvene viser imidlertid at de prøvde betongene vil få en likevektstilstand ved 90 % RF som er høyere enn det som hittil har vært akseptert.

Spredningen mellom fuktinnholdet for de enkelte betongene er stor. Årsaken er bl.a. prøvestørrelser, sementpasta/tilslagsvariasjoner og tilslagsmengder. Forsøkene viste derfor at man ikke, eller bare i liten grad, kan bedømme et golvs fukttilstand ved å bestemme absolutt fuktinnhold. Dette gjelder også selv om materialets sammensetning, herdebetingelser m.m. er kjent, fordi likevektskurvene vil bli for usikre.

Undersøkelsen bekreftet derimot at det beste er å bestemme den RF golvet utøver direkte, dvs. benytte RF-metoden, fordi:

1. Ulike materialer og kvaliteter som er i likevekt i et aktuelt klima, vil utøve samme RF.
2. Det er RF som er bestemmende for om fuktskader vil oppstå. Bestemmelse av absolutt fuktinnhold vil derfor være å måle en vikarierende egenskap.
3. Absolutt fuktinnhold vil i de fleste tilfellene være vanskelig å oversette til RF.
4. Gode RF-instrumenter vil gi større nøyaktighet enn absolutt-metodene.

9. LITTERATUR

1. Fukt i golv och väggar, Bo Adamson m.fl.
Byggforskningen, R11:1973
2. Fuktproblem vid betonggolv
Lars-Olof Nilsson, Lund 1977
3. Fuktmätning, Del 2 av "Byggefukt i betongplatta på mark.
Torknings- och mätmetoder."
Lars-Olof Nilsson, Lund 1979
4. "Kapillärmättnadsgrad" - En komplettering av fuktkvots- och RF-
mätning i betongkonstruksjoner.
Lars-Olof Nilsson. Seminarium om fuktmätningar i konstruksjoner,
Hörsholm 31. mars 1981.

VEDLEGG 1

MÅLING AV FUKT I BETONG

Undersøkelsen har to formål:

1. Skaffe NBI erfaring med den nye RF-måleren med hensyn til anvendelsesområder, prøvemeter og prosedyrer, målenøyaktighet samt instrumentets fordeler og ulemper.
2. Bestemme fuktinnhold, likevektsfukt og uttørkingsforløp i tradisjonelle, dagsaktuelle og framtidige betongkvaliteter. Både veie/tørke-metoden, CM-apparat og RF-måleren skal benyttes. Resultatene etter de forskjellige metoder sammenstilles slik at eventuelle likevektsskurver kan angis.

RF-metoden er relativt ny. Her i landet er den også lite utprøvd. Det synes derfor lite forsvarlig å basere seg bare på den i disse undersøkelsene. Instrumentet er dessuten noe dyrt i anskaffelse og vil sannsynligvis ikke bli i vanlig bruk blant golvleggere i nær framtid. Det er derfor viktig at de metodene (CM-apparat og veie/tørke-metoden) man har i dag, også benyttes i undersøkelsen.

Etter at dagens aksepterte fuktnivåer for legging av belegg på betonggolv ble etablert, har det kommet og vil komme til en del nye betongkvaliteter.

Man vet lite om de fukttekniske egenskapene til disse betongene fordi de vil ha andre tilsetningsstoffer (f.eks. silika) eller behandlingsmetoder (f.eks. vakum) enn de tradisjonelle typene.

Norcem er videre i ferd med å lansere en ny MP-sement (modifisert portland) som skal erstatte standard seiment. Man vet heller ikke hvilken innvirkning denne vil ha på betongens likevektsfukt.

Man har mistanke om at de nyere betongtypene har høyere likevektsfukt enn de tradisjonelle. Det er viktig å få klarlagt om denne mistanken er berettiget, I så fall bør denne undersøkelsen kunne benyttes til å etablere likevektsskurver for disse betongene. Derved kan også høyeste akseptable fuktnivå for legging av belegg på slike betonggolv fastlegges. Uvisshet og unødig ventetid vil kunne unngås.

Utstyr

Klimaskap, 20-98 % RF (23 °C)

Klimarom, 50, 65 og 90 % RF (23 °C)

1 stk. indikator for RF-måling

3 stk. følere, måleområde 40-100 % RF

CM-apparat m/karbidampuller

Vekt, område 0-800 g eller 0-1200 g, avlesningsnøyaktighet 0,01 g

Vekt, område 0-3000 g, avlesningsnøyaktighet 0,1 g hvis ikke vekt
0-1200 g blir innkjøpt

Reagensrør med innvendig diameter ca. 19 mm, konf. RF-måler

Gummikorker til rørene

stålrør, diameter 19 mm m/to typer gummikorker

Div. glasslokk eller bokser

Plastbokser ca. 100 x 100 mm med tette lokk.

Belongkvalitet, materialer

For samtlige betongkvaliteter og -prøver føres det "dagbøker" som gir opplysninger om både sammensetning, behandling, prøveprosedyre, eventuelle avvik eller vansker med støping, prøving, klima m.v.

