



TEKNOLOGISK  
INSTITUT

# Kan SCC-gulve virke selvcurende?

## SCC-Konsortiet, Delprojekt P31

***Udført for:***

*Innovationskonsortiet for Selvkompakterende Beton*

***Udført af:***

*Teknologisk Institut, Betoncentret*

*Taastrup, oktober 2005*



Byggeri



**Titel:** Kan SCC-gulve virke selvcurende?

**Forfatter(e):** Marianne Tange Hasholt  
Anette Berrig  
Pernille Nyegaard

Reproduktion af dele af rapporten er tilladt, hvis kilde angives.



# Indhold

|       |   |    |
|-------|---|----|
| 1.    | Indledning.....                               | 2  |
| 1.1   | Baggrund.....                                 | 2  |
| 1.2   | Formål.....                                   | 2  |
| 1.3   | Hypoteser.....                                | 3  |
| 2.    | Forsøgsoversigt.....                          | 4  |
| 2.1   | Måling og registrering af plastisk svind..... | 4  |
| 2.2   | Recepter og friskbetonegenskaber.....         | 5  |
| 3.    | Varmeudvikling.....                           | 7  |
| 3.1   | Metodebeskrivelse.....                        | 7  |
| 3.2   | Resultater.....                               | 8  |
| 4.    | Måling af poreundertryk – plastisk svind..... | 11 |
| 4.1   | Metodebeskrivelse.....                        | 11 |
| 4.1.1 | Udstyr.....                                   | 11 |
| 4.1.2 | Dataopsamling.....                            | 13 |
| 4.1.3 | Udførelse.....                                | 13 |
| 4.2   | Resultater.....                               | 15 |
| 4.2.1 | Revnedannelse.....                            | 19 |
| 4.2.2 | Fordampning.....                              | 19 |
| 5.    | Vurdering og konklusioner.....                | 20 |
| 6.    | Referencer.....                               | 21 |



# 1. Indledning

SCC-konsortiet er et innovationskonsortium støttet af Ministeriet for Videnskab, Teknologi og Uddannelse i perioden 2003 - 2007.

Konsortiet ledes af Teknologisk Institut, Betoncentret med deltagerne fra den danske betonbranche og både danske og udenlandske forskningsinstitutioner. Mere information om konsortiets sammensætning findes på [www.SCC-konsortiet.dk](http://www.SCC-konsortiet.dk), hvor der også findes resultater af arbejdet.

## 1.1 Baggrund

Store gulvstøbninger kan være svære at dække effektivt af. Dette gælder både for traditionel beton og for SCC, men da SCC efterhånden har overtaget den dominerende rolle som den mest anvendte type beton til in-situ støbning af gulve og terrændæk, er det særligt for SCC en fordel, hvis den kan udføres uden udtørningsbeskyttelse.

I visse kredse af betonbranchen er der en opfattelse af, at SCC ikke er så følsom som traditionel beton overfor revnedannelse i tidlig alder pga. udtørring. Der eksisterer dog ikke nogen egentlig dokumentation af denne opfattelse og heller ikke nogen forklaring på, hvorfor det i givet fald er sådan.

## 1.2 Formål

Formålet med arbejdet i SCC-konsortiets delprojekt P31: *Selvcurende gulve* er i første omgang at dokumentere SCCs følsomhed overfor udtørningssvind i forhold til traditionel beton og hermed afklare, om der er en reel forskel.

De indledende forsøg, som denne rapport dækker, tager udgangspunkt i forskellige forklaringer på, at der skulle være en forskel, se nedenstående afsnit vedr. hypoteser. Hvis de indledende forsøg falder heldigt ud, forstået på den måde, at der kan peges på en forklaring på, hvorfor SCC er mindre følsom overfor udtørring, vil der i en senere forsøgsrunde blive arbejdet mere systematisk med at anvende den eller de implicerede egenskaber for at fremstille en egentlig selvcurende SCC til støbning af gulve in-situ.



### 1.3 Hypoteser

I nærværende rapport testes følgende hypoteser:

1. SCC baseres typisk på 3. generations superplastificeringsmidler (polykarboxylater). Det er disse nye superplastificeringsmidler, der mht. udtørring giver betonen bedre egenskaber end tidligere generationer af superplastificeringsmidler.
2. SCC er mindre følsom overfor udtørring, hvis støbningen i virkeligheden er delvis mislykket således at der sker delvis separation. Derved vil betonens overflade bestå af et slamlag, der beskytter mod udtørring.
3. SCC kan desuden basere sig på såkaldte viskositets-ændrende tilsætningsstoffer (engelsk: viscosity modifying agents, eller bare VMA). Dette tilsætningsstof gør betonen mindre følsom overfor udtørring, da VMA nedsætter fordampningen fra betonen.

I de følgende kapitler er disse hypoteser afprøvet vha. en række simple udtøringsforsøg.

## 2. Forsøgsoversigt

### 2.1 Måling og registrering af plastisk svind

Når frisk beton er i direkte kontakt med luft, hvor den relative luftfugtighed er under 100 %, vil der ske en udtørring af betonen. Det betyder, at den relative fugtighed falder i betonens kapillarporer, og der dannes væskemenisker. Frem til afbindingstidspunktet har den friske beton stort set ingen styrke, og derfor vil selv svage kræfter forårsaget af overfladespænding i meniskerne i kapillarporerne kunne føre til revnedannelse. Disse revner kaldes ofte plastiske svindrevner. Figur 1 viser eksempler på sådanne revner på et terrændæk, hvor udtørningsbeskyttelse er udeladt.



*Figur 1: Plastiske svindrevner i nyudstøbt terrændæk.*

De plastiske svindrevner begynder som mikroskopiske revner, og derfor er det ikke muligt at registrere starttidspunktet for revnedannelse med det blotte øje.

