

MARIUS KVALVIK, STIG GEVING, JAN LINDGÅRD OG OLA SKJØLSVOLD

# Uttøringshastighet for betonggolv

– Laboratorieforsøk for norske betonger

Prosjektrapport 32

2009



SINTEF Byggforsk

Marius Kvalvik, Stig Geving, Jan Lindgård og Ola Skjølvold

# **Uttøringshastighet for betonggolv**

– Laboratorieforsøk for norske betonger

Prosjektrapport 32 – 2009

Prosjektrapport nr. 32

Marius Kvalvik, Stig Geving, Jan Lindgård og Ola Skjølsvold

**Uttøringshastighet for betonggolv**

– Laboratorieforsøk for norske betonger

Emneord:

Fukt, betong, sement, golv og golvbelegg

Prosjektnummer: B21750.03

ISSN 1504-6958

ISBN 978-82-536-1051-1 (trykt)

ISBN 978-82-536-1049-8 (pdf)

40 eks. trykt av AIT AS e-dit

Innmat: 100 g scandia

Omslag: 240 g trucard

© Copyright SINTEF Byggforsk 2009

Materialet i denne publikasjonen er omfattet av åndsverklovens bestemmelser. Uten særskilt avtale med SINTEF Byggforsk er enhver eksemplarframstilling og tilgjengeliggjøring bare tillatt i den utstrekning det er hjemlet i lov eller tillatt gjennom avtale med Kopinor, interesseorgan for rettighetshavere til åndsverk.

Utnyttelse i strid med lov eller avtale kan medføre erstatningsansvar og inndragning, og kan straffes med bøter eller fengsel.

Adr.: Forskningsveien 3 B  
Postboks 124 Blindern  
0314 OSLO

Tlf.: 22 96 55 55

Faks: 22 69 94 38 og 22 96 55 08

[www.sintef.no/byggforsk](http://www.sintef.no/byggforsk)

# Sammendrag

Denne rapporten presenterer resultater fra laboratorieforsøk hvor uttørkingsforløpet etter utstøping for betong med forskjellige sammensetninger er målt. Laboratorieforsøket var todelt, dels et forsøk hvor selvuttørkingseffekten til forskjellige typer sementpastaer ble undersøkt, og dels et forsøk hvor uttørkingen til romluft for betong med varierende sammensetninger ble undersøkt. Andre effekter av tørkeprosessen, som for eksempel risikoen for riss og kantroising, har ikke vært vurdert eller undersøkt i dette prosjektet.

I selvuttørkingsforsøket ble sementpastablandinger utstøpt i plastflasker, og pastaens interne fuktinnhold (relativ fuktighet, RF) ble målt over en periode på to måneder. Forsøket ble utført med Norcem Standardsement FA, Norcem Anleggssement og den svenske Slite Byggcement. I tillegg ble effekten av ekstra tilsetning av flyveaske og silikastøv undersøkt.

Uttørkingen av betong til romluft ble gjennomført ved at prøvestykker lagret i romluft med 23 °C og 50% RF fikk tørke ensidig til lufta. Sementtype var Norcem Standardsement FA. Følgende faktorer er undersøkt mhp deres innvirkning på uttørkingshastigheten:

- Vann-/sementforholdet (v/c-tallet) er variert mellom 0,40 og 0,60
- Forskjellig grad av redusert steininnhold (dvs. økt pastamengde)
- Tilsetning av silikastøv
- Ulike herdebetingelser den første uken etter utstøping

Norcem Standardsement FA og Norcem Anleggssement hadde tilnærmet lik selvuttørking. Byggcement hadde større grad av selvuttørking enn de to norske sementene (ca 3 % lavere RF enn de to norske sementtypene). De norske sementtypene kom knapt under 90% RF selv for lav v/c (0,40).

Uttørkingsforsøkene til romluft med betong basert på Norcem Standardsement FA ga noe av det samme bildet som vi så i selvuttørkingsforsøkene. Betong med v/c = 0,40 tørket raskest ned til under 90% RF, men deretter ble uttørkingshastigheten dramatisk redusert. Betongen med v/c = 0,60 tørket sakte ned til 90% RF, men tørkehastigheten avtok ikke nevneverdig etter å ha passert 90%. Betongen tørket dermed raskere ned til 85% RF enn betongen med v/c = 0,40. Dette betyr at det er risikofullt å basere seg kun på selvuttørking i forbindelse med uttørking før legging av golvbelegg.

Vi fant at dersom man tilsatte silikastøv, men ellers beholdt samme v/b-tall (= 0,40), ble selvuttørkingseffekten redusert med ca 3 % RF (mindre intern uttørking). Dette gjaldt alle de tre undersøkte sementtypene. Uttørkingsforsøkene til romluft med betong basert på Norcem standardsement FA ga noe av det samme bildet. Med silikatilsetning ble den tidligste uttørkingen ned til 90% RF forsinket, men uttørkingshastigheten ned til 85% RF var ikke forsinket.

Vi fant at redusert grad av steininnhold hadde liten eller ingen effekt på uttørkingshastigheten.

Vedrørende forskjellige herdebetingelser fant vi at effekten var størst for betong med v/c = 0,60 og minst for v/c = 0,40. Tørketiden ned til 90% RF for v/c = 0,60 kunne øke i størrelsesorden 70 – 85 % når vi sammenlignet herdebetingelsen som tillot raskest

uttørking (dvs. ingen herdetiltak) med herdetilak som inkluderte tilførsel av vann eller forhindret avdamping av vann.

Både selvuttørkingsforsøkene og tørkeforsøkene til romluft viste at det er forskjell på norsk og svensk sement/betong. Det er derfor viktig å ta utgangspunkt i norske betonger og sementer. Siden det meste som er gjort av tidligere forsøk på dette området er gjort på svenske betonger, er det helt klart viktig å få gjennomført flere målinger for norske forhold. Det vil si målinger på flere norske betongtyper hvor herdebetingelser blir variert i større utstrekning enn for forsøkene i dette prosjektet.

Ut fra måleresultatene er det laget et forslag til revidert tørketabell for moderne norske betongsammensetninger med Norcem Standardsement FA. I påvente av flere målinger og beregningsverktøy tilpasset norske forhold (for eksempel en norsk versjon av det svenske beregningsprogrammet TorkaS) kan denne tabellen benyttes til å estimere nødvendige tørketider. Tabellen er imidlertid forbundet med relativt stor usikkerhet, og må benyttes med stor omhu. Det bør alltid foretas kontrollmålinger før legging av belegg. Ved styring av uttørkingsbetingelser må det tas hensyn til betongens øvrige egenskaper (riss, svinn, kantroising etc.).

Arbeidet er utført innen SINTEF Byggforsks strategiske instituttprogram *Moisture in concrete – transport forms, measurement methods and economic and environmental significance*. Programmet er finansiert av Norges forskningsråd.

# Innhold

<b>Sammendrag .....</b>	<b>3</b>
<b>1 Innledning .....</b>	<b>6</b>
<b>2 Beskrivelse av laboratorieforsøk .....</b>	<b>7</b>
2.1 Selvuttørkingsforsøk med pastaprøver.....	7
2.1.1 Generelt.....	7
2.1.2 Selvuttørking.....	7
2.1.3 Pastasammensetning .....	8
2.2 Ensidig uttørking av betongprøvestykker til romluft.....	9
2.2.1 Generelt.....	9
2.2.2 Forsøksoppsett .....	9
2.2.3 Betongsammensetning .....	10
2.2.4 Støpeformer og målesylindre .....	10
2.2.5 Herdebetingelser .....	11
2.2.6 Tørkeklima .....	12
2.2.7 Fuktmåling .....	12
<b>3 Resultater .....</b>	<b>14</b>
3.1 Selvuttørkingsforsøk med pastaprøver.....	14
3.2 Ensidig uttørking av betongprøvestykker til romluft.....	17
3.2.1 Generelt.....	17
3.2.2 Effekt av v/c-tall.....	18
3.2.3 Effekt av reduksjon av steininnhold.....	21
3.2.4 Effekt av tilsetning av silikastøv .....	23
3.2.5 Effekt av ulike herdebetingelser .....	24
3.2.5 Effekt av ulike herdebetingelser .....	24
<b>4 Vurderinger .....</b>	<b>26</b>
4.1 Selvuttørkingsforsøk med pastaprøver.....	26
4.2 Ensidig uttørking av betongprøvestykker til romluft.....	26
4.2.1 Generelt.....	26
4.2.2 Effekt av v/c-tall.....	27
4.2.3 Effekt av reduksjon av steininnhold.....	28
4.2.4 Effekt av tilsetning av silikastøv .....	29
4.2.5 Effekt av ulike herdebetingelser .....	29
<b>5 Metoder for estimering av tørketider.....</b>	<b>31</b>
5.1 Eksisterende tørketabeller .....	31
5.2 Revisjon av eksisterende tørketabeller for betonggolv .....	33
5.2.1 Generelt.....	33
5.2.2 Revidert tørketidstabell .....	33
5.2.3 Korreksjonstabell .....	34
<b>5 Konklusjon.....</b>	<b>35</b>
<b>6 Referanser.....</b>	<b>36</b>

# 1 Innledning

Fukt i betong er et tema som får en del oppmerksomhet i byggenæringen, både nasjonalt og internasjonalt. Bakgrunnen til dette er spesielt knyttet til problemstillinger i forbindelse med fuktskader på betonggulv. Tette hellimte belegg (vinyl, linoleum, gummi) som legges på for fuktig betong, kan få buler og blærer. Årsaken er vanligvis at limet forsåpes på grunn av det høye alkaliske fuktnivået, og at belegget derfor mister heften. Belegget sammen med limsjiktet kan i slike tilfeller avgi gasser som kan ha en negativ innvirkning på innemiljøet.

Før legging av tette belegg på betong er det derfor essensielt at betongen er tilstrekkelig tørket ut. Uttørring av betong er imidlertid et fagfelt hvor mange i byggenæringen henger etter, både mhp materialvalg og herde/tørkebetingelser. Dette fører igjen til mange svært kostbare skader som i verste fall kan ha helsemessige konsekvenser. Kunnskap om forventede uttørkingstider er derfor viktig, blant annet for å vurdere om spesielle tiltak bør settes inn mhp materialvalg, tørketiltak og lignende.

For å estimere uttørkingstider har det til dels vært vanlig å benytte tabeller hvor tørketiden kan estimeres ut fra kjennskap til v/c-tall, tykkelse av betong, tørkeklima etc. I Norge har en tabell over tørketider blant annet vært gjengitt i Byggforskserien Byggdetaljer 474.533 – *Byggfukt. Uttørring og tiltak* og i (Geving og Thue, 2002). Disse tabellene er imidlertid utledet av svenske målinger på svenske betonger og sementtyper (Hedenblad, 1995). Svenske og norske betonger og sementtyper er imidlertid ganske forskjellige, og det er derfor sannsynlig at uttørkingsforløpene også er forskjellige. I dette prosjektet er det derfor sett på uttørkingsforløpet til moderne norske betongsammensetninger. Noen tidligere uttørkingsforsøk fra Sverige og Norge er oppsummert i (Geving, 2007).

Denne rapporten presenterer laboratorieforsøk hvor uttørkingsforløpet er målt på forskjellige norske betongsammensetninger og sementtyper. Laboratorieforsøket var todelt, dels et forsøk hvor selvuttørkingseffekten til forskjellige typer sementpastaer ble undersøkt, og dels et forsøk hvor uttørringen til romluft av ulike betongsammensetninger ble undersøkt.

Arbeidet er utført innen SINTEF Byggforsks strategiske instituttprogram *Moisture in concrete – transport forms, measurement methods and economic and environmental significance*. Programmet er finansiert av Norges forskningsråd.

## 2 Beskrivelse av laboratorieforsøk

### 2.1 Selvuttørkingsforsøk med pastaprøver

#### 2.1.1 Generelt

Forsøket ble gjennomført ved at tette plastflasker ble fylt med fersk sementpasta. Sensorer for måling av relativ fuktighet (RF) ble montert, og flaskene ble deretter forseglet for å hindre luftlekkasjer og fukttransport fra sementpastaen til omgivende luft. All endring i målt RF vil derfor være relatert til selvuttørkingseffekten (se egen omtale av selvuttørkingseffekten i kap 2.1.2).

Følgende faktorer er undersøkt mhp deres innvirkning på uttørkingshastigheten:

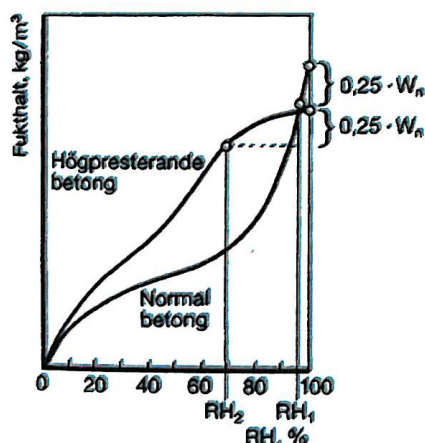
- Forskjellige sementtyper
  - o Norcem Standardsement FA (heretter kalt Standardsement FA)
  - o Norcem Anleggssement (heretter kalt Anleggssement)
  - o Svensk Slite Byggsement (heretter kalt Byggsement)
- Vann-/sementforholdet (v/c-tallet) er variert mellom 0,40 og 0,60
- Tilsetning av (ekstra) flygeaske
- Tilsetning av silikastøv

#### 2.1.2 Selvuttørking

Når vannet i sementen bindes kjemisk under hydratiseringsprosessen vil dets opprinnelige volum minske med ca 25%. Sementreaksjonen skaper således noen luftfylte porer i sementpastaen når den er fuktisolert fra omgivelsene. Mengden vann som bindes kjemisk og dermed volumet av luftporene som dannes er relativt uavhengig av v/c-tallet. Når mengden fritt vann i sementpastaen reduseres som følge av at vann bindes kjemisk, vil RF synke. Denne effekten kalles selvuttørking.

Hvor mye RF synker ved redusert mengde fritt vanninnhold i porene avhenger av desorpsjonskurven til sementpastaen. Betong med lavt v/c-tall har typisk en slakere helning på desorpsjonskurven i det høyeste RF-området enn betong med høyere v/c-tall. Dvs. at dersom man forutsetter tilnærmet lik mengde kjemisk bundet vann i betong med lavt og høyt v/c-tall, vil betongen med lavt v/c-tall ha størst RF-senkning som følge av reduksjonen i fuktinnholdet, se illustrasjon i figur 2.1.1. Vi sier derfor at selvuttørkingseffekten er liten hos betong med høyt v/c-tall (dvs. at uttørkingen vil domineres av fuktutveksling med omgivelsene), mens den kan være stor hos betong med lavt v/c-tall (dvs. at fuktutveksling med omgivelsene blir mindre viktig). En annen måte å forklare det på er at høyere v/c gir større gjenværende mengde fritt vann (overskuddsvann). Dette medfører at høyere v/c gir lavere grad av selvuttørking.





Figur 2.1.1

Den totale RF-senkning ved et gitt tidspunkt som følge av betongens selvuttørking.  $W_n$  = mengde vann som er bundet kjemisk (Johansson, 2005). "Høgpreesterande betong" er betong med lavt v/c-tall, mens "normal betong" er betong med relativt høyt v/c-tall.