Betongkvalitetene støpes ut i samråd med Sauro, Oslo Betong Fabrikk A/S. Enten benyttes blandetabeller som blir avtalt med ham, eller så støpes prøvene på Oslo Betong Fabrikk A/S av blandinger som skal benyttes på byggeplassen. Det siste ville være å foretrekke fordi slike prøver vil samsvare bedre med praksis enn de vi kan få laget til av små blandinger i laboratorium. (Dersom det er ønskelig kan det kanskje også bli mulig med fuktprøver i praksis på slik betong hvis leveringsstedet registreres.)

For at ikke programmet skal bli for omfattende bør ikke antall prøveserier være flere enn 10 stk. Følgende varianter kan være aktuelle:

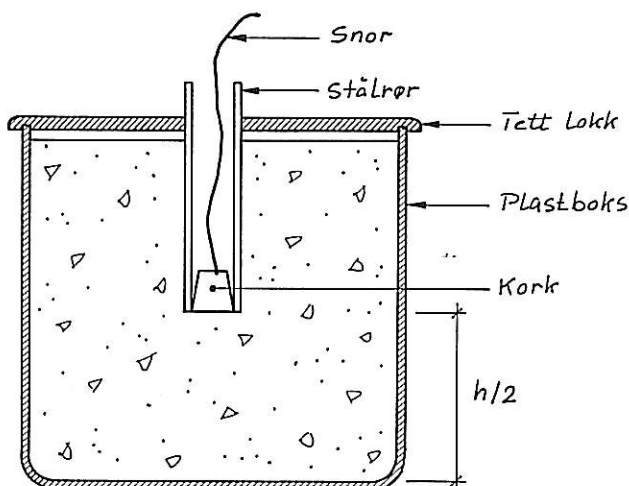
Bindemiddel tilset- nings- Betong- kvalitet	Rapid sement	Stan- dard sement	Modi- fisert Portland sement	MP + super- plastifi- serende	MP + sili- ka	MP + SP + Si
C 15			X			
C 25	X	X *)	X	X	X	X
C 35			X			X

*) Mest aktuelle golvbetong i dag. Betraktes som "0-prøve"

Prøvestykker

Av hver betongkvalitet støpes det ut 10 terninger, 100 mm x 100 mm x 100 mm og 5 stk. prøver i plastbokser som har innvendig mål på ca. 100 mm x 100 mm x 100 mm. NS 427 A del 2, legges til grunn for støpearbeidet.

Prøvene i plastboksene skal brukes til å måle poreluftens fuktighet direkte. Forberedelsen til støping i disse er følgende: Et stålrør med innvendig diameter på ca. 19 mm kappes i en lengde som tilsvarer boksens halve høyde pluss en nødvendig overhøyde. En kork settes inn i bunnen av røret. Til denne er det festet en snor som gjør det mulig å trekke korken ut på et senere tidspunkt.



Herding

Så snart det er mulig, legges lokket på plastboksene og forsegles mot både boks og stålrør. Øvrige prøver legges i vann så snart de er avformet. Eventuelle andre herdebetingelser for betongkvalitetene kan bli aktuelle. Dette avtales i så fall senere.

Alle prøvestykkene får herde i 28 dager. I denne perioden skal prøver som ikke vannlagres, kontrollveies for eventuelt vekttap etter 1, 2, 3, 7, 14, 21 og 28 dager.

Prøving

Etter herding fjernes lokket fra plastboksene. Korkene trekkes ut av PVC-rørene og nye settes inn fra oversiden slik at luftrommet inne i røret blir avstengt fra klimaet utenfor. Overgangen mellom plastboks og betong forsegles med en elastisk masse slik at eventuelle sprekker som kan oppstå her ved betongens uttørking, ikke skal kunne påvirke uttørkingshastigheten. Uttørking av disse prøvene skal kun skje ensidig. Så snart prøvene er klar-gjort, kontrollveies de og settes til kondisjonering i 23 °C og 90 % RF.

Fem terninger av hver serie avtørkes og veies. Deretter kondisjoneres også disse i 23 °C og 90 % RF.

Det første døgnet kontrollveies plastbokser og terninger 1, 2 og 3 timer etter at de ble satt til kondisjonering. Deretter én gang i døgnet mens uttørkingshastigheten er relativt rask. Veieintervallene økes så etter skjønn inntil prøvene er fedig kondisjonert.

De resterende 5 terningene av hver serie trykkprøves etter 28 døgns herdetid, trykkfasthet og densitet bestemmes. Ved prøvingen knuses terningene så grundig som mulig. For hver terning fylles et reagensrør halvfullt med små betongbiter, ikke støv, hvoretter en gummikork umiddelbart settes i røret. Så mye som mulig av de resterende småbitene legges i lokk/boks. Det forutsettes at reagensrør, kork og lokk/boks er veiet og merket på forhånd. Prøvene veies så raskt som overhodet mulig hvoretter de plasseres i et klimaskap. Korkene tas da ut av reagensrørene, og legges slik at forbyttning kan unngås. Klimaskapet skal ha den høyeste oppnåelige fuktighet, helst 98 % RF, og 23 °C.

I kondisjoneringstiden veies prøvene i klimaskapet på samme måte som beskrevet for terningene. Når prøvene er kondisjonert, beholder reagensrørene gummikorkene på. Disse prøvene kan da oppholde seg utenfor klimaskapet en tid uten at fukten endres. Av hver serie benyttes 3 av reagensrørene til å få bestemt den relative fuktigheten, mens de 2 andre er reserve.