Der findes ikke en standardiseret metode til registrering af plastiske svindrevner. I nærværende undersøgelse benyttes en metode, hvor betonen udstøbes i en vindtunnel, hvor det er mu-



ligt at styre temperatur, relativ fugtighed og vindhastighed. Umiddelbart under betonens overflade placeres et antal kunstige kapillarporer (kapillarrør af kobber), hvor poretrykket måles. Poretrykket falder ved udtørring, men ved revnedannelse omkring kapillarrøret udlignes trykket. Revnedannelsen kan således detekteres som trykspring. Prøveemnerne står på en vægt, hvorved den løbende fordampning fra betonoverfladen kan registreres.

De forskellige betontypers følsomhed overfor udtørring kan herefter sammenlignes ved at sammenligne tidspunkt for revnedannelse (hvis der overhovedet opstår revner) samt fordampning fra betonen.

Sideløbende med registreringen af plastisk svind foretages målinger af betonens varmeudvikling efter NT-BUILD 388. Denne måling benyttes til at indikere betonens tidsmæssige hærdeløb (hydratisering), herunder til fastlæggelse af betonens afbindingstid.

## 2.2 Recepter og friskbetonegenskaber

Forsøgene tager udgangspunkt i en M30 Lavabeton<sup>®</sup> fra 4Ks fabrik Prøvestenen. Lavabeton<sup>®</sup> er en serie af selvkompakterende betoner, der er særlig velegnet til gulvstøbninger, og styrkeklasse 30 MPa i moderat miljøklasse er én af de mest anvendte.

De relevante data for recepten fra 4K er gengivet i Tabel 1 som *Reference*. Derudover er der lavet receptmodifikationer, så der er en ny recept for hver hypotese, der skal testes.

1. *Uden SPT*: I denne recept er superplastificeringsmidlet erstattet af et ældre plastificeringsmiddel (baseret på lignosulfonat og ikke polykarboxylat). Denne recept har ikke *Referencens* flydeegenskaber, dvs. *uden SPT* kan ikke betegnes som en egentlig SCC, men plastificeringsmidlet sikrer, at betonen er udstøbelig i vindtunnelen. Denne beton-type kan også ses som et eksempel på en traditionel sætmålsbeton til gulvstøbning.
2. *Med slamlag*: I denne recept er doseringen af superplastificeringsmidlet øget med 15 % i forhold til *Referencen* for at få betonen til at separere under udstøbning.
3. *Med VMA*: I denne recept er der tilsat et viskositetsændrende tilsætningsstof (i henhold til producentens doseringsvejledning).



**Tabel 1: Recepter til forsøgsprogram. Blandet og udstøbt i Betoncentrets laboratorium. Alle mængder (V.O.T.) er angivet i kg pr. m<sup>3</sup> ved et forventet luftindhold på 6,5 %.**

| Delmaterialer i kg/m <sup>3</sup>  | Reference | Uden SPT          | Med<br>slamlag | Med VMA           |
|--|-----------|-------------------|----------------|-------------------|
| Aalborg Portland Rapid cement  | 248       | 248               | 248            | 248               |
| Flyveaske, type B4   | 96        | 96                | 96             | 96                |
| Vand   | 151       | 151               | 151            | 151               |
| 0-4 mm sand, kl. P   | 767       | 767               | 767            | 767               |
| 4-8 mm sten, kl. M   | 172       | 172               | 172            | 172               |
| 8-16 mm sten, kl. M  | 772       | 772               | 772            | 772               |
| Luftindblandingsmiddel, type 4K  | 0,86      | 0,86              | 0,86           | 0,86              |
| Superplastificeringsmiddel, type 4K                                      | 2,93      |                   | 3,37           |                   |
| Plastificeringsmiddel, Conplast 212                                      |           | 2,41 <sup>1</sup> |                |                   |
| Viskositetsændrende tilsætningsstof, Kelco-crete <sup>®</sup> diutan gum |           |                   |                | 0,38 <sup>2</sup> |
| <b>Målte friskbetonegenskaber</b>  |           |                   |                |                   |
| Udbredelsesmål med omvendt kegle (jf. DS 2426, anneks U)                 |           |                   |                |                   |
| • størst [mm]  | 690       | -                 | 720            | -                 |
| • vinkelret på størst [mm]   | 680       | -                 | 740            | -                 |
| • gennemsnit [mm]  | 685       | -                 | 730            | -                 |
| Sætmål [mm]  | -         | 210               | -              | 180               |
| Luftindhold målt m. pressure-meter [%]                                   | 6,8       | 8,6               | 6,8            | 8,3               |
| Densitet [kg/m <sup>3</sup> ]  | 2203      | 2141              | 2167           | 2180              |

1. 0,7 % af pulvervægt

2. 0,25 % af blandevandets vægt. VMA i pulverform blev tilsat blandevandet under kraftig pisning (ca. 1 minut) umiddelbart inden betonen blev blandet.

Der anvendtes følgende blandeprocedure:

- de tørre materialer blandes i 2 minutter
- vand tilsættes
- der blandes i 2 minutter
- der tilsættes superplast
- der blandes i 4 minutter





## 3. Varmeudvikling

### 3.1 Metodebeskrivelse

Bestemmelse af varmeudvikling er foretaget i henhold til standarden NT BUILD 388. Den friske beton placeres i en såkaldt h okasse, der fungerer som et semi-adiabatisk kalorimeter. Herefter m ales betonens temperatur og varmetabet fra h okassen l øbende, s a varmeudviklingen kan beregnes som en funktion af modenheden.

Varmeudviklingskurven kan tiln ermes med en eksponentialfunktion som angivet i nedenst ende formel:

$$Q(M) = Q_{\infty} \cdot \exp\left(-\left(\frac{\tau_e}{M}\right)^{\alpha}\right)$$

hvor

- $M$  er betonens modenhed ( kvivalent alder ved 20  C).
- $Q$  er den akkumulerede varmeudvikling som funktion af betonens modenhed  $M$
- $Q_{\infty}$  er den akkumulerede varme efter uendelig lang tids hydratisering.
- $\tau_e$  er en karakteristisk tidskonstant.
- $\alpha$  er en dimensionsl os parameter, som bestemmer varmeudviklingens hastighed.