### 2.1.3 Pastasammensetning

Det ble støpt ut 10 ulike sementpastaer, se tabell 2.1.1. Målingene ble utført ved SINTEF Byggforsk laboratorier i Trondheim i perioden oktober-desember 2008.

Tabell 2.1.1

Forsøksmatrise med pastaresepter.

Sammensetning	Enh.	Blandingsnr.										
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Standard FA	kg	2,0	2,0	2,0	1,7	2,0						
Anleggsement	kg						2,0	1,5	2,0			
Byggcement	kg									2,0	2,0	
Flygeaske (FA)	kg				0,27			0,53				
Silikastøv (s)	kg					0,08			0,08			0,08
Vann	kg	0,80	1,00	1,20	0,76	0,86	0,80	0,75	0,86	0,80	0,86	
v/(c + 2s + 0,7FA)	-	0,40	0,50	0,60	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40
v/c	-	0,40	0,50	0,60	0,45	0,43	0,40	0,50	0,43	0,40	0,43	0,43

### 2.1.4 Utstøping og montering av RF-sensorer

Sementpasta ble støpt ut i 250 ml plastflasker, se figur 2.1.2. Målesylindere (plastrør) ble satt inn ved støping i flaskene for senere montering av HumiGuard-sensorer. Se beskrivelse i kapittel 2.2.7 av HumiGuard-systemet. Målesylinderen ble montert slik at målepunktet ble ca midt i flaskene. For å hindre luftlekkasjer mellom pastaen i flaskene og omgivelsene ble det tettet med tettemasse i overgangen mellom målesylinder og flaske, samt at åpningen til målesylinderen i topp ble tettet med plastkork og tettemasse.

Alle flasker ble umiddelbart etter utstøping plassert i klimarom med 20 °C og 50 % RF.

Ved et senere tidspunkt, når RF var forventet å ha sunket til under 95 % RF (øvre grense for det målesensorene tåler), ble selve HumiGuard-sensorene montert i plastflaskene. Avlesing av RF og temperatur ble gjort jevnlig over en periode på ca 2 måneder.



Figur 2.1.2  
Plastflasker med sementpasta instrumentert med RF-sensorer av typen HumiGuard.

## 2.2 Ensidig uttørring av betongprøvestykker til romluft

### 2.2.1 Generelt

Forsøket ble gjennomført ved at nyutstøpte prøvestykker med tykkelse 90 mm fikk tørke ensidig til romluft med 23 °C og 50% RF. Sementtype var Norcem Standardsement FA. Følgende faktorer er undersøkt mhp deres innvirkning på uttøringshastigheten:

- Vann-/sementforholdet (v/c-tallet) er variert mellom 0,40 og 0,60
- Forskjellig grad av redusert steininnhold (dvs. økt pastamengde)
- Tilsetning av silikastøv
- Ulike herdebetingelser den første uken etter utstøping

Dette forsøket har vært en del av en masteroppgave ved NTNU i Trondheim (Kvalvik, 2008). Målingene beskrevet i dette kapitlet ble utført med tett oppfølging og kvalitetssikring av SINTEF Byggforsk. Enkelte tilleggsmålinger, resultater og dokumentasjon fra (Kvalvik, 2008) er ikke medtatt i denne rapporten, og det henvises til masteroppgaven for mer detaljert informasjon.

### 2.2.2 Forsøksoppsett

Det ble støpt ut åtte ulike betongsammensetninger som hver ble gitt fra 2 til 6 ulike herdebetingelser etter utstøping, se tabell 2.2.1. Det var totalt 28 prøvestykker. Målingene ble utført ved SINTEF Byggforsks laboratorier i Oslo.

Tabell 2.2.1

Forsøksmatrise for uttørkingsforsøket.

Betongsammensetning		Herdebetingelse					
		1	2	3	4	5	6
1	v/c=0,60, 25 % red.	x	x	x	x	x	x
2	v/c=0,50, 25 % red.	x	x	x	x	x	x
3	v/c=0,40, 25 % red.	x	x	x	x	x	x
4	v/c=0,60, 0 % red.	x	x				
5	v/c=0,40, 0 % red.	x	x				
6	v/c=0,60, 50 % red.	x	x				
7	v/c=0,40, 50 % red.	x	x				
8	v/(c+2s)=0,40, 25 % red., 4 % silika	x	x				

Herdebetingelser før eksponert for uttørring i romluft. Temperaturen er 23 °C fra utstøping:

1: Plast i 1 dag

4: Vann i 1 dag

2: Vann i 7 dager

5: Herdemembran

3: Plast i 7 dager

6: Ingenting (tørring starter umiddelbart etter utstøping)

### 2.2.3 Betongsammensetning

Følgende delmaterialer ble brukt:

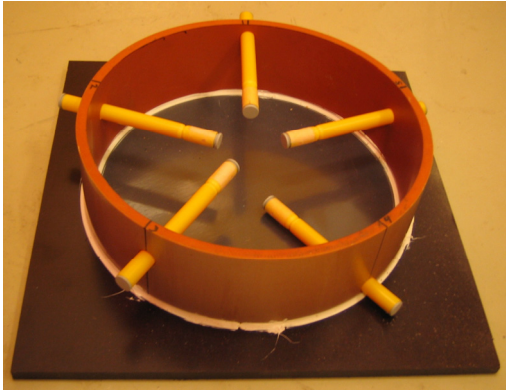
- Norcem Standardsement FA (inneholder 20 % flyveaske)
- Elkem 920D silikastøv
- Årdal sand 0-8 mm
- Årdal singel 8-16 mm
- Sika FB-2 superplastiserende tilsetningsstoff
- Vann (springvann)

Blandingene ble gitt ulik grad av reduksjon av steininnholdet (forkortet med "red." i tabell 2.2.1), henholdsvis redusert 0 %, 25 % og 50 %. Normalt steininnhold for en konstruksjonsbetong er at ca 55-60 % av tilslaget er større enn 4 mm. 25 % redusert og 50 % redusert betyr at steinmengden er redusert med henholdsvis 25 % og 50 % i forhold til normalt steininnhold. Reduksjon av steininnhold fører til at pastamengden øker, og gjør at betongen blir lettere å glatte ut.

For nærmere informasjon vedrørende betongresepter, utstøpingsprosedyre og lignende henvises det til (Kvalvik, 2008).

### 2.2.4 Støpeformer og målesylindre

Støpeformene ble laget av avkappede PVC-rør med godstykkelse 10 mm, som ble limt på en foliert kryssfinerplate. Formene var sirkulære med høyde  $H = 90$  mm og diameter 300 mm. Overgangen mellom sidekanter og kryssfinerplate ble tettet med fugemasse som en ekstra sikring. Det ble lagt 0,2 mm plastfolie i bunn av røret for å sikre ren ensidig uttørring oppover. Det ble boret hull i siden av støpeformene, og montert målesylindere (plastrør, se figur 2.2.1 a og b. Målesylindrene ble plugget med plastkorker for senere montering av HumiGuard-sensorer en viss tid etter utstøping. For herdebetingelse 1 (plastfolietildekning i en dag) ble det innstøpt målesylindre i tre dybder (0,2H, 0,4H og 0,8H regnet fra topp prøvestykke) for å få frem uttørkingsprofilen over høyden, se figur 2.2.1a. I tillegg ble det montert to ekstra målesylindre i dybde 0,4H, for å få sikrere måleverdier i ekvivalent måledybde 0,4H. For herdebetingelse 2 -6 ble det kun innstøpt en målesylinder i måledybde 0,4H, se figur 2.2.1b.



a. Støpeform for herdebetingelse 1. Målesylindre i tre dybder (0,2H, 0,4H og 0,8H), 3 paralleller i dybde 0,4H.



b. Støpeform for herdebetingelse 2-6. Målesylindre i dybde 0,4H.

Figur 2.2.1  
Støpeformer med innstøpte målesylindre

### 2.2.5 Herdebetingelser

Prøvestykkene ble gitt seks ulike herdebetingelser som er beskrevet i det følgende, se også tabell 2.2.1 og figur 2.2.2.

#### *Tildekking med plast (herdebetingelse 1 og 3):*

Plastfolie ble påført prøvestykkene umiddelbart etter støping. Plasten ble lagt over på toppflaten og ført ned på siden av støpeformene. Det ble teipet rundt formen med teip for å unngå luftlekkasjer. Det ble gitt to ulike varigheter for tildekking med plast, henholdsvis i 1 dag etter støping (dvs. varighet ca 24 timer) og i 7 dager.

#### *Vannpåkjenning (herdebetingelse 2 og 4):*

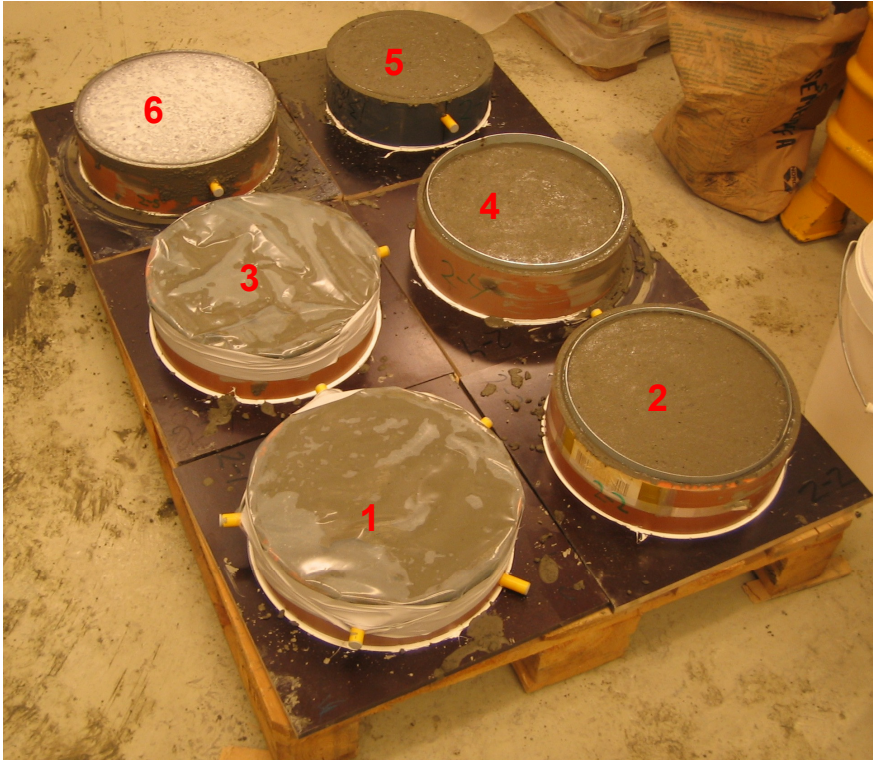
Prøvestykkene ble påført fritt vann på overflaten ca 10 minutter etter utstøping. Dette ble gjort ved at vann ble målt opp og helt forsiktig over betongoverflaten i en slik mengde at hele betongoverflaten var dekt av fritt vann. Det ble etterfylt med vann ved behov, slik at betongoverflaten var dekt med fritt vann i hele herdetiltakets varighet. Det ble brukt to ulike varigheter for vannpåkjenning, henholdsvis i 1 dag etter støping (varighet ca 24 timer) og i 7 dager. For å holde vannet på plass på betongoverflaten ble det benyttet en sirkulær metallring med noe mindre diameter enn prøvestykket. Dette metallrøret ble delvis støpt inn i betongens overflate i forbindelse med vibreringen. Det ble lagt en plate over metallringen for å hindre av vannet fordampet til omgivelsene. Ved sluttidspunkt for vannpåkjenningen ble eventuelt vann som var igjen på betongoverflaten tørket bort med papir.

#### *Herdemembran (herdebetingelse 5):*

Herdemembranen som ble benyttet var av type Melcure Membranherdner (Datablad Melcure, 2006). Dette er en herdemembran uten organiske løsningsmidler, og aktiv komponent er parafinvoks. 14 g av materialet ble påført hvert prøvestykke med trykkluftsprøyte rett etter utstøping.

#### *Ingenting (herdebetingelse 6):*

Ved herdebetingelsen ”ingenting” ble det ikke utført noen tiltak for å forhindre uttørring fra betongoverflaten den første tiden etter utstøping. Betongoverflaten ble stående fri og uten tildekking.



Figur 2.2.2

Nystøpte prøvestykker med ulike herdebetingelser (1 – 6), se tabell 2.2.1. For herdebetingelse 2 og 4 (vannpåkjenning) ble det lagt en plate over prøvestykkene for å hindre at vannet fordampet.

### 2.2.6 Tørkeklima

Prøvestykkene ble stående ett døgn på paller i utstøpingshallen etter utstøping, med temperatur ca 23 °C. Dette ble gjort for at prøvestykkene skulle få herde tilstrekkelig til at de kunne flyttes. De ble deretter flyttet til klimarom med styrt temperatur på 23 °C og RF på 50 % RF. RF og temperatur ble logget kontinuerlig under hele måleperioden.

### 2.2.7 Fuktmåling

For måling av RF i betongen ble det benyttet fastmonterte sensorer av typen HumiGuard (Nordisk Industrifysik, 2008). HumiGuard –sensorer har begrenset levetid, dvs. de leveres med holdbarhetsdato. Sensorer fra samme produksjonsnummer forutsettes å aldres (drifte) likt. Kalibreringen trenger dermed ikke skje individuelt, men baserer seg på kontroll av driften til enkelte referansesensorer fra samme produksjonsnummer som de utplasserte målesensorene. Ut fra kontrollen av referansesensorene blir målingene justert ved hvert enkelt måletidspunkt.

Sensorens måleområde er begrenset til 75-98 % RF, og sensorene skal ikke utsettes for RF-verdier utenfor dette området. I tillegg skal oppholdstiden i området 95-98 % RF begrenses til høyst en uke (RBK, 2005). Sensorene ble derfor montert i målesylindrene på ulike tidspunkt etter utstøping, beregnet ut fra når det var forventet at de respektive prøvestykkene og måledybene hadde tørket ut til under 95 % RF.

De innstøpte målesylindrene (se figur 2.2.1) hadde to små hull som skal sørge for at vanddamp går fra betongen og inn i målesylindren. Disse to hullene ble teipet med dampåpen ”sykehurstape” for å forhindre at målesylindrene ble fylt med betong. Første avlesning ble foretatt 4 dager etter montering av sensorer, og det ble deretter målt manuelt

en gang hver uke. Avlesning av måleresultat for referansecellen ble gjort samtidig som de utplasserte RF-sensorene ble avlest.