NB! Det er svært viktig ved måling av RF at de samme følerne alltid benyttes i samme rør ellers kan avvik i instrumentene påvirke resultatet. RF-følerne må derfor merkes.

Ved målingene fjernes gummikorkene på de tre reagensrørene hvoretter RF-følerne umiddelbart føres ned og tettes. Følerne koples etter tur til indikatoren som avleses etter 1/2, 1 og 4 timer samt etter 1 dag. (Dersom det er mulig å kople til en x-y skriver med tidsakse, ville det dessuten være mulig å registrere utviklingen.) Etter siste måling settes korkene på plass igjen, og reagensrørene bringes tilbake til klimaskapet. Prosedyren gjentas med neste serie. Med tre følere og tre prøver i hver serie vil bestmmelse av RF ta ca. 10 dager for hvert klima.

Betongbitene i lokk/boks benyttes til å bestemme betongens fuktinnhold etter CM-metoden. Skålene må derfor også veies etter at biter er fjernet. To prøver av hver serie skal tas. CM-apparatets bruksanvisning benyttes. Manometeret skal avleses etter 1/4, 1/2 og 1 t. Flasken må rengjøres grundig mellom hver prøve så ikke rester av kalsiumkarbiden reagerer med ny prøve før manometeret er på plass.

Når alle prøver er målt eller veid slik det er beskrevet foran, endres klimaet i skapet og prøveprosedyren gjentas for både kondisjoneringstiden og når ny kondisjonering er nådd.

Klimaskapet skal alltid ha en temperatur på 23 °C, mens den relative fuktighet endres slik:

98 % - 95 % - 90 % - 80 % - 65 % - 50 % - 65 % - 80 % - 90 %
- 95 % - 98 %

Etter avsluttet kondisjonering tørkes prøvene ut ved 105 °C og tørr vekt bestemmes.

Når betongen i plastboksene er ferdig kondisjonert i klimaet 90 % RF og 23 °C, skal boksene veies og måles slik det er beskrevet for prøverørene. Bortsett fra under målingene skal disse alltid ha gummikorkene på plass i stålrørene.

Plastbokser og terninger skal ha denne syklus i klimarom:

90 % RF - 65 % RF - 50 % RF - 65 % RF - 90 % RF

Etter avsluttet prøvesyklus tørkes terningene ut ved 105 °C. Deretter skal de muligens trykkprøves etter NS 427 A, men dette bestemmes senere.

Forsøksstid

Antas kondisjoneringstiden å være ca. 1 måned i hvert klima for prøvene i klimaskapet, vil bare kondisjoneringen kreve ca. 1 år, noe som må anses for å være noenlunde rimelig. Det vil derfor være RF-målingen som kan bli mest tidkrevende i dette tilfellet, da 10 prøveserier gir 30 prøvestykker som skal måles hver gang. Dersom vi kjøper/låner to følere i tillegg til den ene vi har nå, vil måling etter kondisjonering i hvert av de angitte klima ta 10 dager, til sammen 130 dager, dvs. ca. 6 måneder når man regner med 5 arbeidsdager pr. uke.

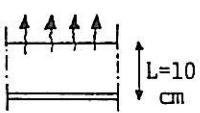
Det er mulig at et godt detaljert tidsskjema kan gi innsparing, men når man tar med den tid som går med til utstøping og herding, synes det mest realistisk å regne med at prosjektet vil strekke seg over et tidsrom på 1 1/2-2 år.

Budsjett

Den totale kostnadsrammen er kr 150 000.- inkludert utlegg på kr 10 000.-. Tidsforbruket vil være:

Laboratorietid	400 timer
Forskertid	<u>150 "</u>
Totalt	<u>550 timer</u>

Tabell 4.1. Erforderlig torktid för byggfukt i betong, Nilsson (1977).

ERFORDERLIG TORKTID FÖR BYGGFUKT I BETONG (vid läggning av täta, fuktkänsliga ytskikt; $RF_{KRIT}=90\%$)										
'NORMALFALL'				Btg II K 250 T 1 mån. gammal, membranhärdad		Ex. platta på mark gjuten på plastfolie				
ERFORDERLIG TORKTID			60 dygn							
Vid avvikelse från "normalfallet" multipliceras erforderlig torktid med nedan angivna "multiplikatorer" x										
VARIABEL	MULTIPLIKATOR				ANM.					
BETONGKVALITET	K 150 ~2x	K 250 1x	K 250luft ~0,5x	K 400 0,5-0,6x	K 400luft 0,3x	"luft"=kraftig luftinblandning				
OBS! Får ej utsättas för vattenbegjutning, regn- & smältvatten										
TORKKLIMAT	RF	20-50% 1x	60% 1,2x	80% 1,5x						
	T	10°C 1,3-1,4x	20°C 1x	30°C 0,6-0,7x						
PLATTJOCKLEK	L=	6	8	10	12	14	16	20	30	Gäller vid en-sidig uttorkning. Vid tvåsidig är L=halva plattjockleken
	(cm)	0,4x	0,7x	1x	1,4x	1,8x	2,3x	3,3x	6,3x	
(gäller vid K250, högre kvalitet ger lägre värden.)										
UNDERLIGGANDE	5 cm cellplast		15 cm lättklinker		5 cm min.ull		OBS! Ej plastfolie mellan betong och värmeisolering			
VÄRMEISOLERING	0,9-1x		0,7-0,8x		0,6-0,7x					
KRITISKT FUKTTILLSTÅND	$RF_{KRIT}=90\%$ 1x		80% ~4x		70% ~6x					
HÄRDNING	Membranhärdning 1x			Vattenlagring 1,2x			Gäller K250. K400 mycket högre värde, K150 lägre.			