Parametrene  $Q_{\infty}$ ,  $\tau_e$  og  $\alpha$  bestemmes p a baggrund af den m alte varmeudvikling. Desuden bestemmes en parameter,  $\tau_0$ , der er sk eringspunktet mellem den vandrette akse og den beregnede kurves tangent i punktet med den st rste h aldning, dvs. i punktet, der skiller den konvekse del af kurven fra den konkave del. Figur 2 - Figur 5 viser de m alte varmeudviklingskurver for de fire betoner.

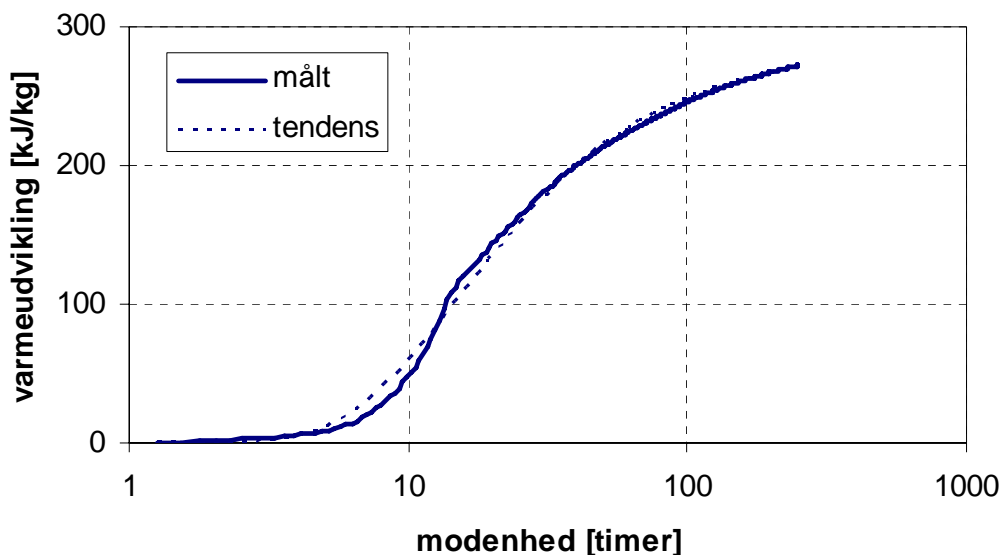
Som ses af kurverne, er den matematiske eksponentialfunktion kun en tiln ermelse. Mange af kurverne har et kn ek p a S'ets midterstykke. Det betyder, at beregningen af  $\tau_0$  bliver noget misvisende, fordi den indlagte tangents h aldning bliver for lille. Den bestemte  $\tau_0$  er s ledes en nedrev ardi.

Hvis der i stedet tegnes en tangent i punktet med st rst tangenth aldning, uanset at dette punkt ikke er sammenfaldende vendetangenten, f as et mere retvisende billede. Dette svarer til at antage, at det kun er den f rste del af kurven indtil et eventuelt kn ek, der l egges til grund for beregningerne af  $\tau_0$ . Afbindingstiden fundet ved denne fremgangsm ade er en  vrev ardi (Tabel 2).