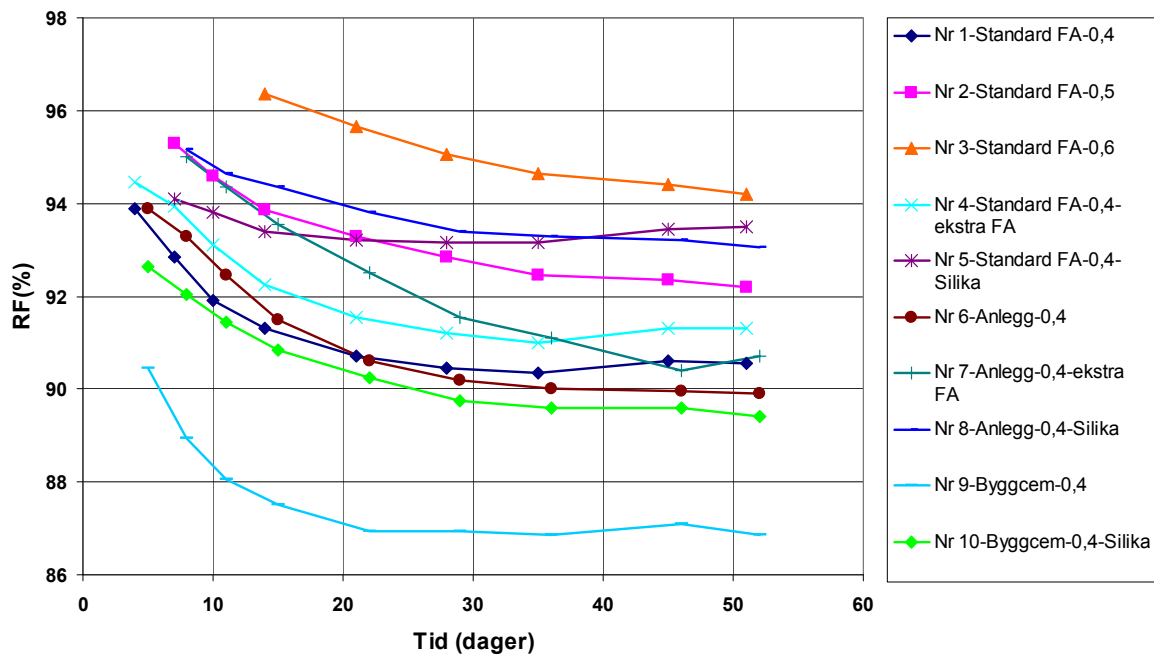
Måleusikkerhet ved måleoppsett og måleutstyr er vurdert spesielt i (Kvalvik, 2008). Måleresultatene fra prøvestykkene med tre målesylindre montert i samme dybde viser variasjoner fra 0-2,5 % RF. Denne forskjellen kan skyldes:

- ulik reell måledybde (måledybde ble målt før utstøping til å avvike mellom 0 og 4 mm fra ønsket dybde)
- systematisk feil ved RF-sensoren
- at betongen i prøvestykket ikke er homogen

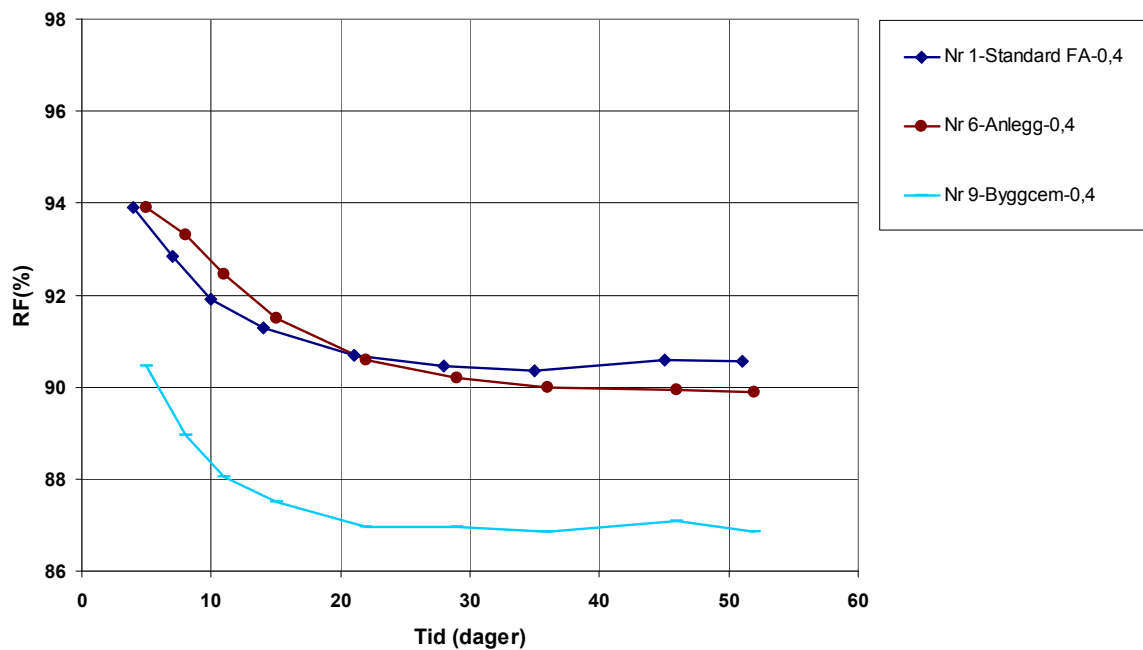
### 3 Resultater

#### 3.1 Selvuttørkingsforsøk med pastaprøver

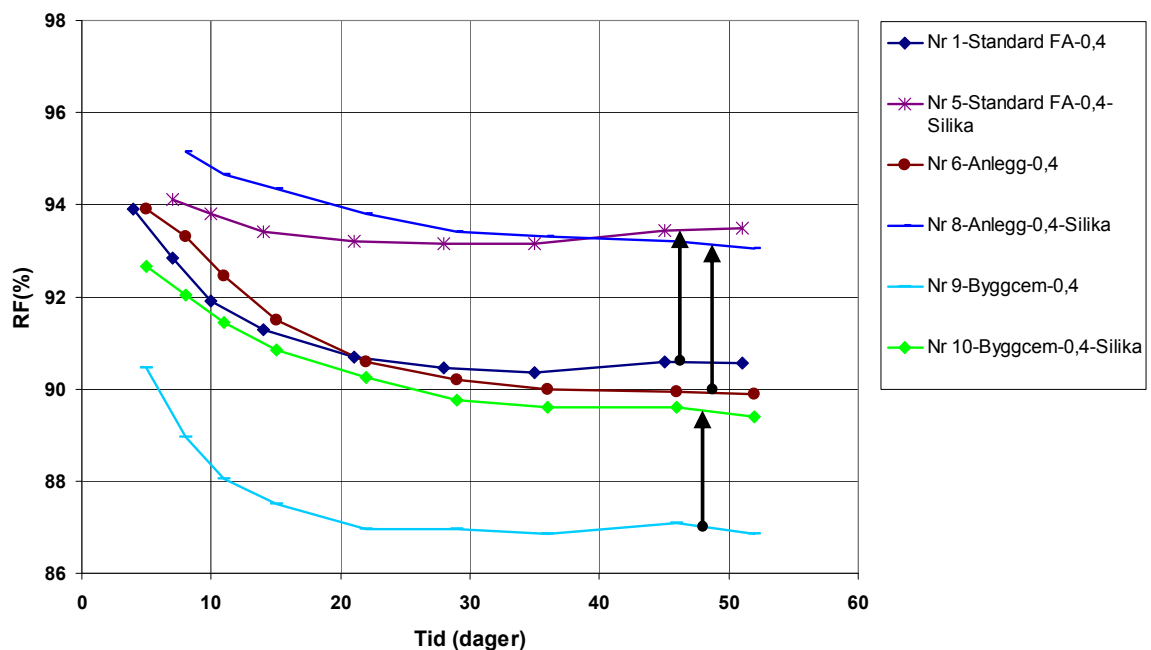
Resultatene er vist i figur 3.1.1-5. Hver kurve representerer middelverdien av to prøvestykker.



Figur 3.1.1  
Selvuttørking for alle pastaprøver. Pastareseptene for de forskjellige blandingsnumrene er beskrevet i tabell 2.1.1.

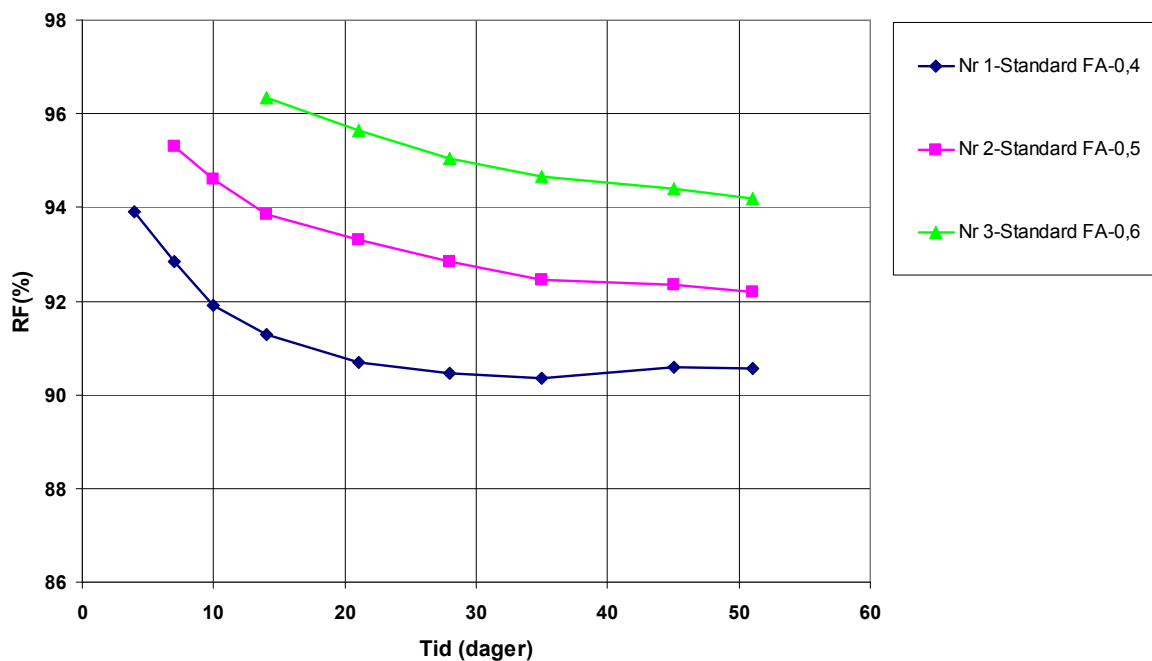


Figur 3.1.2  
Selvuttørking for tre sementtyper (Standardsement FA, Anleggssement, Byggcement) ved  $v/c = 0,40$ . Pastareseptene for de forskjellige blandingsnumrene er beskrevet i tabell 2.1.1.

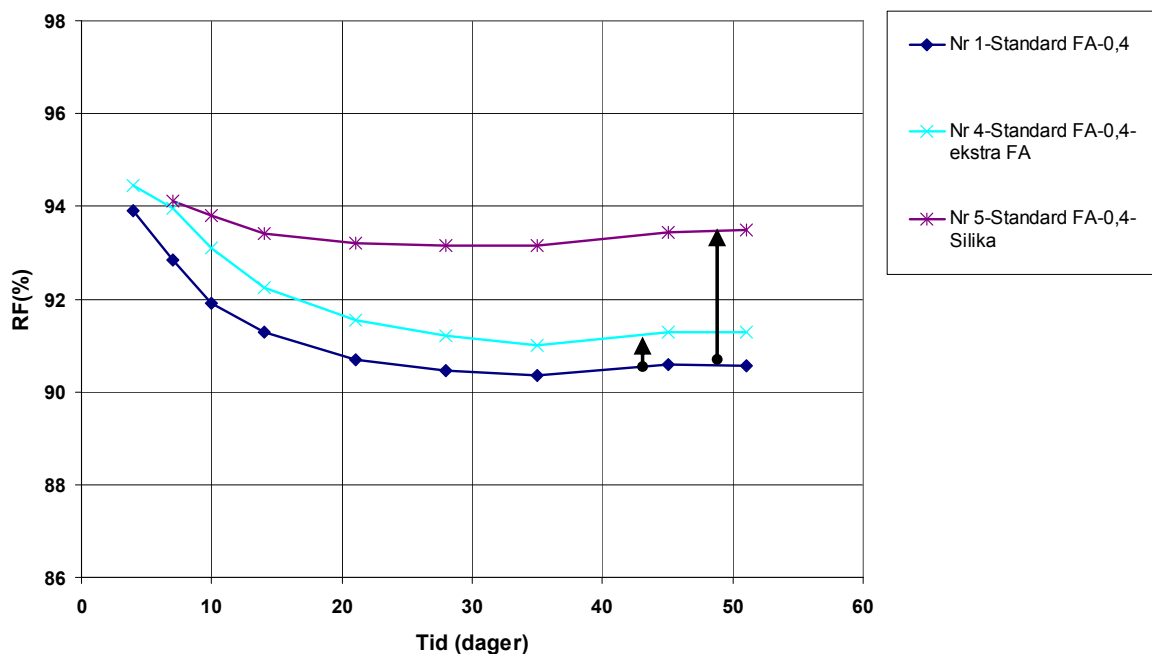


Figur 3.1.3  
Selvuttørking og effekt av 4 % silikatilsetning for tre sementtyper (Standardsement FA, Anleggssement, Byggcement) ved  $v/(c+2s) = 0,40$ . Pastareseptene for de forskjellige blandingsnumrene er beskrevet i tabell 2.1.1.





Figur 3.1.4  
Selvuttørking for Standardsement FA for tre forskjellige v/c-tall (0,40, 0,50 og 0,60).  
Pastareseptene for de forskjellige blandingsnumrene er beskrevet i tabell 2.1.1.



Figur 3.1.5  
Selvuttørking for Standardsement FA og effekt av ekstra tilsetning av flyveaske (FA) og silikatilsetning ved  $v/(c+2s+0,7FA) = 0,40$ . Pastareseptene for de forskjellige blandingsnumrene er beskrevet i tabell 2.1.1.

## 3.2 Ensidig uttørking av betongprøvestykker til romluft

### 3.2.1 Generelt

Resultatene vist i figur 3.2.1-3.2.15 er sammenfattet i tabell 3.2.1, med uttørkingstider ned til hhv. 90 og 85% RF. Enkelte av betongsammensetningene tørket ikke ned til under 85% i løpet av måleperioden på ca 3 måneder. For disse er tørketiden kun estimert ved relativt grov lineær interpolasjon, dvs. usikkerheten er stor. Det er videre verdt å merke seg at resultatene i tabellen må leses med en viss forsiktighet pga at usikkerheten i målt RF kan få relativt stort utslag på tørketiden. Spesielt gjelder det betongene med lavt v/c-tall og uttørking til 85%. Vi kan for eksempel i tabell 3.2.1 avlese for v/c=0,40 og uttørking ned til 85% RF at herdebetingelse 3 krever 5,7 måneder, mens herdebetingelse 4 krever 3,3 måneder, dvs. en svært stor forskjell. Ut fra figur 3.2.15 (som viser samme tilfelle) ser vi imidlertid at pga den relativt flate uttørkingsskurven vil en måleusikkerhet på for eksempel  $\pm 1$  % RF ha stor betydning på tørketiden (ca  $\pm 0,5$  måned).

Tabell 3.2.1

Øverslag over uttørkingstider til 90 og 85 % RF for ulike betongsammensetninger utsatt for ulike herdebetingelser. Det er brukt Norcem Standardsement FA og tilslagstype Årdal i alle betongsammensetningene. Prøvene ble oppbevart i klimarom med 23 °C og 50 % RF.