SAMMENSTILLING AV RELATIV FUKTIGHET OG FUKTINNHOOLD

Resultatene er for én prøve i henholdsvis 87 % RF(A) og 50 % RF(D) herdeklima

Måling nr.	Alder middel	Prøve nr. 1: RP-38 sement (32,6 N/mm ²)				Prøve nr. 2: SP-30 sement (31,8 N/mm ²)				
		A(87 % RF)		D(50 % RF)		A(87 % RF)		D(50 % RF)		
		RF %	Vekt-%	RF %	Vekt-%	Alder Middel	RF %	Vekt-%	RF %	Vekt-%
1	0		6,09		6,09	0		6,53		6,29
4	29	95,3	5,61		4,91	28	99,4	6,04		5,61
8	284	89,3	4,59	72,1	2,98	283	90,0	5,24	81,6	3,83
9	380	84,6	4,46	64,3	2,70	379	86,5	5,12	78,2	3,47
10	395			57,3	2,68	394			69,5	3,39
11	520			57,1	2,50	519				
12	596			61,5	2,43	595			69,4	3,00
13	721	87,8	4,37	62,6	2,31	720	88,5	4,92	68,4	2,81
15	1054	85,6	4,14	61,4	2,13	1053	87,1	4,63	65,1	2,54

Måling nr.	Alder middel	Prøve nr. 3: SP-30 + PAM (35,9 N/mm ²)				Prøve nr. 4: SP-30 + PAM + Silika (41,4 N/mm ²)				
		A(87 % RF)		D(50 % RF)		A(87 % RF)		D(50 % RF)		
		RF %	Vekt-%	RF %	Vekt-%	Alder Middel	RF %	Vekt-%	RF %	Vekt-%
1	0		5,37		5,52	0		5,44		5,95
4	23	98,4	4,96		4,93	28	94,9	5,38		5,68
8	278	88,3	4,35	87,3	3,48	283	90,3	5,21	86,5	4,56
9	374	84,7	4,27	76,2	3,20	379			77,1	4,32
10	389			72,8	3,16	394			79,0	4,29
11	514			69,9	2,93	519			79,7	4,06
12	590			69,9	2,83	595			76,1	3,95
13	715	88,6	4,11	67,7	2,67	720	88,5	5,11	72,9	3,77
15	1048	88,0	3,89	66,0	2,47	1053	87,8	4,94	69,9	3,47

Måling nr.	Alder middel	Prøve nr. 5: MP-30, 10 % flyveaske (29,0 N/mm ²)				Prøve nr. 6: MP-30, 25 % flyveaske (18,0 N/mm ²)				
		A(87 % RF)		D(50 % RF)		A(87 % RF)		D(50 % RF)		
		RF %	Vekt-%	RF %	Vekt-%	Alder Middel	RF %	Vekt-%	RF %	Vekt-%
1	0		6,89		6,12	0		7,34		7,20
4	23	95,3	6,32		5,31	22	99,4	5,76		5,23
8	278	89,0	5,71	83,6	3,64	277	85,9	4,96	67,1	2,87
9	374			75,7	3,35	373			61,0	2,60
10	389			69,5	3,31	388			54,0	2,55
11	514					513				
12	590			65,9	2,97	589			56,0	2,32
13	715	87,7	5,52	67,8	2,81	714	86,3	4,75	60,1	2,21
15	1048	87,9	5,27	64,7	2,58	1047	84,9	4,49	58,7	2,05

Prøve nr. 7: MP-30, 25 % flyveaske
(28,7 N/mm²)
A(87 % RF) D(50 % RF)

Prøve nr. 8: MP-30, 25 % flyveaske
(43,1 N/mm²)
A(87 % RF) D(50 % RF)

Måling nr.	Alder middel	RF %	Vekt-%	RF %	Vekt-%	Alder Mittel	RF %	Vekt-%	RF %	Vekt-%
1	0		6,61		6,12	0		6,06		6,24
4	29	98,4	6,09		5,32	22	95,3	5,93		5,86
8	284	89,3	5,64	75,2	3,82	277	88,0	5,79	7,77	4,93
9	380			64,3	3,57	373			70,8	4,75
10	395			57,3	3,51	388			65,3	4,71
11	520					513				
12	596			65,4	3,24	589			66,4	4,51
13	721	86,9	5,49	64,4	3,10	714	86,8	5,76	69,4	4,39
15	1054	86,3	5,30	62,2	2,86	1047	86,7	5,69	67,6	4,18