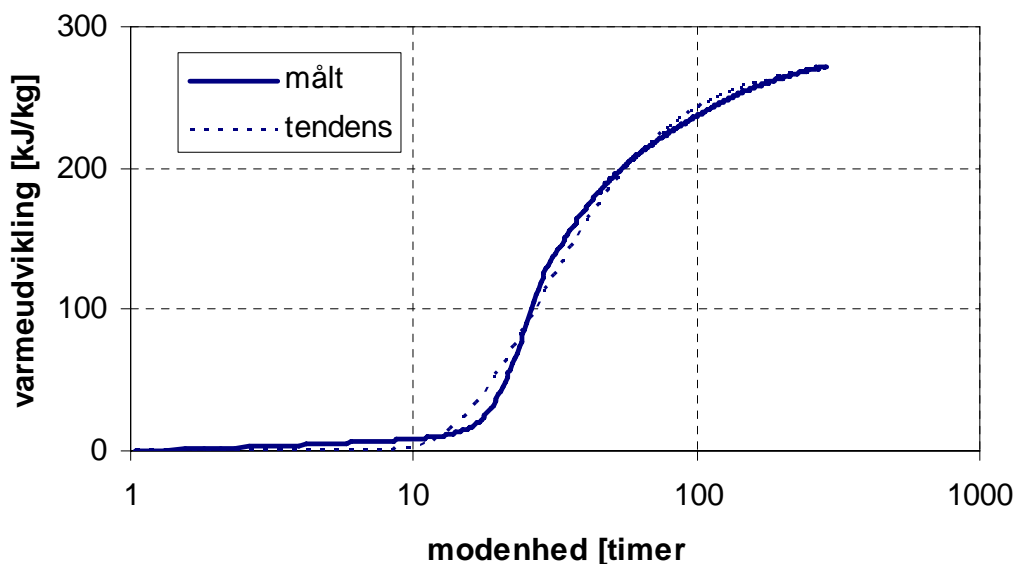


### 3.2 Resultater

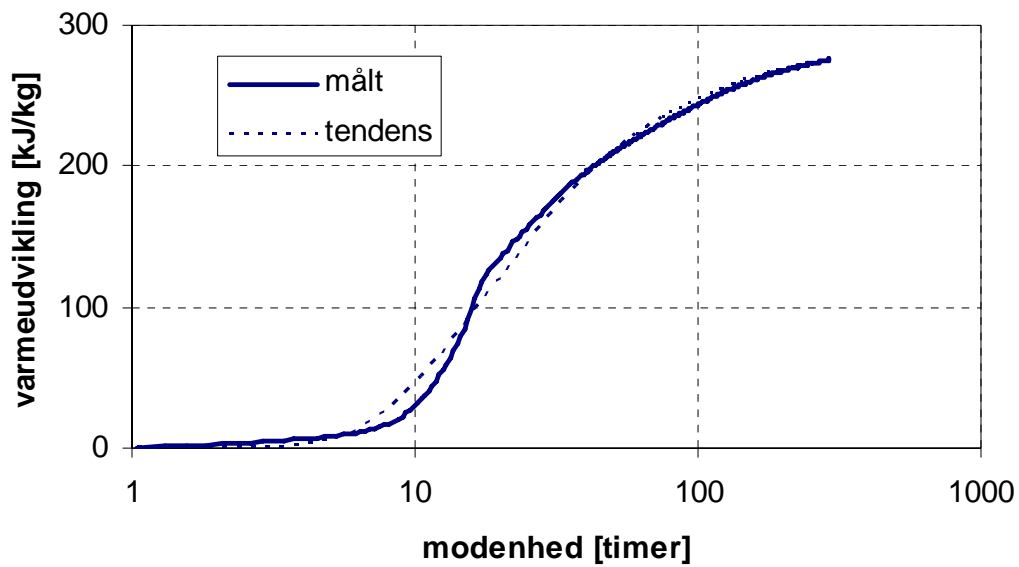
De målte varmeudviklingskurver fremgår af nedenstående figurer, hvor den stiplede linie angiver den tilnærmede eksponentialfunktion, som er bestemt ved kurvetilpasning.



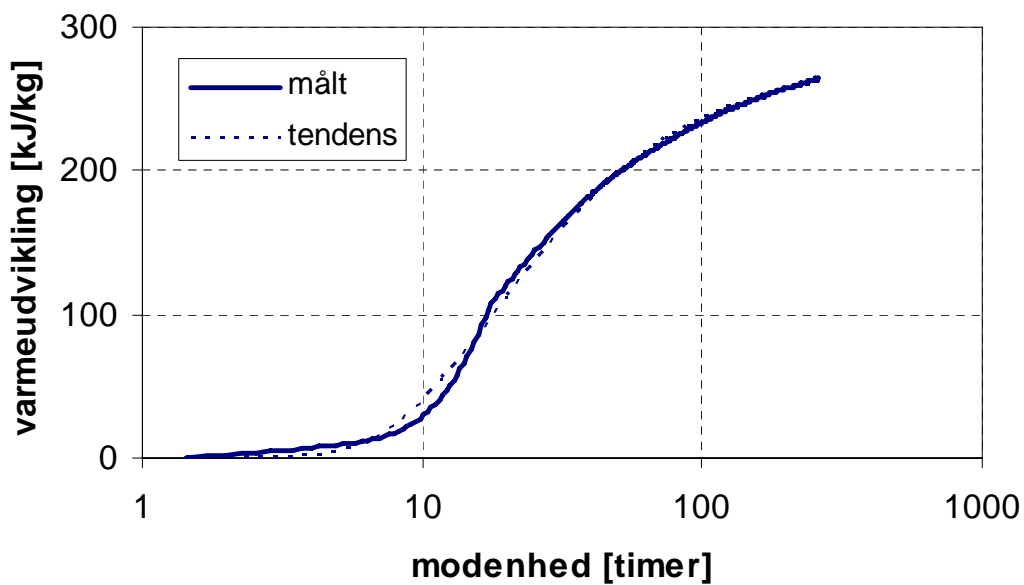
Figur 2: Varmeudvikling for "Reference" (angivet pr. kg pulver)



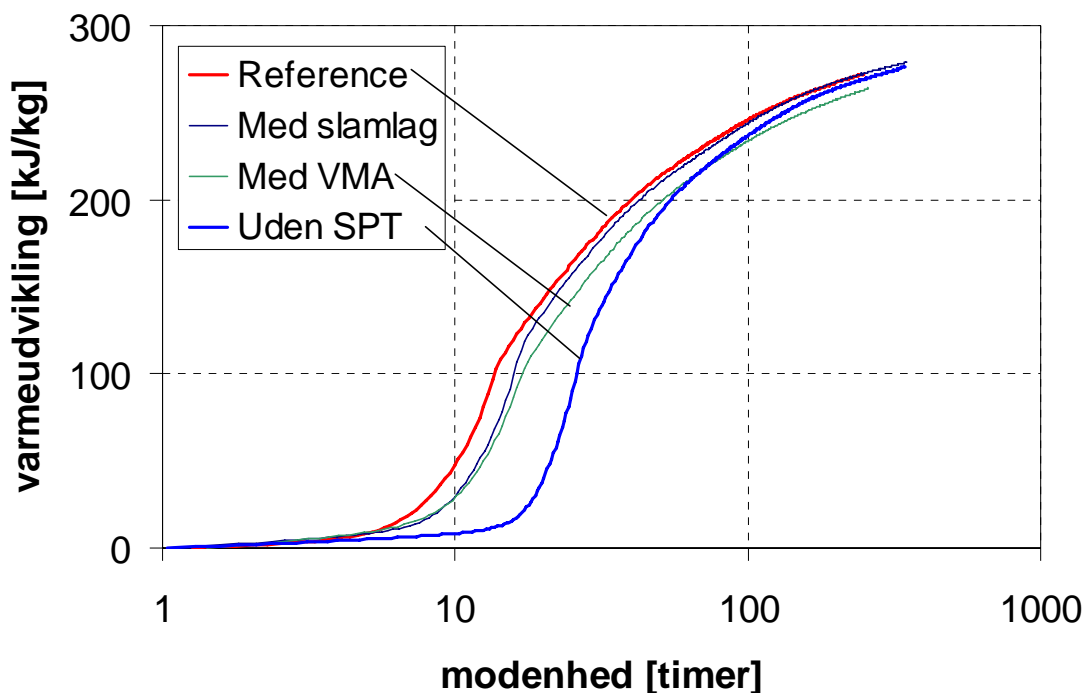
Figur 3: Varmeudvikling for "uden SPT" (angivet pr. kg pulver)