RF-krav	Sammensetning		Uttørkingstid (måneder fra utstøping)**					
	v/c-tall	Silika	Herdebetingelse*					
			1	2	3	4	5	6
Uttørking til 90 % RF	0,60	-	1,0	1,2	1,2	1,3	1,2	0,7
	0,50	-	0,8	1,4	1,3	0,9	1,7	1,1
	0,40	-	0,6	0,7	0,5	0,6	0,8	0,7
		4 %	1,3	0,9				
Uttørking til 85 % RF	0,60	-	1,8	2,1	2,1	2,4	2,2	1,4
	0,50	-	2,1	3,3	3,3	2,1	3,8**	2,5
	0,40	-	3,6**	3,4	5,7**	3,3	4,0**	4,2**
		4 %	3,4**	2,1				

\*Herdebetingelser:

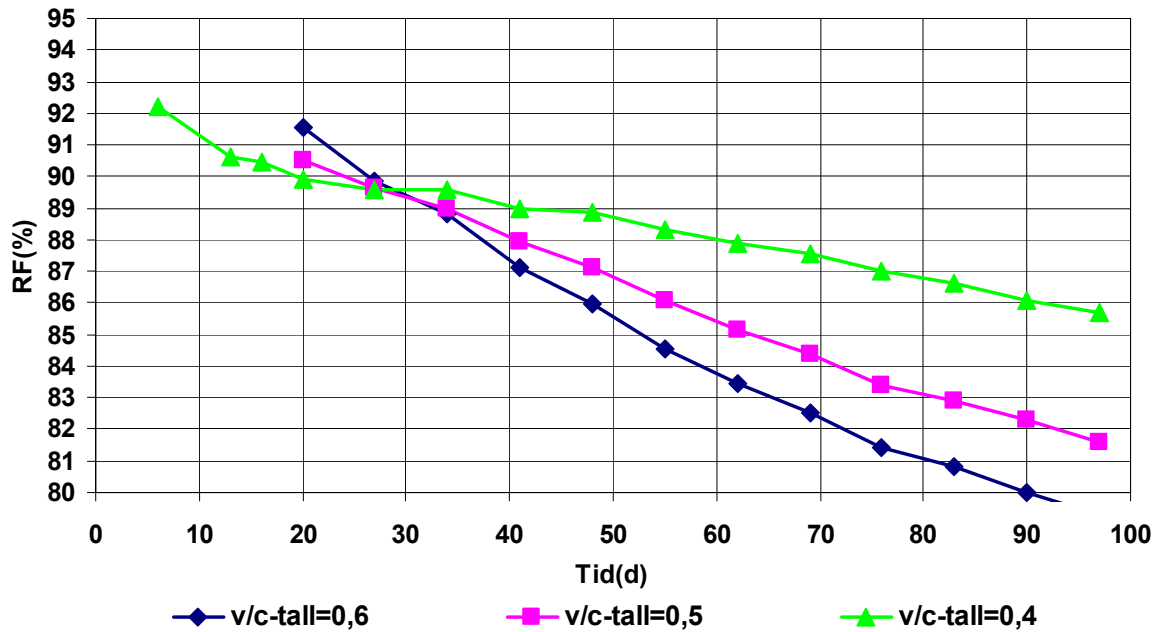
- |                    |  |
|--------------------|--|
| 1: Plast i 1 dag   | 4: Vann i 1 dag  |
| 2: Vann i 7 dager  | 5: Herdemembran  |
| 3: Plast i 7 dager | 6: Ingenting (tørking starter umiddelbart etter utstøping) |

\*\*Verdiene er estimert ved ekstrapolasjon siden de er utenfor måleperioden, dvs. de er relativt usikre.

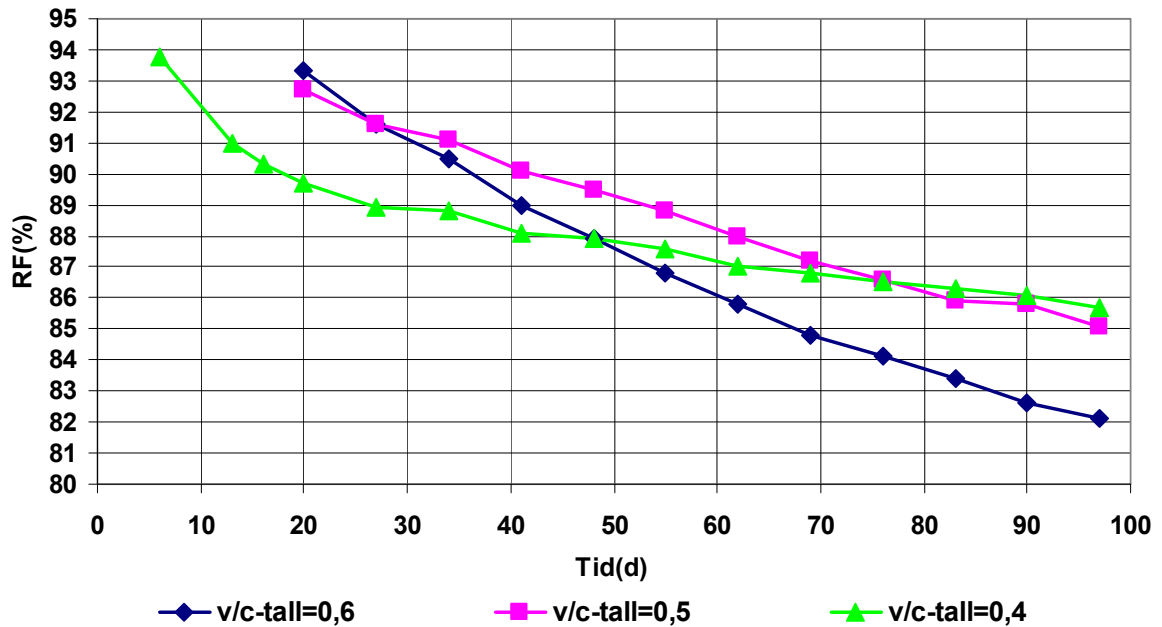
\*\*\*For v/c= 0,40 og 0,60 som er uten silikatilsetning og med herdebetingelse 1 og 2 er uttørkingstiden et gjennomsnitt av målinger med 0%, 25% og 50% redusert steininnhold (dvs. verdien er basert på 9 enkeltmålinger for herdebetingelse 1, og 3 enkeltmålinger for herdebetingelse 2), mens de resterende verdier gjelder 25% redusert steininnhold. Tørketidene for herdebetingelsene 3 – 6, samt for herdebetingelse 2 med silikatilsetning, er basert på kun 1 enkeltmåling. Tørketiden for herdebetingelse 1 med silikatilsetning er basert på 3 enkeltmålinger.

### 3.2.2 Effekt av v/c-tall

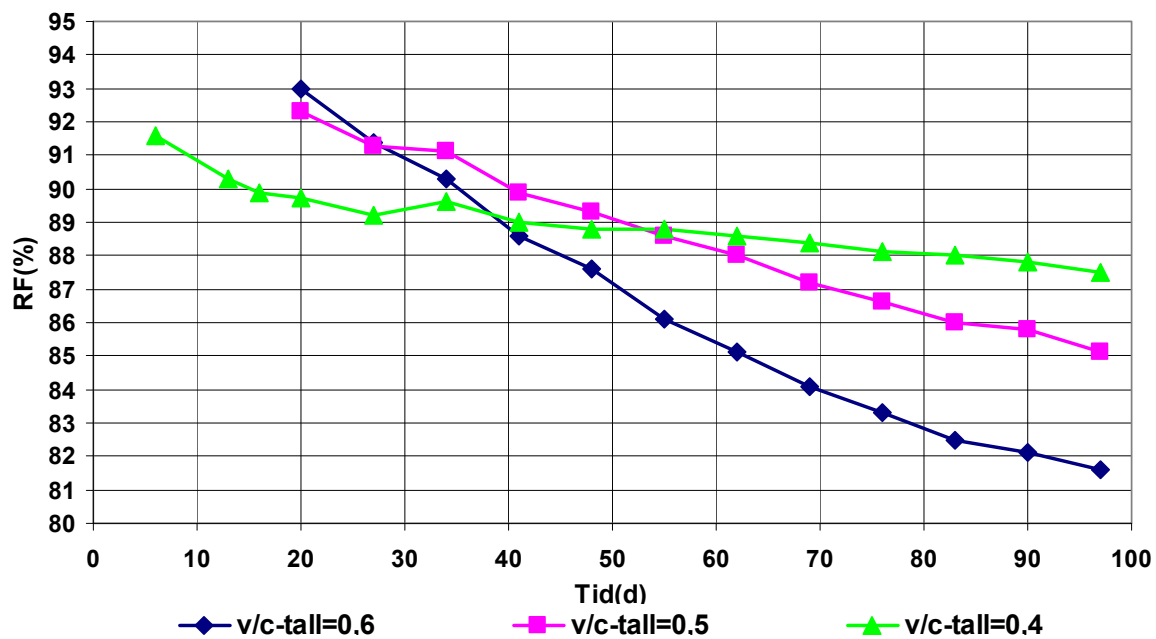
Betydning av v/c-tallet er vist i figur 3.2.1-6 for forskjellige herdebetingelser og 25 % redusert steininnhold.



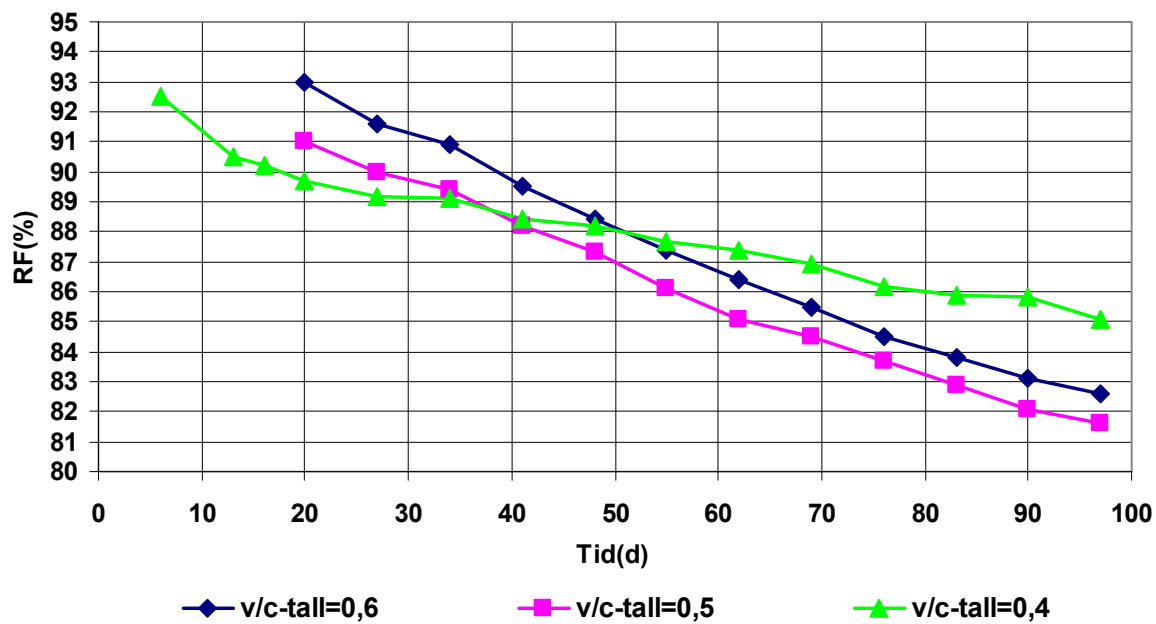
Figur 3.2.1  
Betydningen av ulike v/c-tall for herdebetingelse nr 1 - "plast i 1 dag".



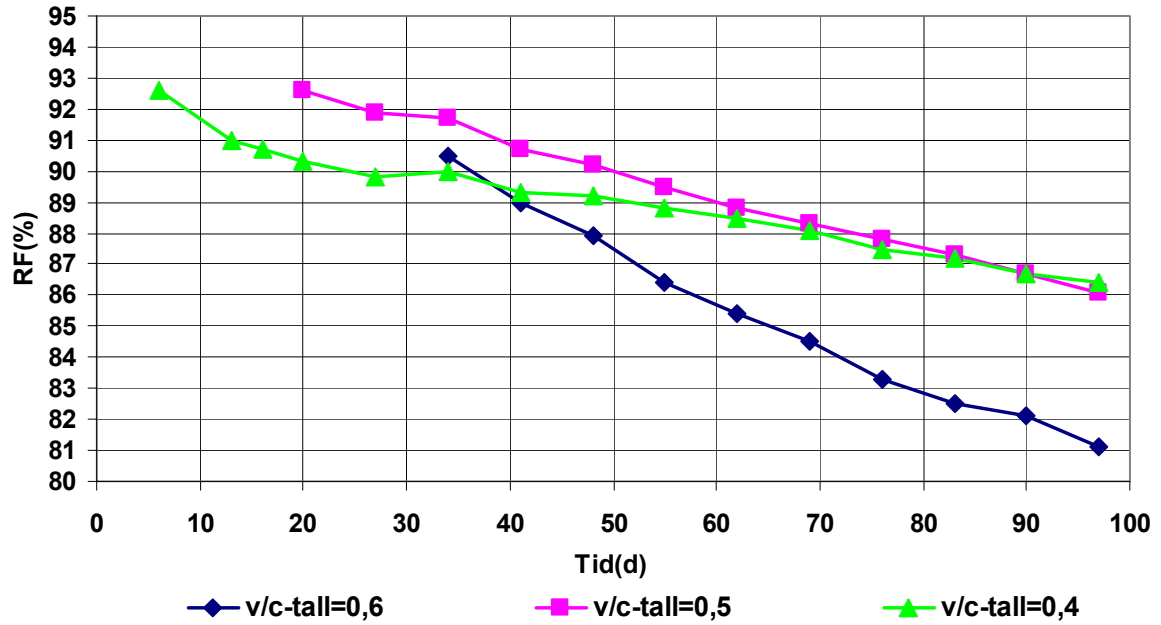
Figur 3.2.2  
Betydningen av ulike v/c-tall for herdebetingelse nr 2 - "vann i 7 dager".