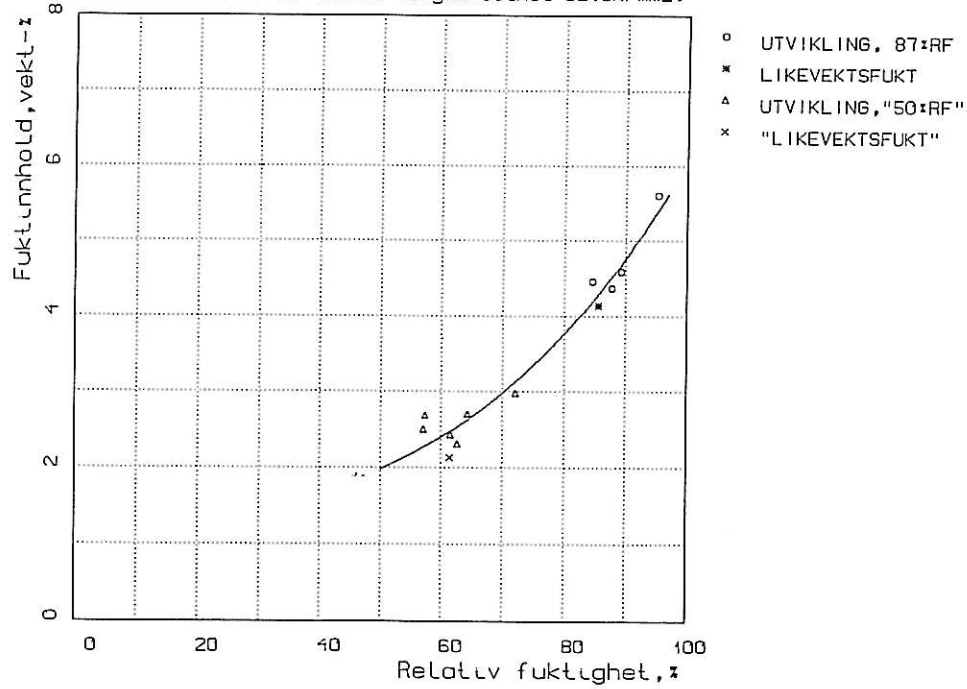
Prøve nr. 9: MP-30 (25 %) + PAM + Silika
(37,0 N/mm²)
A(87 % RF) D(50 % RF)

Måling nr.	Alder middel	RF %	Vekt-%	RF %	Vekt-%
1	0		6,97		6,77
4	16	94,9	6,82		6,28
8	271	89,3	6,56	80,2	5,03
9	367			81,7	4,79
10	382			74,3	4,76
11	507				
12	583			69,1	4,47
13	708	88,9	6,45	72,0	4,31
15	1041	88,9	6,28	69,8	4,02

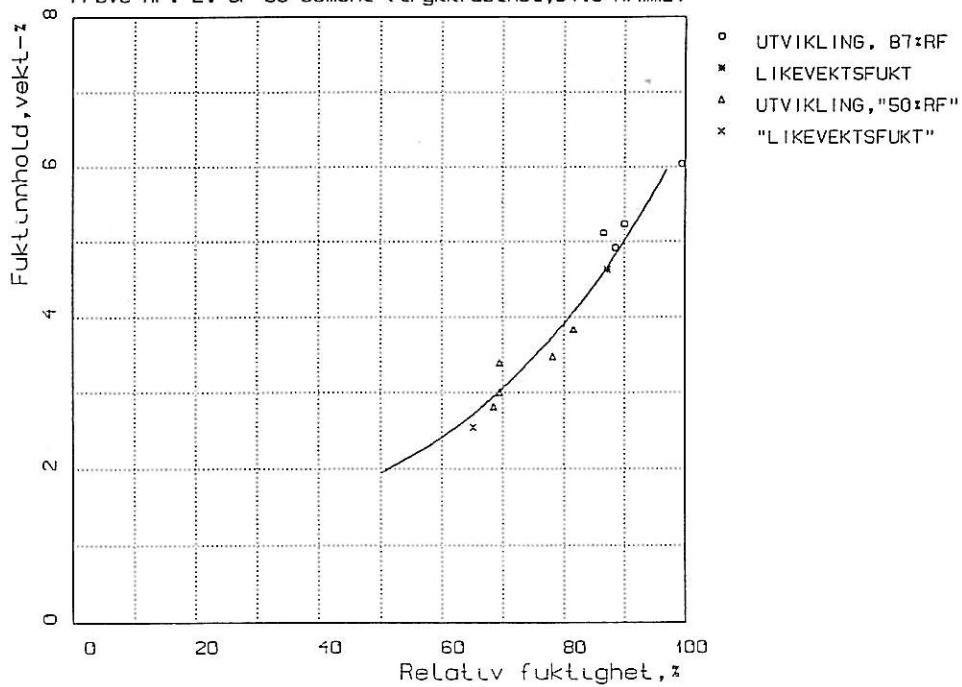
Sammenfatning av prøveresultatene

Prøve nr.	"Rang" etter trykk-fasthet	Trykk-fasthet N/mm ²	Maks.fukt før tørking vekt-%	Klima: målt % RF	Klima: 87 % RF Fukt, vekt-%	Klima: Målt % RF	Klima: 50 % RF Fukt, vekt-%
1	5	32,6	6,09	85,6	4,14	61,4	2,13
2	4	31,8	6,53	87,1	4,63	65,1	2,54
3	6	35,9	4,96	88,0	3,86	66,0	2,47
4	8	41,4	5,95	87,8	4,94	69,9	3,47
5	3	29,0	6,89	87,9	5,27	64,7	2,58
6	1	18,0	7,34	84,9	4,49	58,7	2,05
7	2	28,7	6,61	86,3	5,30	62,2	2,86
8	9	43,1	6,24	86,7	5,69	67,6	4,18
9	7	37,0	6,97	88,9	6,28	69,8	4,02