Figur 4: Varmeudvikling for "med slamlag" (angivet pr. kg pulver)



Figur 5: Varmeudvikling for "med VMA" (angivet pr. kg pulver)



Figur 6: Sammenligning af målte varmeudviklingskurver for alle betonerne (angivet pr. kg pulver)

Det ses, at den totale varmeudvikling er sammenlignelig for de fire betoner. Dette er forventeligt, da de alle har den samme pulverkombination, pulvermængde og v/c-forhold. De har således det samme potentiale for at udvikle varme. En kubikmeter beton vil således udvikle i alt knap 100 kJ i forbindelse med hydratiseringen.

Der er derimod forskel på det tidsmæssige forløb, som det ses på Figur 6 og Tabel 2. Hydratiseringsprocesserne er langsommere til at komme i gang for beton, hvor 3. generations superplastificeringsmidlet er erstattet med et 2. generations plastificeringsmiddel (uden SPT). Selvom der er tale om moderat dosering af plastificeringsmidlet (ikke overdosering jf. leverandørens anvisning) forsinkes afbindingen markant, hvilket ses af  $\tau_e$ . Til gengæld fås en stejlere kurve, hvilket ses af  $\alpha$ .

Tabel 2: Parametre bestemt ved måling af varmeudvikling.

|             | $Q_\infty$<br>[kJ/m <sup>3</sup> beton] | $Q_\infty$ (pulver)<br>[kJ/kg pulver] | $\tau_e$<br>[timer] | $\alpha$<br>[-] | $\tau_0$ , 50% fraktil<br>[timer] | $\tau_0$ , tangent<br>[timer] |
|-------------|---|---------------------------------------|---------------------|-----------------|-----------------------------------|-------------------------------|
| Reference   | 97,7                                    | 284                                   | 15,26               | 1,07            | 6,0                               | 8,8                           |
| Uden SPT    | 95,8                                    | 278                                   | 27,47               | 1,52            | 14,2                              | 18,4                          |
| Med slamlag | 99,0                                    | 288                                   | 17,58               | 1,09            | 7,0                               | 10,8                          |
| Med VMA     | 95,2                                    | 277                                   | 18,36               | 1,09            | 7,4                               | 10,4                          |



## 4. Måling af poreundertryk – plastisk svind

### 4.1 Metodebeskrivelse

Metoden til undersøgelse af plastisk svind er udviklet på Teknologisk Institut. Det valgte måleprincip går ud på at udstøbe den friske beton i en vindtunnel i et klimarum, hvor det er muligt at styre de parametre, der har størst betydning for udtørringen: Temperaturen, den relative fugtighed og vindhastigheden omkring betonen.

I betonen monteres et antal kunstige kapillarporer, hvor det er muligt at måle trykket. I begyndelsen af udtørningsforløbet vil trykket i disse porer falde (dvs. der dannes undertryk) som følge af overfladespændingens indvirkning. Hvis der sker revnedannelse omkring kapillarrøret, udlignes undertrykket. Revnedannelsen vil således kunne detekteres som pludselige spring på en kurve, hvor trykket er afbilledet som funktion af tiden.

Foruden klimaparametrene og trykket i de kunstige kapillarporer registreres også betonens vægttab (fordampning) og temperatur. Betonens temperatur benyttes til at beregne størrelsen af fordampning, der så kan sammenlignes med den målte værdi.

#### 4.1.1 Udstyr

Forsøget udføres parallelt med to prøver anbragt i hver sin vindtunnel.

#### Klimarum

Ved forsøgene i dette projekt er der styret efter en lufttemperatur på 20°C og en relativ luftfugtighed på 50%. Disse værdier er valgt som et i praksis forekommende klima ved støbning af gulve i større bygninger.

#### Vindtunnel

Vindtunnelerne er opbygget af plexiglas, således at der dannes en 1,5 m lang spalte med tværsnittet 700 x 52 mm, hvorigennem luften suges af en ventilator. Ventilatorens omdrejningshastighed kan varieres, så vindhastigheden kan styres fra 0 til ca. 10 m/s. Vindhastigheden måles 30 mm over betonfladen med et vingehjulsanemometer.

#### Vægt

Den friske beton anbringes i en form (se nedenfor) på en vægt i vindtunnelen. De anvendte vægte er Mettler ID5, KC 120 med signaludtag. Vægtene kan veje op til 120 kg med udtare-ringsmulighed og opløsning på 3 decimaler dvs. 1 gram nøjagtighed.

Den samlede opstilling med form anbragt på vægt i en (endnu ikke lukket) vindtunnel ses på Figur 7.



*Figur 7: Vindtunnel, hvori den støbeklare form er placeret. For at undgå betonspild omkring vægten, er området tildækket med plast. Til højre for tunnelen ses tryktransducerne monteret i stativ.*

### Form

Formen er sammensat af

- en bundplade af 19 mm Plywood
- en ydre kvadratisk stålramme 300 x 300 mm med tykkelse 9 mm
- en indre stålring med diameteren 170 mm og tykkelsen 26 mm.