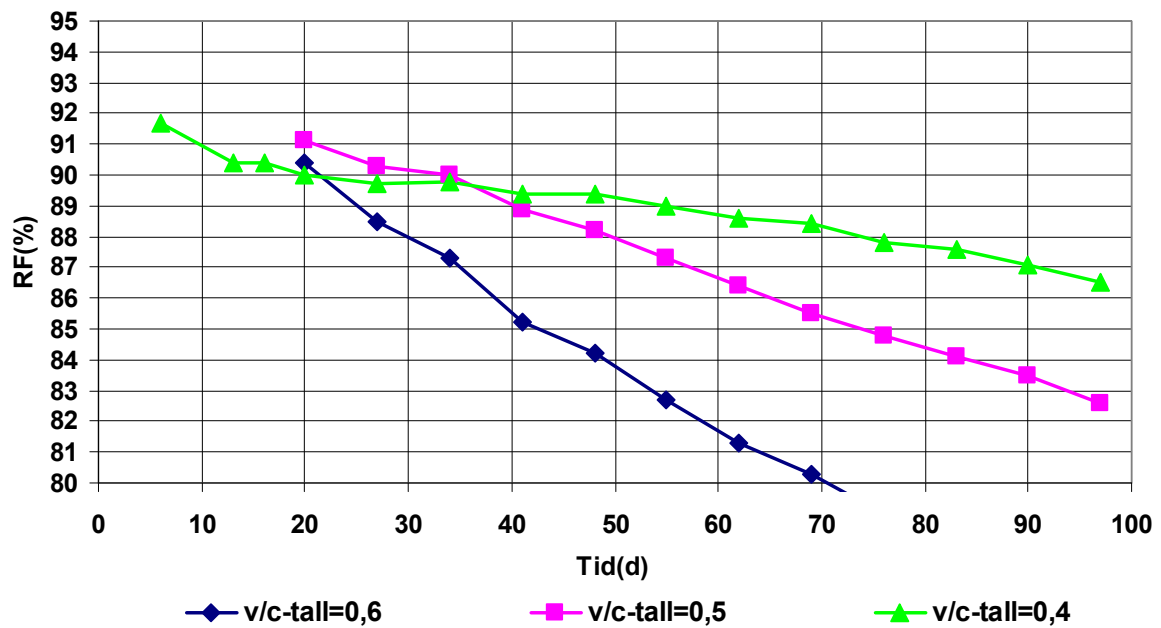
Figur 3.2.3  
Betydningen av ulike v/c-tall for herdebetingelse nr 3 - "plast i 7 dager".



Figur 3.2.4  
Betydningen av ulike v/c-tall for herdebetingelse nr 4 - "vann i 1 dag".



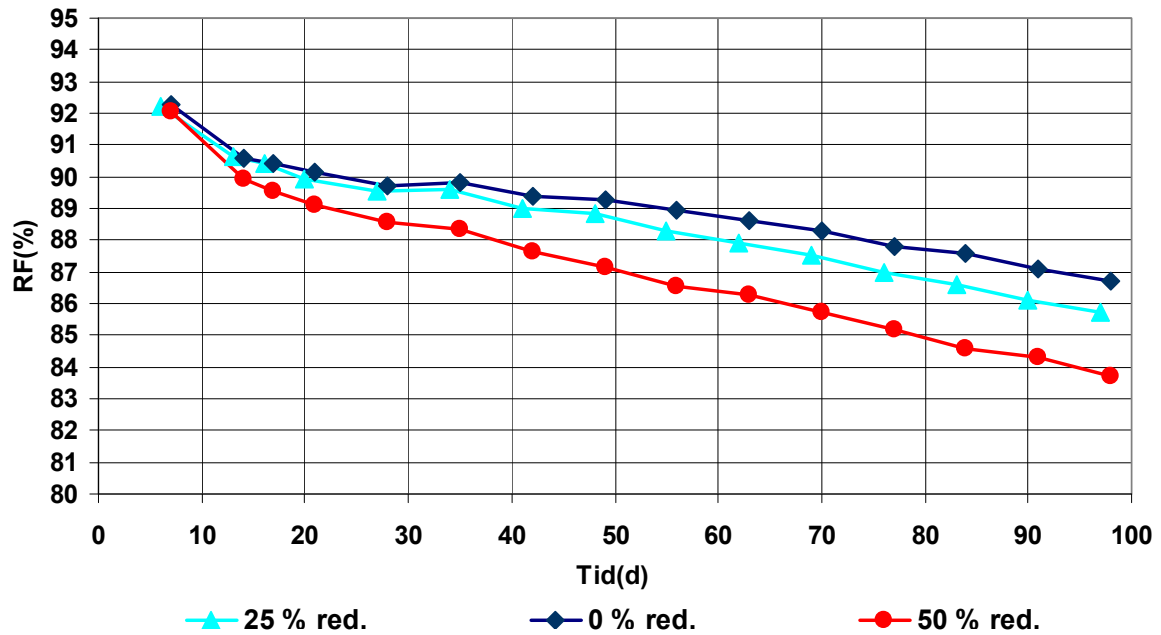
Figur 3.2.5  
Betydningen av ulike v/c-tall for herdebetingelse nr 5 - "herdemembran".



Figur 3.2.6  
Betydningen av ulike v/c-tall for herdebetingelse nr 6 - "ingenting".

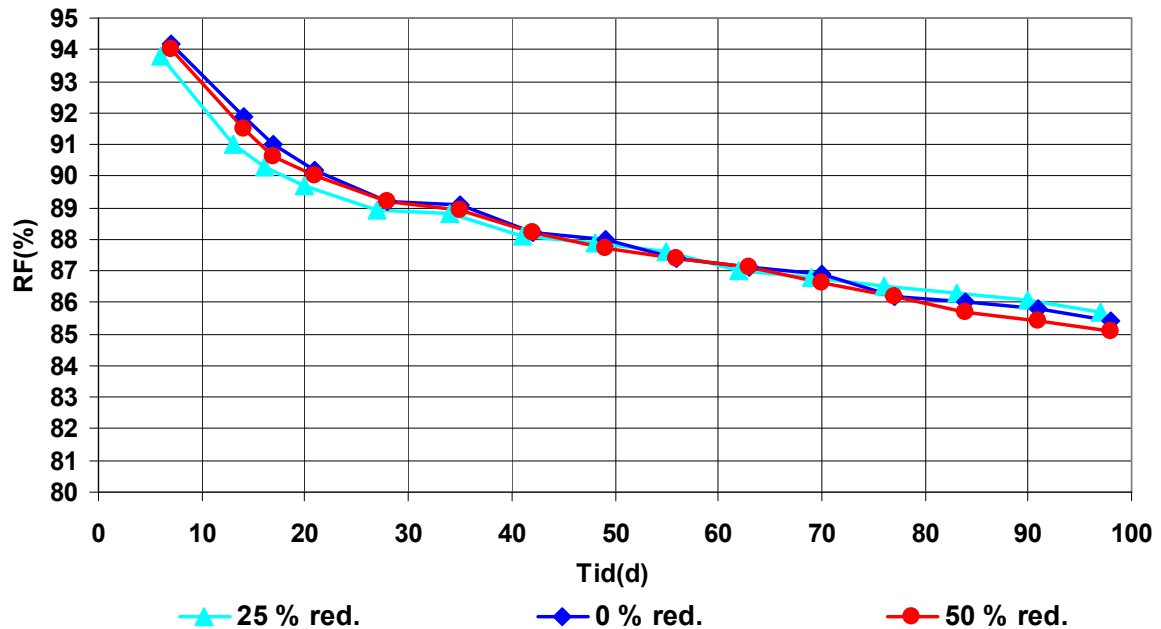
### 3.2.3 Effekt av reduksjon av steininnhold

Betydningen av reduksjon av steininnholdet er vist i figur 3.2.7-10.



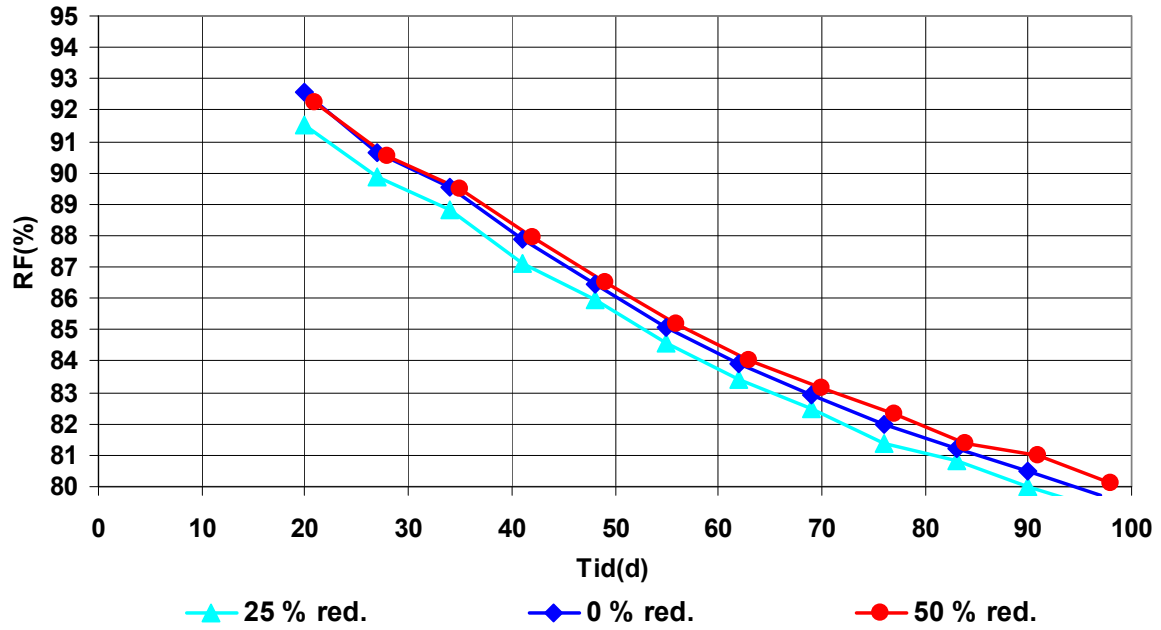
Figur 3.2.7

Betydningen av ulik reduksjon av steininnhold. Alle betongsammensetningene har  $v/c=0,40$  og herdebetingelse nr 1 - "plast i 1 dag".

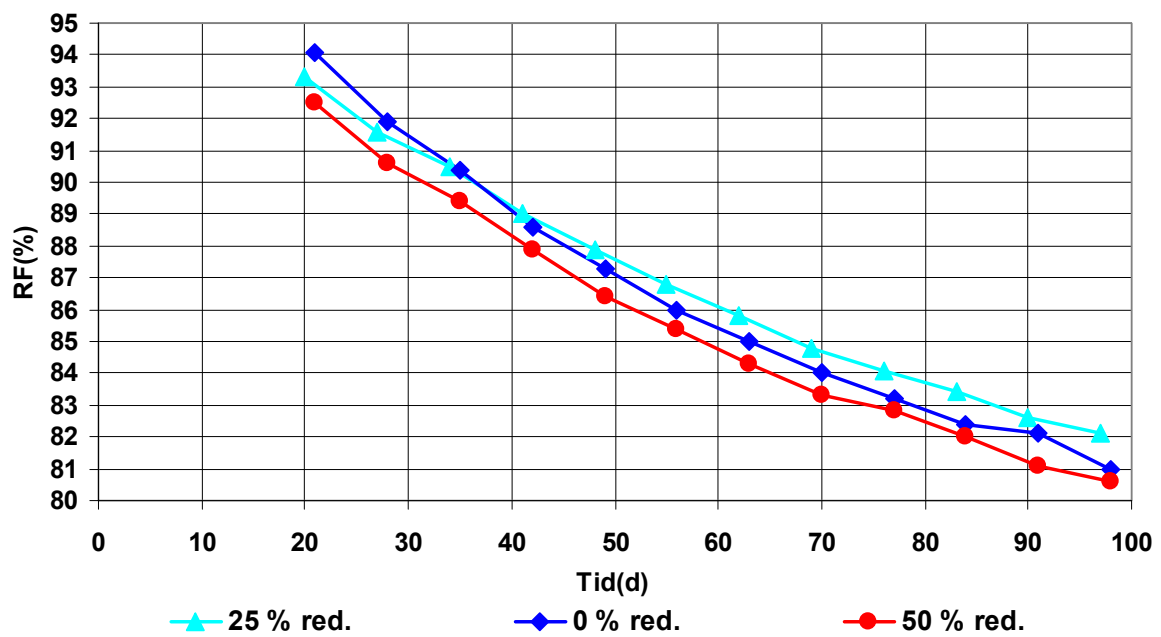


Figur 3.2.8

Betydningen av ulik reduksjon av steininnhold. Alle betongsammensetningene har  $v/c=0,40$  og herdebetingelse nr 2 - "vann i 7 dager".



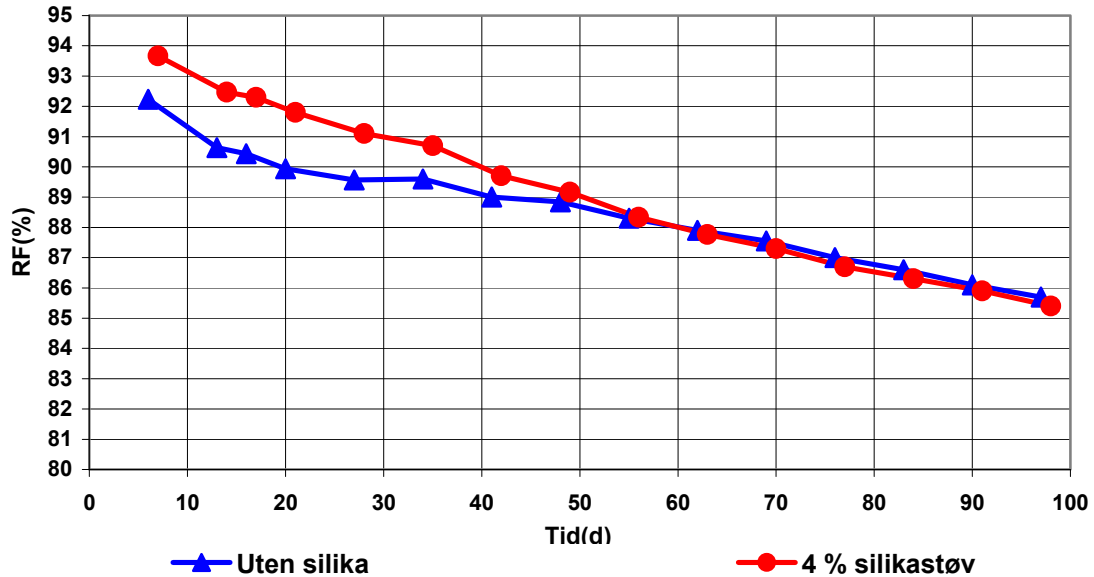
Figur 3.2.9  
Betydningen av ulik reduksjon av steininnhold. Alle betongsammensetningene har  $v/c=0,60$  og herdebetingelse nr 1 - "plast i en dag".



Figur 3.2.10  
Betydningen av ulik reduksjon av steininnhold. Alle betongsammensetningene har  $v/c=0,60$  og herdebetingelse nr 2 - "vann i 7 dager".