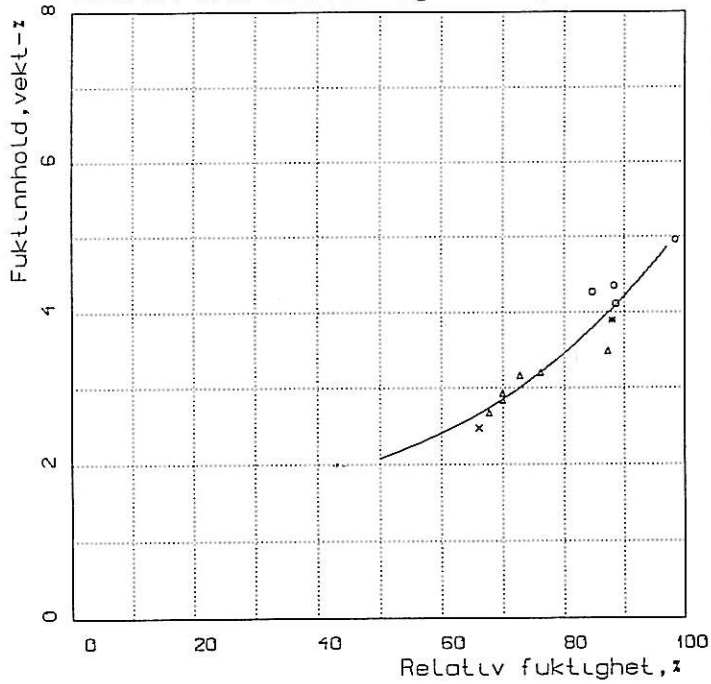
DESORPSJONSKURVE FOR BETONG MED ENSIDIG UTTØRNING
 Prøve nr. 1: RP-38 sement (trykkfasthet 32.6N/mm²)



DESORPSJONSKURVE FOR BETONG MED ENSIDIG UTTØRNING
 Prøve nr. 2: SP-30 sement (trykkfasthet, 31.8 N/mm²)

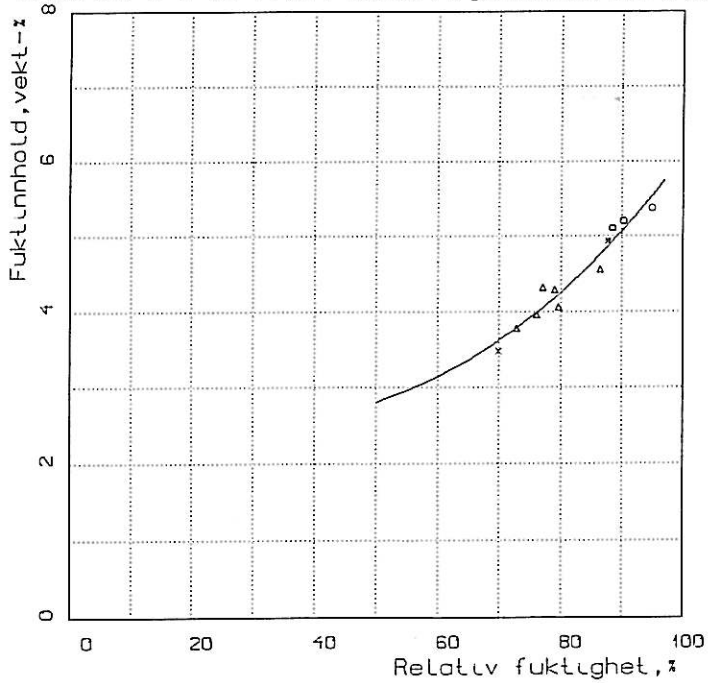


DESORPSJONSKURVE FOR BETONG MED ENSIDIG UTTØRKING
 Prøve nr. 3: SP-30 + PAM (trykkfasthet, 35.9 N/mm²)



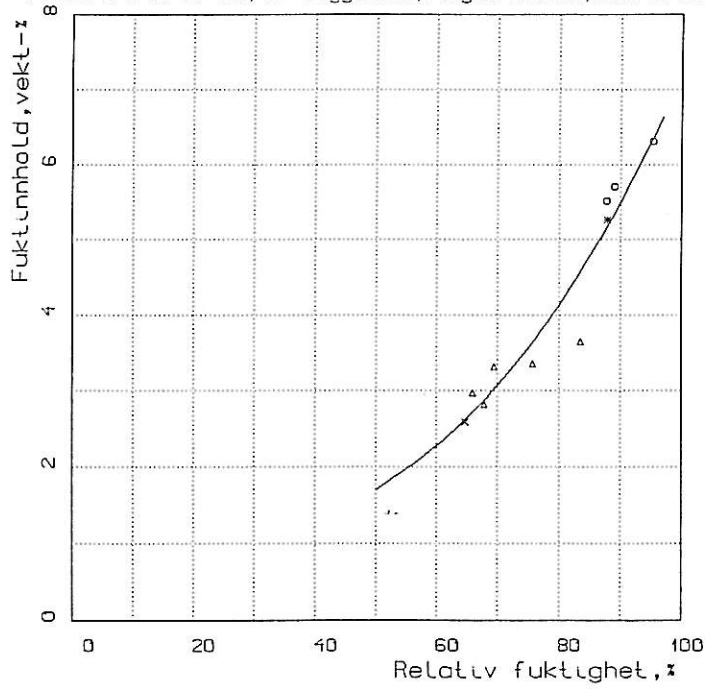
- UTVIKLING, 87%RF
- × LIKEVEKTSFUKT
- △ UTVIKLING, "50%RF"
- × "LIKEVEKTSFUKT"