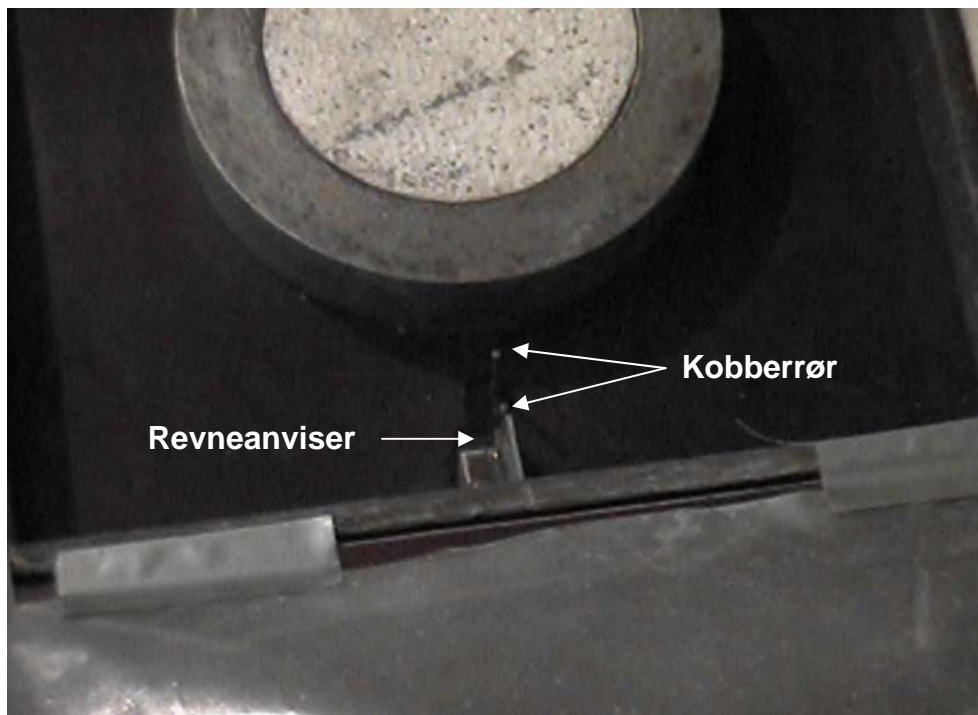
Det fri betonareal er således 0,067 m<sup>2</sup>. Stålramme og stålring passer ned i en not i bundpladen, så højden af formen (tykkelsen af prøveemnet) er 40 mm.

For at fremprovokere en eventuel revnedannelse til at ske omkring de kunstige kapillarporer, er der ud for disse anbragt en revneanviser vinkelret midt på den ene sideflade på det sted, hvor betontværsnittet er mindst. Revneanviseren er en 1 mm tynd stålskive, som har højden 29 mm. Skiven rager 22 mm ind fra formens yderside.

### Kunstige kapillarporer med tryktransducere

I forlængelse af revneanviserne er der anbragt to kapillarrør med afstanden 3 mm og 23 mm fra revneanviseren. Der er anvendt to rør for at observere, hvornår en revne udbreder sig fra anviseren og ud i betonen. Kapillarrørene monteres gennem bundpladen, så de sidder lodret med munden ca. 3 mm under betonoverfladen. Kapillarrørene er af kobber med udvendig diameter 2,1 mm og indvendig diameter 0,6 mm. Kapillarrørene er forbundet til tryktransducere med klare plastslanger, så det er muligt at observere evt. luftbobler i systemet. Tryktransducerne er 3 stk. af typen Transinstruments BHL 4250 - 00 område 0 - 1 bar og 1 stk. Bell&Howell BHL 4050 - 0 - 03MO område 0 - 1 bar.

Figur 8 viser form med revneanvisere og kobberør til måling af poretryk.



**Figur 8: Form til registrering af plastiske svindrevner - klar til udstøbning. Nederst i billedet ses revneanviseren og ud for den ses de to kobberør til måling af poreundertryk.**

Det er væsentligt at udføre trykmålingerne ved konstant temperatur for at undgå at skulle kompensere for temperaturudvidelse i rør og slanger.

#### 4.1.2 Dataopsamling

Følgende data registreres automatisk ved hjælp af Dataloggeren CR10 og Teknologisk Institut, Betons program Guardian:

- Tid
- Lufttemperatur og relativ luftfugtighed i kammeret
- Vindhastighed
- Temperatur i betonemnet, målt i midten
- Vægtændring - under vejning standses og startes ventilatorer automatisk
- Poreundertryk

De nævnte parametre registreres hvert 5. minut med undtagelse af vægten, der kun registreres hvert 20. minut, da pålidelige vægtmålinger kræver, at vindbelastningen i tunnellen stoppes, og hyppige vejninger vil derfor påvirke forsøgsbetingelserne markant.

#### 4.1.3 Udførelse

Formene anbringes på vægtene og kapillarrør forbindes til tryktransducere. Via en slange over transducerkammeret kan vand trykkes gennem systemet, så luftbobler undgås. Der fyldes så meget vand i systemet, at der dannes en konveks vandflade ved rørmundingen, så der her kan skabes forbindelse til vandet i betonens porer. Af samme årsag anvendes vand, der har stået i køleskab, så en temperaturudvidelse vil få vand til at dryppe ud af røret. Ved an-



vendelse af vand med ca. stuetemperatur er der en risiko for, at betonen og eller luften i klimakammeret er koldere og derfor vil få vandet til at trække sig tilbage i røret.

I forsøgene anvendtes SCC, hvor betonen relativt nemt flød ud i formen. Brug af vibrering var overflødig. Overfladen blev rette af med en murerske, og termoelementet til måling af betontemperaturen anbringes i modsatte side i forhold til revneanviseren.

Vægtene nulstilles, og vindpåvirkning startes, hvorefter dataopsamlingen påbegyndes.