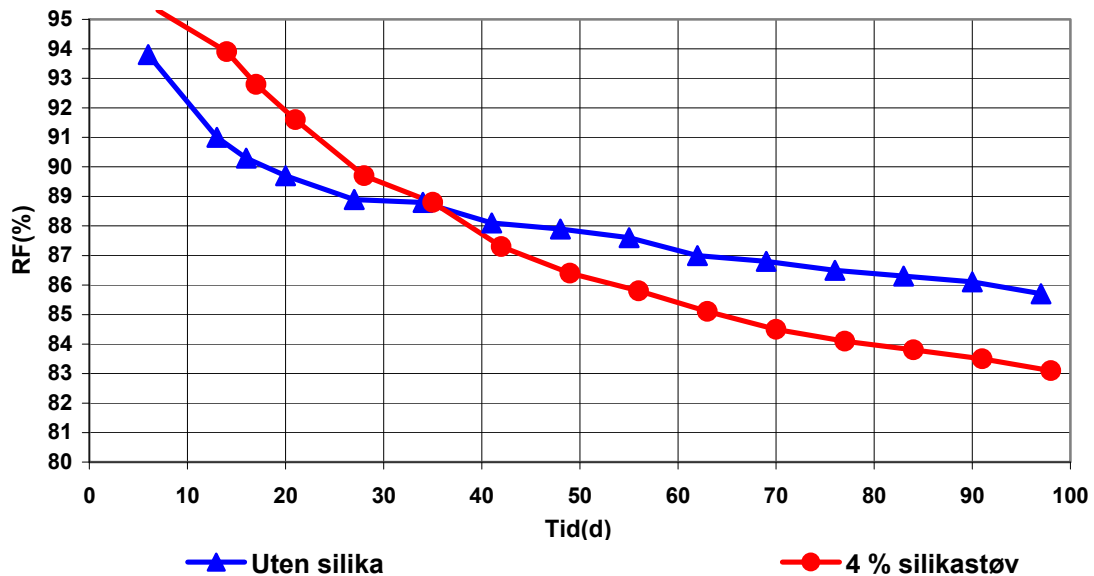
### 3.2.4 Effekt av tilsetning av silikastøv

Betydning av tilsetning av silikastøv er vist i figur 3.2.11-12. For utregning av v/b-tall for betongsammensetninger med tilsatt silika ble det brukt en aktivitetsfaktor på 2 (dvs.  $b = c + 2s$ ).



Figur 3.2.11

Betydningen av tilsetning av silikastøv. Begge betongsammensetningene har  $v/b$ -tall=0,40 ( $v/c = 0,43$  for sammensetningen med silika), 25 % redusert steininnhold og herdebetingelse 1 - "plast i 1 dag".



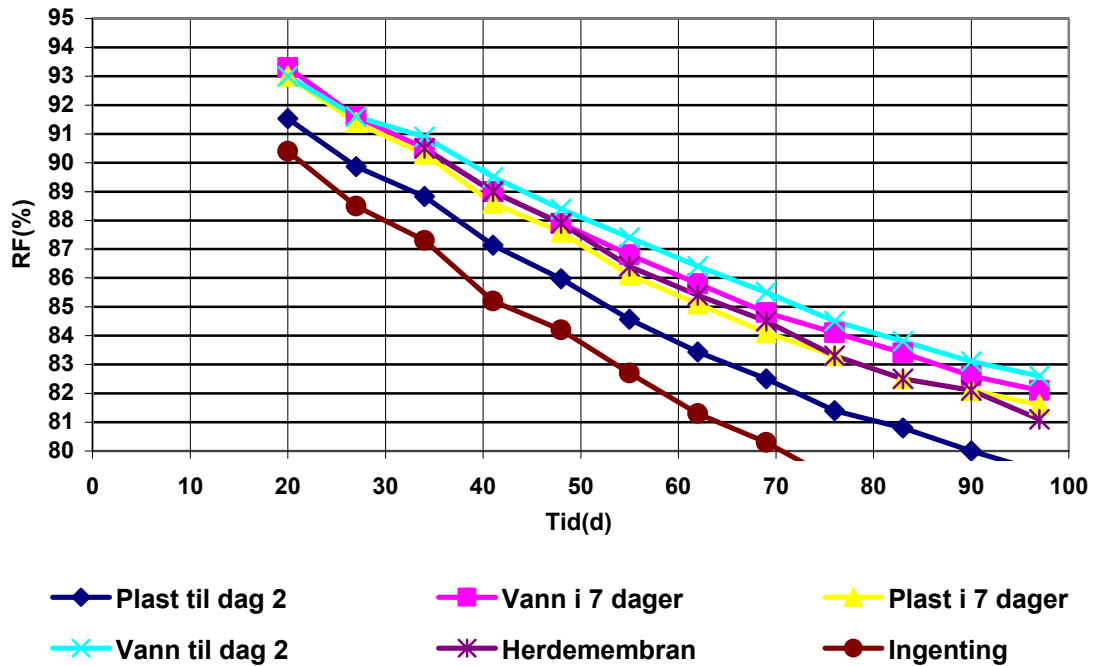
Figur 3.2.12

Betydningen av silikastøv. Begge betongsammensetningene har  $v/b$ -tall=0,40 ( $v/c = 0,43$  for sammensetningen med silika), 25 % redusert steininnhold og herdebetingelse nr 2 - "vann i 7 dager".



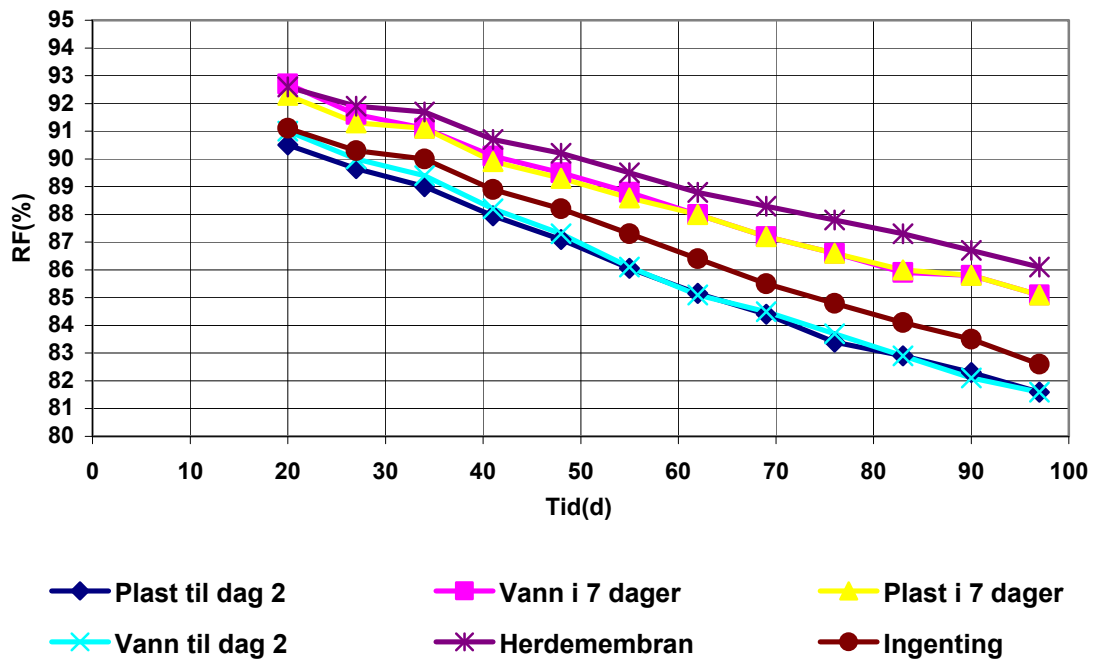
### 3.2.5 Effekt av ulike herdebetingelser

Betydning av de forskjellige herdebetingelsene er vist i figur 3.2.13-15.



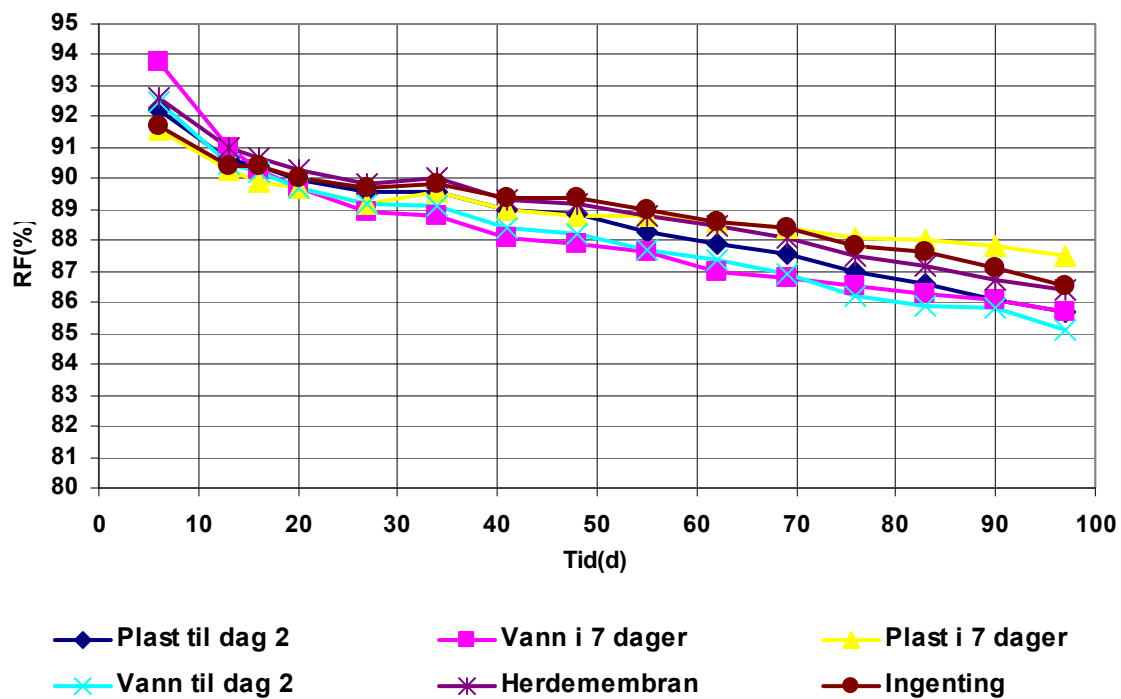
Figur 3.2.13

Betydning av ulike herdebetingelser for uttøringsforløpet til betongsammensetning med v/c=0,60 og 25 % redusert steininnhold



Figur 3.2.14

Betydning av ulike herdebetingelser for uttøringsforløpet til betongsammensetning med v/c=0,50 og 25 % redusert steininnhold



Figur 3.2.15  
 Betydning av ulike herdebetingelser for uttøringsforløpet til betongsammensetning med  $v/c=0,40$  og 25 % redusert steininnhold

## 4 Vurderinger

### 4.1 Selvuttørkingsforsøk med pastaprøver

Figur 3.1.2 viser selvuttørkingen til tre forskjellige sementtyper, Standardsement FA, Anleggssement og Byggcement (Slite) ved v/c-tall 0,40. Standardsement FA og Anleggssement har tilnærmet lik selvuttørking. Byggcement har større grad av selvuttørking enn de to norske sementene (ca 3 % RF lavere enn de to norske sementtypene). Dette samsvarer med erfaringer av uttørkingsforsøkene dokumentert i kapittel 3.2 og diskutert i kapittel 4.2. Det er interessant at de norske betongene med v/c-tall 0,40 kun tørker ut til noen få prosent under 90% RF, hvilket betyr at det er risikofullt å basere seg på selvuttørkingen som oppnås ved v/c-tall 0,40 i forbindelse med uttørking før legging av golvbelegg.

Vi ser av figur 3.1.3 at dersom man tilsetter silikastøv, men ellers beholder samme v/b-tall ( $v/b = 0,4$ ) reduseres selvuttørkingseffekten med ca 3 % RF (mindre uttørking). Dette gjelder alle de tre undersøkte sementtypene. Den reduserte selvuttørkingseffekten er større enn hva det økte v/c-tallet ( $v/c = 0,43$  med tilsatt silikastøv) skulle tilsi.

Figur 3.1.4 viser uttørkingen til Standardsement FA med 3 ulike v/c-tall. Blandingen med det laveste v/c-tallet (0,40) har som forventet den største selvuttørkingen og blandingen med det høyeste v/c-tallet (0,60) har den minste selvuttørkingen. Etter 28 døgn oppnår pastaen med  $v/c = 0,40$  en verdi som er vel 4 % RF lavere enn for blandingen med  $v/c = 0,60$ .

Figur 3.1.5 viser uttørkingen til tre ulike blandinger med Standardsement FA med samme v/b-tall, men med tilsatt hhv. flygeaske og silikastøv. Det oppnås litt mindre selvuttørking ved tilsetning av flygeaske (ca 1 % høyere RF). Tilsatt silika gir imidlertid vesentlig dårligere selvuttørking (ca 3 % høyere RF). v/c-tallet i blandingene varierte fra 0,40 til 0,50 (se tabell 2.1.1).

### 4.2 Ensidig uttørking av betongprøvestykker til romluft

#### 4.2.1 Generelt

Vi gjør oppmerksom på at vi i den videre analysen refererer til uttørkingshastighet relatert til målt RF-nivå i betongen som funksjon av tiden. Uttørkingshastighet relatert til mengde vann som avgis til lufta per tidsenhet vil trolig gi et annet bilde. Eksempelvis ser vi av figur 3.2.2 at betong med lavt v/c-tall har raskest uttørkingshastighet den første tiden (pga. større selvuttørkingseffekt). Hvis vi derimot hadde sett på mengde vann avgitt til lufta ville vi sett at betongen med  $v/c = 0,6$  hadde størst fuktavgivelse, dvs. raskere uttørking til omgivelsene.

#### 4.2.2 Effekt av v/c-tall

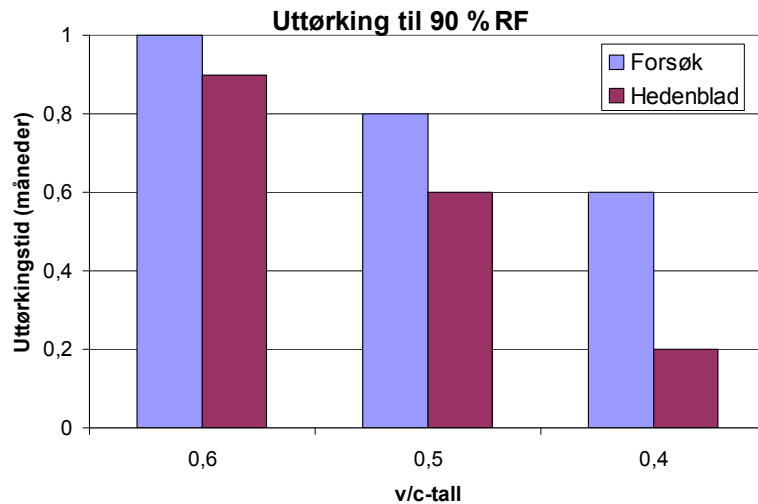
Vi ser av figur 3.2.1 – 3.2.6 at uttørkingen er svært avhengig av betongens v/c-tall. Betong med  $v/c = 0,40$  har raskest uttørking den første tiden (pga. større selvuttørkingseffekt), mens betongene med  $v/c = 0,50$  og  $0,60$  tørker langsommere i denne tidlige fasen. Betong med  $v/c = 0,40$  tørker raskere ned til under 90% RF enn betong med høyere v/c-tall. Dette gjelder for alle herdebetingelser, noe som i hovedsak skyldes den såkalte selvuttørkingseffekten, se omtale i kapittel 2.1.2.