DESORPSJONSKURVE FOR BETONG MED ENSIDIG UTTØRKING
 Prøve nr. 4: SP-30 + PAM + SLLuka (trykkfasthet, 41.4 N/mm²)



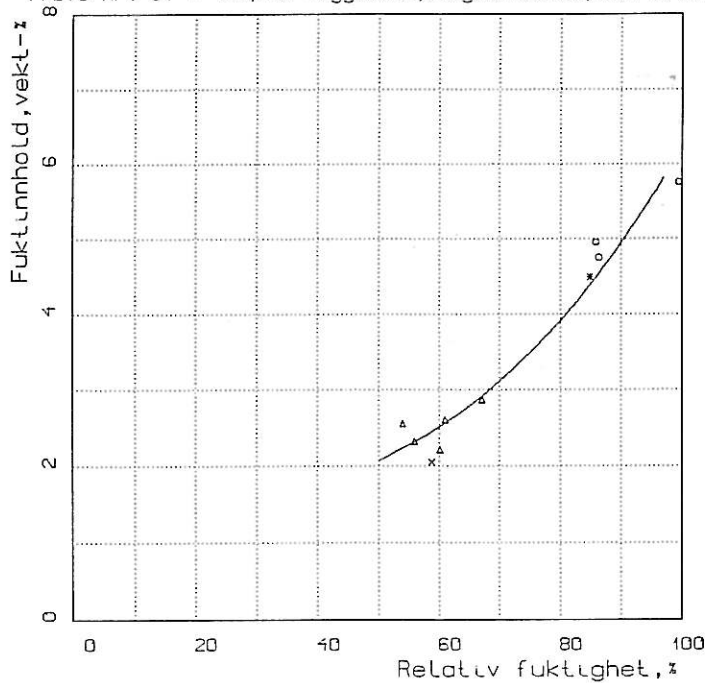
- UTVIKLING, 87%RF
- × LIKEVEKTSFUKT
- △ UTVIKLING, "50%RF"
- × "LIKEVEKTSFUKT"

DESORPSJONSKURVE FOR BETONG MED ENSIDIG UTTØRNING
 Prøve nr. 5: MP-30, 10% flygeaske, (trykkfasthet, 29.0 N/mm²)



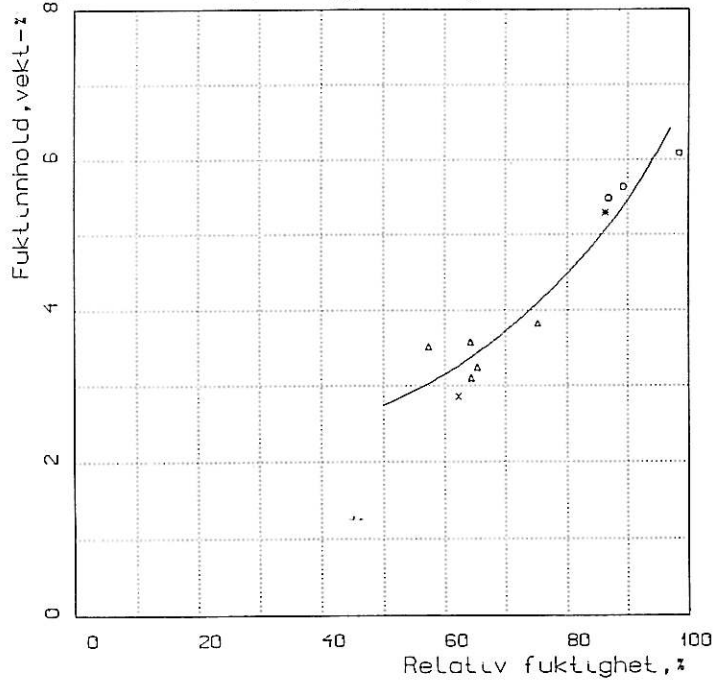
- UTVIKLING, 87%RF
- * LIKEVEKTSFUKT
- △ UTVIKLING, "50%RF"
- x "LIKEVEKTSFUKT"

DESORPSJONSKURVE FOR BETONG MED ENSIDIG UTTØRNING
 Prøve nr. 6: MP-30, 25% flygeaske, (trykkfasthet, 18.0 N/mm²)