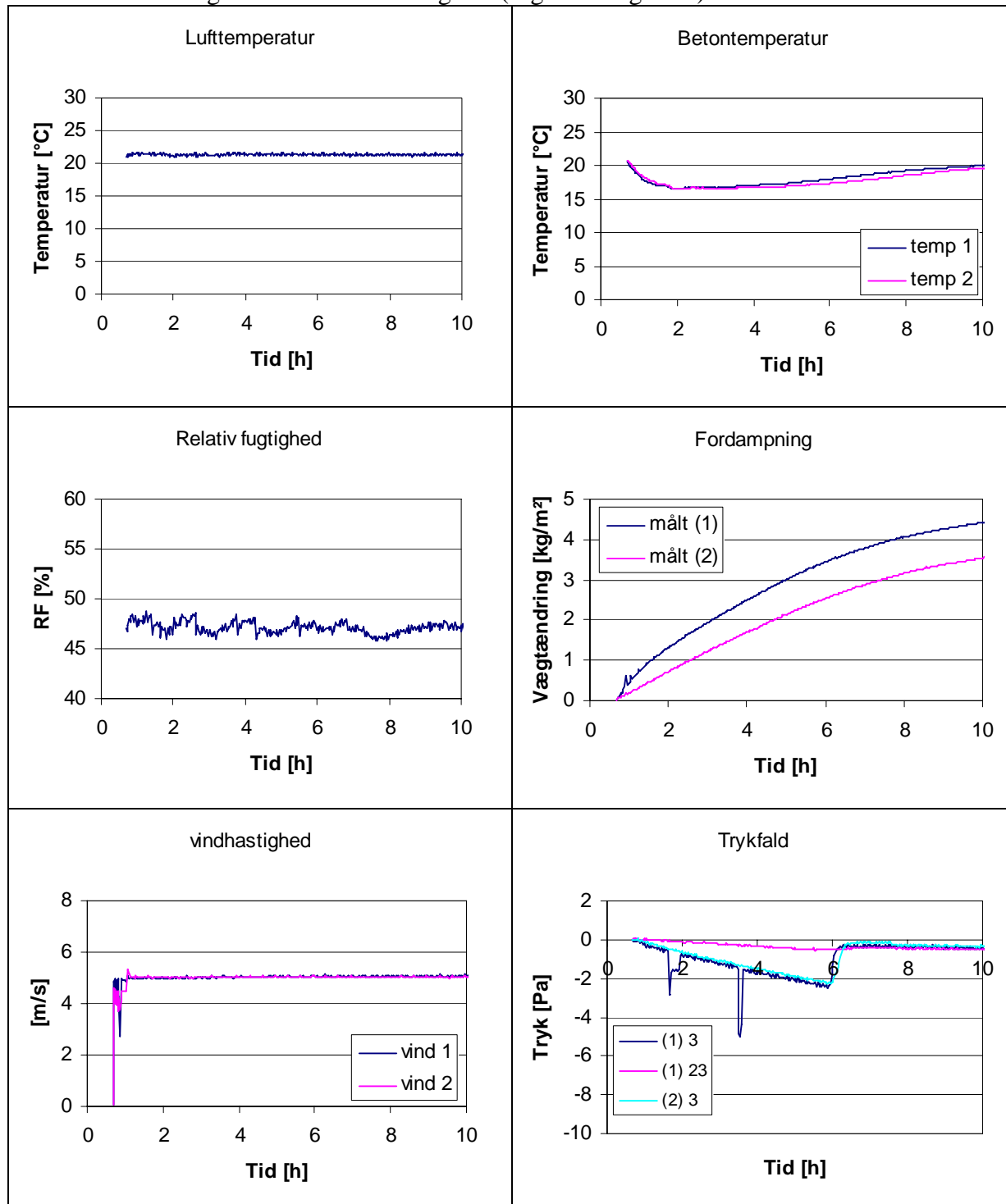
Målingerne kan evt. suppleres med visuel overvågning. Der er tale om plastiske svindrevner, når revnerne breder sig ud fra revnelederen eller evt. opstår andre steder ude i betonoverfladen. Poreundertryksmålingen er kun effektiv som revnedetektor, hvis revnedannelsen forløber stort set lige hen over kapillarrørene, og revnerne åbner sig helt ned til rørenes munding.