Når vi ser på uttørkingen over litt lengre tid, og spesielt ned til ca 85% RF, får vi imidlertid et annet bilde. Vi ser at uttørkingshastigheten for betong med  $v/c = 0,40$  reduseres kraftig etter å ha tørket ned til under ca 90% RF, og at betongen med  $v/c = 0,60$  deretter tørker hurtigere ned mot 85% RF enn betongen med  $v/c = 0,40$ . Dette har trolig flere årsaker. Når selvuttørkingen ikke lenger gir vesentlig effekt, vil fukten som skal ut av betongen transporteres vha vandampdiffusjon gjennom betongen til overflaten. Betong med lavt v/c-tall har normalt et mer finfordelt poresystem, og er derfor også mer damp tett – dvs. vandampdiffusjonen går saktere.

Betongen med  $v/c = 0,50$  har en uttørkingsprofil et sted mellom betongene med  $v/c = 0,40$  og  $0,60$ .  $v/c = 0,50$  tørker generelt raskere ned til 85% RF enn  $v/c = 0,40$ , men langsommere ned til både 90 og 85 % RF enn  $v/c = 0,60$ .

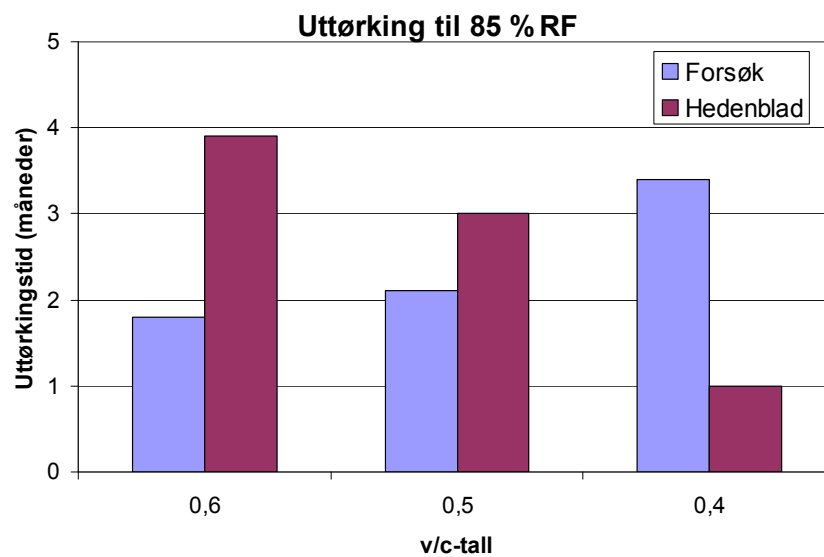
Norske tabeller over tørketider er gitt i Byggeforskerien Byggedetaljer 474.533 og i (Geving og Thue, 2002). De er basert på tidligere svenske måledata (Hedenblad, 1995). Det er derfor av interesse å sammenligne våre målinger med disse tørketabellene, se figur 4.2.1 og 4.2.2. Ved uttørking ned til 90% RF ser vi at tørketiden er den samme ved  $v/c = 0,60$ , hvilket jo er positivt med tanke på at de fleste gulvbetonger vanligvis har hatt et v/c-tall på ca 0,60. På den annen side ser vi at med  $v/c = 0,4$  tørker den norske betongen vesentlig saktere enn den svenske. Dette betyr at selvuttørkingseffekten er vesentlig mindre for den norske betongen. Den lave uttørkingshastigheten etter passering av 90% RF for den norske betongen kan også skyldes at den norske betongen er mer damp tett, og at helningen på sorpsjonskurven skiller seg fra den svenske (jo brattere sorpsjonskurven er i dette RF-området, jo mindre endring i RF vil en få pr fordampet mengde fukt).

For uttørking ned til 85% ser vi at ved  $v/c = 0,40$  tørker den norske betongen fortsatt vesentlig saktere enn den svenske. For  $v/c = 0,60$  tørker imidlertid den norske betongen vesentlig raskere enn den svenske. Årsaken til denne raskere uttørkingen er uklar, men det er sannsynlig at den norske betongen kan være noe mindre damp tett enn den betongen de svenske dataene er basert på.



Figur 4.2.1

Uttørkingstider til 90 % RF ved 23 °C og 50% RF for ulike betongsammensetninger i vårt uttørkingsforsøk og i (Hedenblad, 1995). Verdiene fra (Hedenblad, 1995) er korrigert for ulik temperatur og ulik RF ihht tabell 5.1.2. Herdebetingelser er "plast i 1 dag" (vårt forsøk) og "1 døgns herding" (Hedenblad).



Figur 4.2.2

Uttørkingstider til 85 % RF ved 23 °C og 50% RF for ulike betongsammensetninger i vårt uttørkingsforsøk og i (Hedenblad, 1995). Verdiene fra (Hedenblad, 1995) er korrigert for ulik temperatur og ulik RF ihht tabell 5.1.2. Herdebetingelser er "plast i 1 dag" (vårt forsøk) og "1 døgns herding" (Hedenblad).

#### 4.2.3 Effekt av reduksjon av steininnhold

Med ett unntak ser vi liten eller ingen effekt av redusert steininnhold når vi tar hensyn til måleusikkerheten, se figur 3.2.7- 3.2.10. For ett tilfelle (av totalt 4) finner vi imidlertid en effekt, dvs. for  $w/c = 0,40$  med herdebetingelse nr 1 - "plast i 1 dag". For denne herdebetingelsen er det dessuten benyttet tre repetisjoner i samme måleddybde, slik at måleusikkerheten er liten. Vi ser her en tendens til at uttørkingshastigheten øker med graden av redusert steininnhold.

#### 4.2.4 Effekt av tilsetning av silikastøv

Vi ser av figur 3.2.11 og 3.2.12 at betongene med tilsatt silikastøv tørker vesentlig langsommere i den første perioden (dvs. ned til 90% RF). Ved den videre uttørking ned til 85% RF ser vi imidlertid at betongene med silikastøv tar igjen betongene uten silikastøv, og til dels tørker ned til 85% raskere enn betongene uten silikastøv (for herdebetingelse nr 2).

Forklaringene på det overnevnte kan være flere. En mulighet kan være at hydratiseringen av silikaen går tregere enn for sementen, og at selvuttørkingen av betongen dermed blir forsinket. Denne forklaringen støttes imidlertid ikke av selvuttørkingsforsøkene i denne rapporten (se figur 3.1.3), hvor vi ikke ser noen tegn til at pastaprøver med silikatilsetning tar igjen pastaprøvene uten silikatilsetning.

En annen sak er at det sammenlignes to sementer med samme v/b-tall, men med forskjellig v/c-tall. Det er også benyttet en aktivitetsfaktor på 2 for å beregne v/b-tallet med silika, og tallet 2 er fram tatt ut fra silikaens tilskudd til betongens fasthet og bestandighet – ikke for betongens uttørkingshastighet. Dvs. at betongen med silika i realiteten har et noe høyere v/c-tall ( $v/c = 0,43$ ).

Tilsetning av silika vil også normalt føre til at mindre sement hydratiserer, spesielt ved lave v/c-tall. Dette skjer fordi silika også forbruker litt vann, samt danner et tettere sjikt som bremser hydratiseringsprosessen.

I en svensk studie av selvuttørkingseffekt for betong med  $v/b = 0,3$  (uttørking i lukket metallboks) fant man at betong med silikatilsetning hadde tregere uttørking i starten, men at silikabetongen tok igjen betongen uten silika etter ca 1 måned. Dette kan se ut til å samsvare med våre målinger, samt det faktum at all silika normalt har reagert etter 28 døgn. Det kan dermed se ut som at silikatilsetning reduserer tørkehastigheten noe ned til 90% RF, men at det har ingen negativ og kanskje positiv innvirkning på uttørkingshastigheten videre ned til 85% RF. Hedenblad (1995) rapporterer imidlertid om positiv effekt av silikatilsetning (på Slite Standardsement) også ved uttørking ned til 90%.

#### 4.2.5 Effekt av ulike herdebetingelser

Herdetiltak settes i verk for å gi betongen (spesielt overflaten) tilstrekkelig herdetid og tilsiktet kvalitet før betongen får anledning til å tørke ut. Et godt herdetiltak som er ment å gi betongen en god kvalitet mhp fasthet, opprissing, kantroising og liknende, er imidlertid ofte ugunstig mhp uttøkingstiden. Det beste er selvfølgelig om herdetiltaket gir tilstrekkelig kvalitet uten å forlenge uttøkingstiden unødvendig mye. Vi gjør oppmerksom på at vi i de videre vurderinger kun forholder oss til de fuktmessige konsekvensene av herdetiltakene, og ikke vurderer om de er tilstrekkelige mhp å oppnå god kvalitet på betongens øvrige egenskaper.

Vi ser av figur 3.2.13-15 at effekten av ulike herdebetingelser som forventet er størst for  $v/c = 0,60$ , og minst for  $v/c = 0,40$ . For  $v/c = 0,60$  ser vi at betong med herdebetingelse "ingenting" tørker raskest, deretter fulgt av "plast i 1 dag", før resten av herdebetingelsene kommer med relativt lik uttørkingshastighet. Vi ser at tørketiden kan forlenges med i størrelsesorden 85% (tørking ned til 90% RF) og 70% (tørking ned til 85% RF) når vi sammenligner herdebetingelse "ingenting" med herdebetingelser som tilfører mest fukt til betongen. Selv når vi sammenligner en mer realistisk herdebetingelse ("plast i 1 dag") med den "fuktmessig ugunstigste" herdebetingelsen, ser vi at dette fremdeles har relativt stor

betydning på uttørkingen med en forlengelse av tørketiden på 45% (tørking ned til 90% RF) og 35% (tørking ned til 85%).

Årsaken til dette er trolig sammensatt. Til dels vil et herdetiltak som tilsiktet forsinke oppstart av uttørkingen. I tillegg vil for eksempel vanning på overflaten føre til at det tilføres ekstra vann til betongen, som derfor trenger ekstra tid for å tørke ut. Et herdetiltak vil dessuten gi overflatesjiktet en bedre fasthet og trolig en noe høyere vanddampmotstand enn tilfellet er når betongen får anledning til å tørke ut rett etter utstøping.

Figur 3.2.15 viser at det er relativt små forskjeller mellom de ulike herdebetingelsene for betong med  $v/c = 0,40$ , og at det med hensyn til måleusikkerheten er vanskelig å vurdere om disse små forskjellene er signifikante. Det er imidlertid interessant å observere at det for den langsiktige uttørkingen kan se ut til at de vannbelastede prøvestykkene tørker noe raskere enn for eksempel herdebetingelse ”ingenting”. Dette betyr uansett at uttørking av betong med lavt  $v/c$ -tall er lite avhengig av herdebetingelsene, og at fritt vann trolig i svært liten grad blir sugd opp av overflaten. Dette har sammenheng med at betong ved lavere  $v/c$ -tall er mer vanntett enn betong med høyt  $v/c$ -tall.

Betong med  $v/c = 0,50$  inntar en mellomstilling mellom  $v/c = 0,40$  og  $0,60$  mhp herdebetingelsenes effekt på uttørking. Selv om man tar hensyn til måleusikkerheten ser herdeforholdene ut til å påvirke betongens uttørkingsforløp. Her er det imidlertid betong med herdetiltakene ”plast i 1 dag” og ”vann i 1 dag” som tørker raskest, mens herdetiltakene ”herdemembran”, ”plast i 7 dager” og ”vann i 7 dager” gir langsamst uttørking.

## 5 Metoder for estimering av tørketider

### 5.1 Eksisterende tørketabeller

En av de mest omfattende samlinger av laboratorieforsøk vedrørende uttørkingstider er gitt i (Hedenblad, 1995). Variable i disse forsøkene var v/c-tall og ulike herdeforhold. Sementtypen var svensk ”standardsement”. Ut fra diagrammer i (Hedenblad, 1995) ble det i (Geving og Thue, 2002) utledet en tabell med uttørkingstider, se Tabell 5.1.1, og en korreksjonstabell for andre tørkeklima og betongtykkelser enn standardtilfellet, se tabell 5.1.2. Tabellene er også gjengitt i Byggforskserien Byggdetaljer 474.533 – *Byggfukt. Uttørking og tiltak*.

Tabell 5.1.1

Uttørkingstid for standardtilfelle \* avhengig av betongens v/c-tall \*\* og herdeforhold før tørkestart \*\*\*. Uttørkingstiden er regnet fra tørkestart, dvs. fra det tidspunktet betongen utsettes for styrt tørking (beskyttet mot nedbør og temperatur over 10 °C). Tabellen er hentet fra (Geving og Thue, 2002).

	v/c-tall **	UTTØR KINGSTID (MANEDER)				
		Herdeforhold ***				
		I	II	III	IV	V
Uttørking til 90 % RF	0.4	0.7	0.7	0	0.2	0.2
	0.5	1.5	1.5	0.8	1.2	0.8
	0.6	2.9	2.2	1.4	2	1.1
	0.7	3.6	2.9	2.2	3	1.9
Uttørking til 85 % RF	0.4	2.2	1.5	0.6	1.3	1.3
	0.5	3.9	2.9	3.9	3.5	3.9
	0.6	6.6	4.5	5.6	4.4	5
	0.7	-	6.2	7.3	-	6

\* Standardtilfelle:  
Standardsement, ikke silikastøv  
Tykkelse = 90/180 mm (en/tosidig uttørking)  
Tørkeforhold: +18 °C og 60 % RF

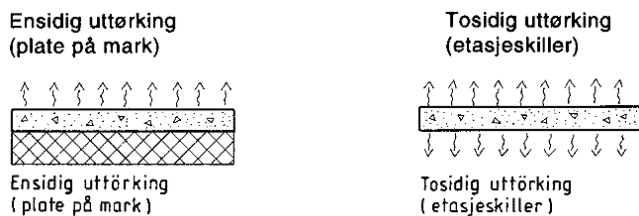
\*\* v/c-tall:  
 $v/c = (\text{kg vann pr m}^3 \text{ betong}) / (\text{kg sement pr m}^3 \text{ betong})$   
For betong med silikatilsetning benyttes v/b-tallet i stedet for v/c-tallet  
 $v/b = (\text{kg vann pr m}^3 \text{ betong}) / (\text{kg sement og silika pr m}^3 \text{ betong})$

\*\*\* Herdeforhold:  
I. 4 ukers regn etter støping før tørking starter  
II. 2 ukers regn og deretter 2 uker med høy RF, før tørking starter  
III. 4 uker med høy RF før tørking starter  
IV. 2 ukers regn før tørking starter  
V. Tørking starter allerede 1 døgn etter utstøping



Tabell 5.1.2

Korreksjonsfaktorer for uttørkingstid ved andre tykkelser ( $k_{\text{tykkelse}}$ ), RF ( $k_{\text{RF}}$ ) og temperatur ( $k_{\text{temp}}$ ) og tilsetning av silika ( $k_{\text{silika}}$ ). Det er også gitt en korreksjonsfaktor for uttørking av betongen til lavere RF enn 85 % ( $k_{\text{lav}}$ ). Denne korreksjonsfaktoren er imidlertid meget usikker. Generelt øker usikkerheten med antall avvik fra standardtilfellet. Tabellen er hentet fra (Geving og Thue, 2002).