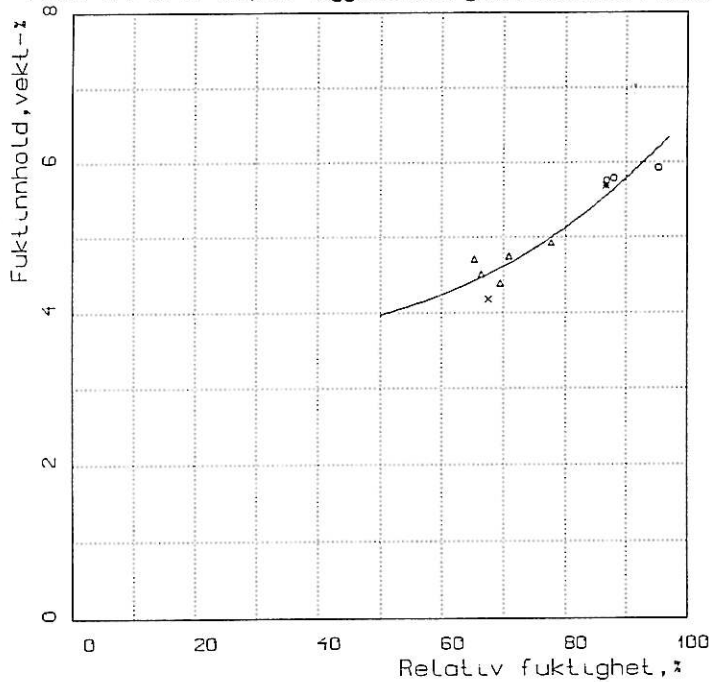
- UTVIKLING, 87%RF
- * LIKEVEKTSFUKT
- △ UTVIKLING, "50%RF"
- x "LIKEVEKTSFUKT"

DESORPSJONSKURVE FOR BETONG MED ENSIDIG UTTØRNING
 Prøve nr. 7: MP-30,25: flygeaske, (trykkfasthet, 28.7 N/mm²)



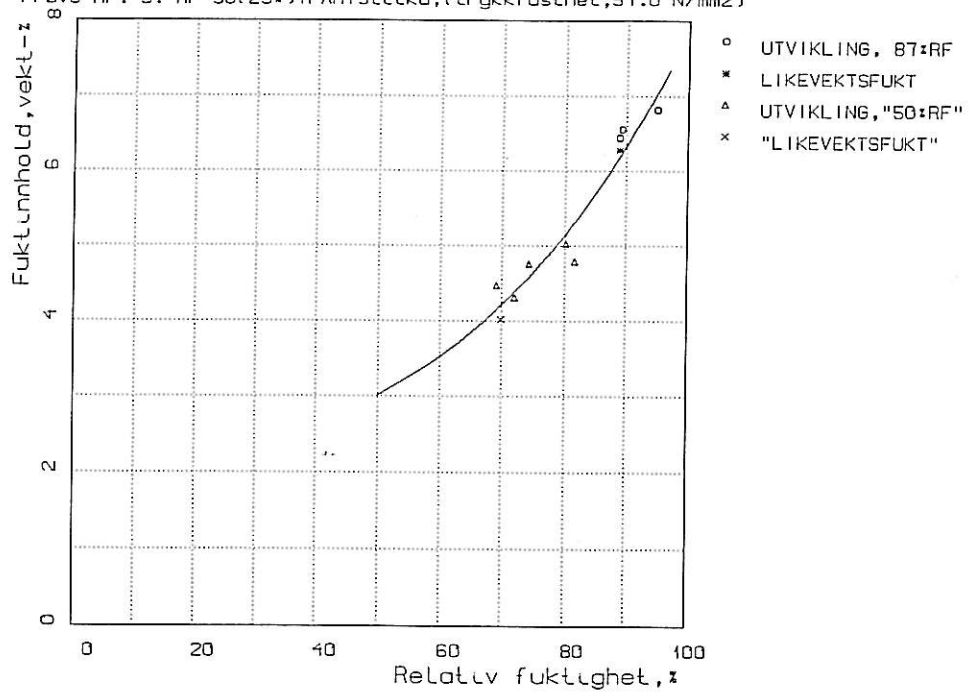
- UTVIKLING, 87:RF
- × LIKEVEKTSFUKT
- △ UTVIKLING, "50:RF"
- × "LIKEVEKTSFUKT"

DESORPSJONSKURVE FOR BETONG MED ENSIDIG UTTØRNING
 Prøve nr. 8: MP-30,25: flygeaske, (trykkfasthet, 43.1 N/mm²)



- UTVIKLING, 87:RF
- × LIKEVEKTSFUKT
- △ UTVIKLING, "50:RF"
- × "LIKEVEKTSFUKT"

DESORPSJONSKURVE FOR BETONG MED ENSIDIG UTTØRNING
Prøve nr. 9: MP-30(25%)+PAM+SULLKA, (trykkfasthet, 37.0 N/mm²)



Måling av relativ fuktighet

Instrumenter og metoder

Måling i betongvarianter

Fra 1983 til 1986 målte NBI fukttilstanden i ni betongvarianter. Hensikten var å kontrollere og vurdere forskjellige målemetoder samt få etablert likevektskurver for betongen.

Vi hadde store problemer med de første RF-giverne. Arbeidsinnsatsen som derfor ble nødvendig på dette området gjorde at NBI fikk bygd opp god kompetanse både i kalibrering og måleteknikk.

Forsøkene viste at de fleste prøvde betongene hadde høyere fuktinnhold enn kravet i NS 3420 på 3 vektprosent når de var i likevekt i et akseptabelt klima.

Konklusjonene på prosjektet var derfor at fukttilstanden i betonggulv bør bestemmes direkte etter RF-metoden dersom skader og tidstap skal unngås.