			Korreksjonsfaktor, k
	Ensidig uttørking	Tosidig uttørking	$k_{\text{tykkelse}}$
Platetykkelse, mm	50	100	0.4
	75	150	0.8
	90	180	1.0
	100	200	1.2
	125	250	1.8 *
Temperatur under uttørking			$k_{\text{temp}}$
	10 °C		1.4
	15 °C		1.1
	18 °C		1.0
	25 °C		0.8
30 °C		0.6	
RF under uttørking			$k_{\text{RF}}$
	35 %		0.8
	50 %		0.9
	60 %		1.0
	70 %		1.1
80 %		1.3	
Innvirkning av silikastøv			$k_{\text{silika}}$
	5 % silika		0.7
10 % silika		0.4	
Ønsket RF i betongen (hvis lavere enn 85%) **	80 %		$k_{\text{lav}}$
	75 %		2 **
			4 **

\* Gjelder for  $v/c = 0.7$ . Ved lavere  $v/c$ -tall blir korreksjonsfaktoren lavere, f.eks.  $k_{\text{tykkelse}} = 1,3$  ved  $v/c = 0.4$ .

\*\* Korreksjonsfaktoren skal multipliseres med beregnet uttørkingstid ned til 85 % RF iflg tabell 5.1.1, dvs. den gjelder ikke for uttørkingstid ned til 90 % RF iflg tabell 5.1.1 !

Eksempel på bruk av tabellene:

Et betonggolv på grunnen skal ha vinylbelegg. Betongen benytter standard sement uten silikatilsetning og har  $v/c = 0.6$ . Tykkelsen på betongplaten er 75 mm. Betonggolvet står fritt eksponert for vær og vind i ca 1 måned etter utstøpningen (med unntak av et par dagers herdetiltak i starten), før golvet får tak over seg og uttørkingen kan starte. Tørkeklimaet blir deretter ca. 15 °C og 50 % RF. Hvor lang uttørkingstid kreves?

Beregningen blir som følger:

- Vinylbelegget har mindre enn 50 % fyllstoff  $\Rightarrow$  Kritisk RF = 85 %
- Herdeforholdene som passer best for dette tilfellet før tørkingen starter er trolig tilfelle II (to uker regn + 2 uker høy RF).  
Med et  $v/c = 0.6$  og ønsket RF på 85 % får vi fra tabell 5.1.1:  
Uttørkingstid(standardtilfelle) = 4.5 måneder
- Golv på grunnen  $\Rightarrow$  ensidig uttørking  
Korrigert uttørkingstid blir iflg tabell 5.1.2:  
Uttørkingstid(korrigert) = uttørkingstid (standardtilfelle)  $\times k_{\text{tykkelse}} \times k_{\text{RF}} \times k_{\text{temp}} = 4.5 \text{ måneder} \times 0.8 \times 0.9 \times 1.1 = 3.6$  måneder  
Siden uttørkingen starter ca. 1 måned etter støpetidspunkt, betyr det at det vil ta ca.  $3.6 + 1 = 4.6$  måneder før belegget kan legges regnet fra støpetidspunktet.

## 5.2 Revisjon av eksisterende tørketabeller for betonggolv

### 5.2.1 Generelt

Tørketabellene vist i kapittel 5.1 gjelder i utgangspunktet for svenske betongtyper, men er likevel til en viss grad også benyttet i Norge. I det etterfølgende har vi revidert tabellene basert på forsøkene dokumentert i denne rapporten, spesielt mhp resultatene vist i kapittel 3.2.

Det gjøres oppmerksom på at det er relativt store usikkerheter forbundet med disse reviderte tabellene, spesielt der vi estimerer tørketider for andre herdeforhold og andre temperaturer enn hva som er inkludert i våre forsøk. Vi ser at det er behov for flere uttørkingsforsøk med norske sementer for å kunne gjøre fullgode vurderinger mhp uttørkingstid, både mhp andre herdeforhold, temperaturer, sementtyper, betongresepter og tilsetninger. De reviderte tabellene må derfor benyttes med stor omhu, og det bør alltid foretas kontrollmålinger av RF før legging av beleg. I den forbindelse vises det til målemetoder diskutert i (Geving, 2007). Ved styring av uttørkingsbetingelser må det tas hensyn til betongens øvrige egenskaper (riss, svinn, kantroising etc).

### 5.2.2 Revidert tørketidstabell

Revidert tørketidstabell (revisjon av tabell 5.1.1) ble fremskaffet ved følgende prosedyre:

- Vi baserer oss på måleresultatene i tabell 3.2.1, og benytter to av herdebetingelsene; ”plast i en dag” og ”vann i 7 dager”.
- Vi ønsker imidlertid å ta med noen av herdeforholdene benyttet i tabell 5.1.1, dvs. regn og høy RF før styrt tørking starter. Dette gjøres på følgende måte:
  - Differansen mellom herdeforholdene I, II, III, IV og herdeforholdet V (tørking starter 1 døgn etter utstøping) beregnes. Eksempel: uttørking til 90%,  $v/c = 0,4$ , herdeforhold I, dvs. Differanse I – V =  $0,7 - 0,2 = 0,5$  mnd
  - Det antas at herdeforholdet V og ”plast i 1 dag” er likt.
  - For å få tørketid for herdeforholdene I, II, III og IV relatert til vår norske betong adderes differansen beregnet i punktet over til tørketiden i tabell 3.2.1 for herdebetingelsen ”plast i 1 dag”. Uttørkingstiden er da fremdeles regnet fra tørkestart, dvs. det tidspunkt styrt tørking starter.
- Revidert tørketidstabell er gitt i tabell 5.2.1.

Tabell 5.2.1

Veiledende uttørkingstid for standardtilfelle \* avhengig av betongens v/c-tall \*\* og herdeforhold\*\*\* før tørkestart. Uttørkingstiden er regnet fra tørkestart, dvs. fra det tidspunktet betongen utsettes for styrt tørking (beskyttet mot nedbør og temperatur over 10 °C). Herdeforholdene V og VI er basert på måleresultatene i tabell 3.2.1, mens herdeforhold I – IV er hentet fra den gamle tørketabellen (tab 5.1.1) og justert ihht prosedyre ovenfor.

	v/c-tall	Uttørkingstid (måneder)					
		Herdeforhold					
		I	II	III	IV	V	VI
Uttørking til 90 % RF	0,4	1,1	1,1	0,4	0,6	0,6	0,7
	0,5	1,5	1,5	0,8	1,2	0,8	1,4
	0,6	2,8	2,1	1,3	1,9	1,0	1,2
Uttørking til 85 % RF	0,4	4,5	3,8	2,9	3,6	3,6	3,4
	0,5	2,1	1,1	2,1	1,7	2,1	3,3
	0,6	3,4	1,3	2,4	1,2	1,8	2,1
<p><b>* Standardtilfelle:</b>  <b>Norcem Standard FA, ikke silikastøv</b>  <b>25% reduksjon av steinnhold</b>  <b>Tykkelse = 90/180 mm (en/tosidig uttørking)</b>  <b>Tørkeforhold: +23 °C og 50 % RF</b></p> <p>** v/c-tall:  <math>v/c = (\text{kg vann pr m}^3 \text{ betong}) / (\text{kg sement pr m}^3 \text{ betong})</math>                      For betong med silikatilsetning benyttes v/b-tallet i stedet for v/c-tallet  <math>v/b = (\text{kg vann pr m}^3 \text{ betong}) / (\text{kg sement og silika pr m}^3 \text{ betong})</math></p>				<p>***Herdeforhold</p> <p>I. 4 ukers regn etter støping før tørking starter                      II. 2 ukers regn og deretter 2 uker med høy RF, før tørking starter                      III. 4 uker med høy RF før tørking starter                      IV. 2 ukers regn før tørking starter                      V. Tørking starter allerede 1 døgn etter utstøping                      VI. Vannfilm i 7 dager</p>			
<p>Det gjøres oppmerksom på at det er relativt store usikkerheter forbundet med denne reviderte tabellen, både mhp andre herdeforhold, temperaturer, sementtyper, betongresepter og tilsetninger enn hva som er inkludert i våre forsøk. Tabellen må derfor benyttes med stor omhu, og det bør alltid foretas kontrollmålinger av RF før legging av belegg. Ved styring av uttørkingsbetingelser må det tas hensyn til betongens øvrige egenskaper (riss, svinn, kantreising etc).</p>							

### 5.2.3 Korreksjonstabell

For andre platetykkelser og tørkeforhold (RF og temperatur i lufta) enn angitt som standardtilfelle i tabell 5.2.1 kan (i mangel av noe bedre) fremdeles tabell 5.1.2 benyttes. Vi gjør imidlertid oppmerksom på at det er relativt store usikkerheter forbundet også med denne tabellen.

Vi har blant annet gjort beregninger av tørketider med beregningsprogrammene TorkaS og BiDry, som begge er svenske beregningsprogrammer som regner uttørkingstider for nystøpt betong. Resultatene av disse beregningene viste til dels mindre betydning av RF i lufta under uttørking enn hva tabell 5.1.2 viser, dvs. effekten av RF var til dels neglisjerbar. For temperaturen under uttørking så vi det motsatte bildet, dvs. effekten av temperaturen var til dels mye større enn hva tabell 5.1.2 viser. For endret platetykkelse viste også beregningene noen forskjeller fra tabell 5.1.2. Disse beregningene er selvfølgelig relativt usikre, men viser likevel viktigheten av å undersøke betydningen av tørkeforhold (spesielt lufttemperatur) og platetykkelse nærmere med for eksempel flere laboratorieforsøk.

## 5 Konklusjon

Norcem Standardsement FA og Norcem Anleggssement ble funnet å ha tilnærmet lik selvuttørking. Svensk Byggcement hadde større grad av selvuttørking enn de to norske sementene (ca 3 % RF lavere enn de to norske sementtypene). De norske sementtypene kom knapt under 90% RF selv for lav v/c (0,40).

Uttørkingsforsøkene til romluft med betong basert på Norcem Standardsement FA ga noe av det samme bildet som vi så i selvuttørkingsforsøkene. Betong med v/c = 0,40 tørket raskest ned til under 90% RF, men deretter ble uttørkingshastigheten dramatisk redusert. Betongen med v/c = 0,60 tørket saktere ned til 90% RF enn betongen med v/c = 0,40, men tørkehastigheten avtok ikke nevneverdig etter å ha passert 90%, og betongen tørket dermed raskere ned til 85% RF enn betongen med v/c = 0,40. Dette betyr at det er risikofullt å basere seg kun på selvuttørkingen i forbindelse med uttørking før legging av golvbelegg.

Vi fant at dersom man tilsatte silikastøv, men ellers beholdt samme v/b-tall (= 0,40), ble selvuttørkingseffekten redusert med ca 3 % RF (mindre uttørking). Dette gjaldt alle de tre undersøkte sementtypene. Uttørkingsforsøkene til romluft med betong basert på Norcem standardsement FA ga noe av det samme bildet. Med silikatilsetning ble den tidligste uttørkingen ned til 90% RF forsinket, men uttørkingshastigheten ned til 85% RF var ikke forsinket.

Vi fant at redusert grad av steininhold hadde liten eller ingen effekt på uttørkingshastigheten.

Vedrørende forskjellige herdebetingelser fant vi at effekten var størst for betong med v/c = 0,60 og minst for v/c = 0,40. Tørketiden ned til 90% RF for v/c = 0,60 kunne øke i størrelsesorden 70 – 85 % når vi sammenlignet umiddelbar uttørking (dvs. ingen herdetiltak) med herdetiltakene som inkluderte tilførsel av vann eller forhindret avdampning av vann.

Både selvuttørkingsforsøkene og tørkeforsøkene til romluft viste at det er signifikante forskjeller på norsk og svensk sement/betong. Det er derfor viktig å ta utgangspunkt i norske betonger og sementer. Siden det meste som er gjort av tidligere forsøk på dette området er gjort på svenske betonger, er det viktig å få gjennomført flere målinger for norske forhold. Det vil si målinger på flere norske betongtyper hvor herdebetingelser blir variert i større utstrekning enn for forsøkene i dette prosjektet.

Ut fra måleresultatene er det laget et forslag til revidert tørketabell for moderne norske betongsammensetninger med Norcem Standardsement FA. I påvente av flere målinger og beregningsverktøy tilpasset norske forhold (for eksempel en norsk versjon av det svenske beregningsprogrammet TorkaS) kan denne tabellen benyttes til å estimere nødvendige tørketider. Tabellen er imidlertid forbundet med relativt stor usikkerhet, og må benyttes med stor omhu. Det bør alltid foretas kontrollmålinger før legging av belegg. Ved styring av uttørkingsbetingelser må det tas hensyn til betongens øvrige egenskaper (riss, svinn, kantroising etc.).

## 6 Referanser

Datablad Melcure. 2006. *Melcure herdemembran for betong* [www.basf-cc.no](http://www.basf-cc.no). (03.03.2008).

Fuktcentrum. 2008. Manual, TorkaS. Lund Tekniska Högskola. [www.fuktcentrum.lth.se](http://www.fuktcentrum.lth.se)

Geving, S. og Thue, J.V. 2002. *Håndbok 50 – Fukt i bygninger*. Norges byggforskningsinstitutt, Oslo.

Geving, S. 2007. *Fukt i betong- Målemetoder og uttørring. Litteraturundersøkelse*. Prosjektrapport 4, SINTEF Byggforsk, ISBN 978-82-536-0967-6, Oslo.

Hedenblad, G. 1995. *Uttorkning av byggfukt i betong. Torktider och fuktmätning*. Rapport T12, Byggforskningsrådet, Sverige.

Johansson, N. 2005. *Uttorkning av betong. Inverkan av cementtyp, betongkvalitet och omgivande fuktförhållanden*. Rapport TVBM-3124, Lunds tekniske Høgskole, Lund.

Kvalvik, M. 2008. *Fuktmåling og uttørring av betong*. Masteroppgave ved NTNU, Institutt for bygg, anlegg og transport, Trondheim.

Nordisk Industrifysik. 2008. <http://www.industrifysik.se>. (05.05.2008)

RBK (2005) *Manual – Fuktmätning i betong*. (se <http://www.rbk.nu>) Sveriges byggindustrier, Sverige.

**SINTEF** er Skandinavias største forskningskonsern. Vår visjon er «Teknologi for et bedre samfunn». Vi skal bidra til økt verdiskapning, økt livskvalitet og en bærekraftig utvikling. SINTEF selger forskningsbasert kunnskap og tilhørende tjenester basert på dyp innsikt i teknologi, naturvitenskap, medisin og samfunnsvitenskap.

**SINTEF Byggforsk** er det tredje største byggforskningsinstituttet i Europa. Vi har rom både for store forskningssatsinger og for tett oppfølging av de mange små bedriftene. Vårt mål er bedre produktivitet og økt kvalitet i det bygde miljø.

**SINTEF Byggforsk** er Norges ledende formidler av forskningsbasert kunnskap til byggenæringen. Våre publikasjoner inneholder tilrettelagte erfaringer og resultater fra praksis og forskning. Vi utgir Byggforskserien, Byggebransjens våtromsnorm, håndbøker, rapporter, faktabøker og beregnings- og planleggingsverktøy.