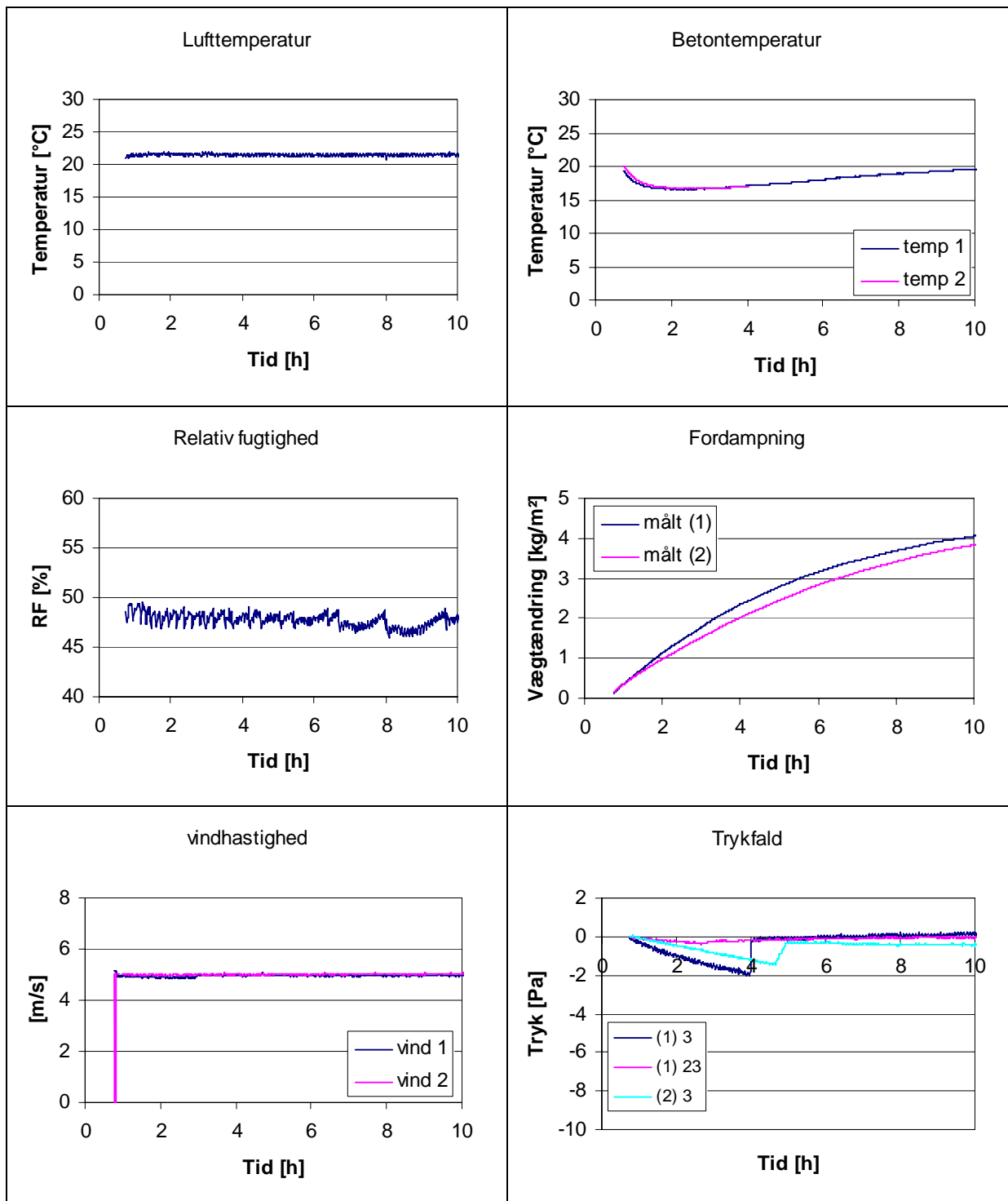


## 4.2 Resultater

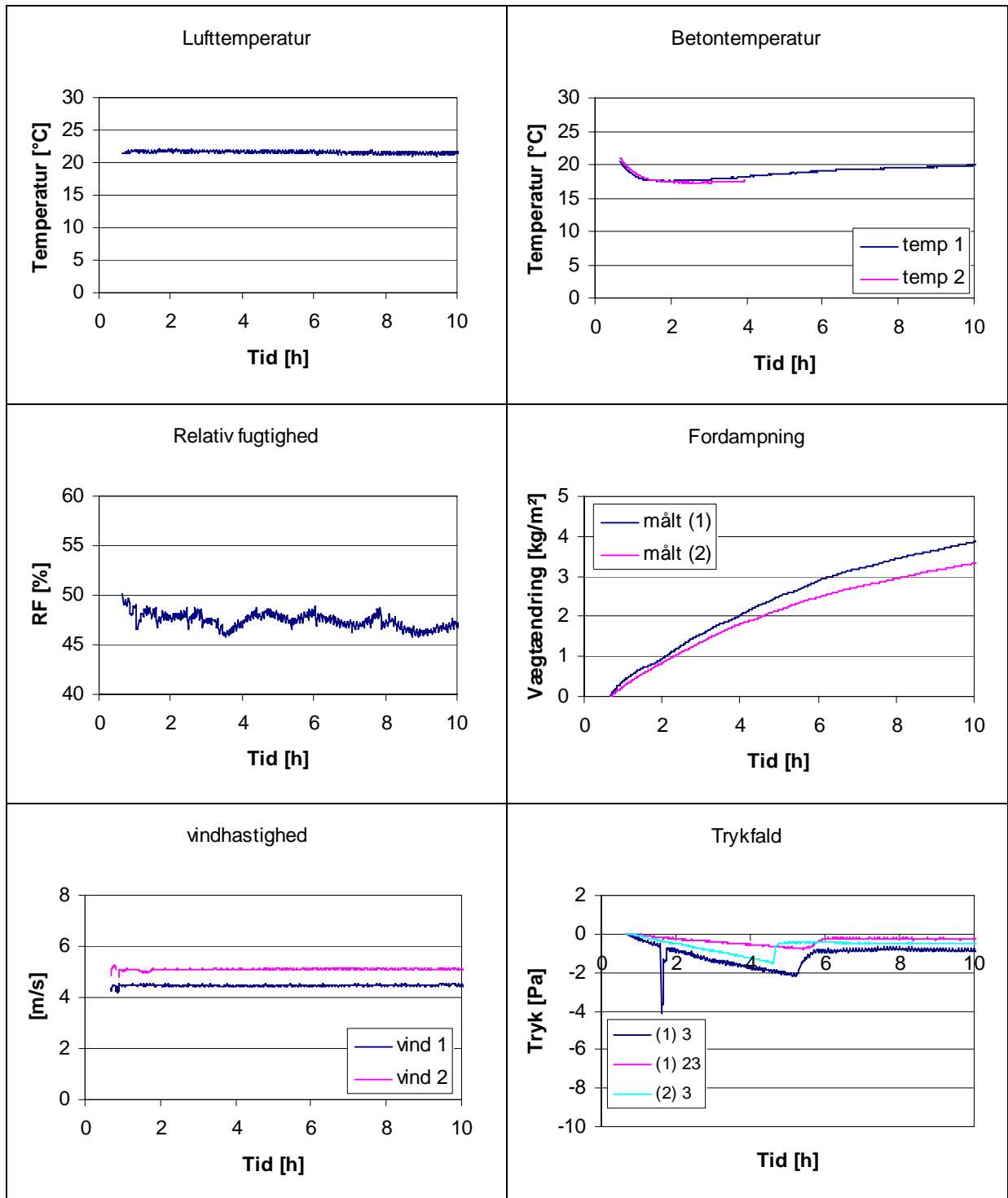
Resultaterne fremgår af nedenstående figurer (Figur 9 - Figur 12).



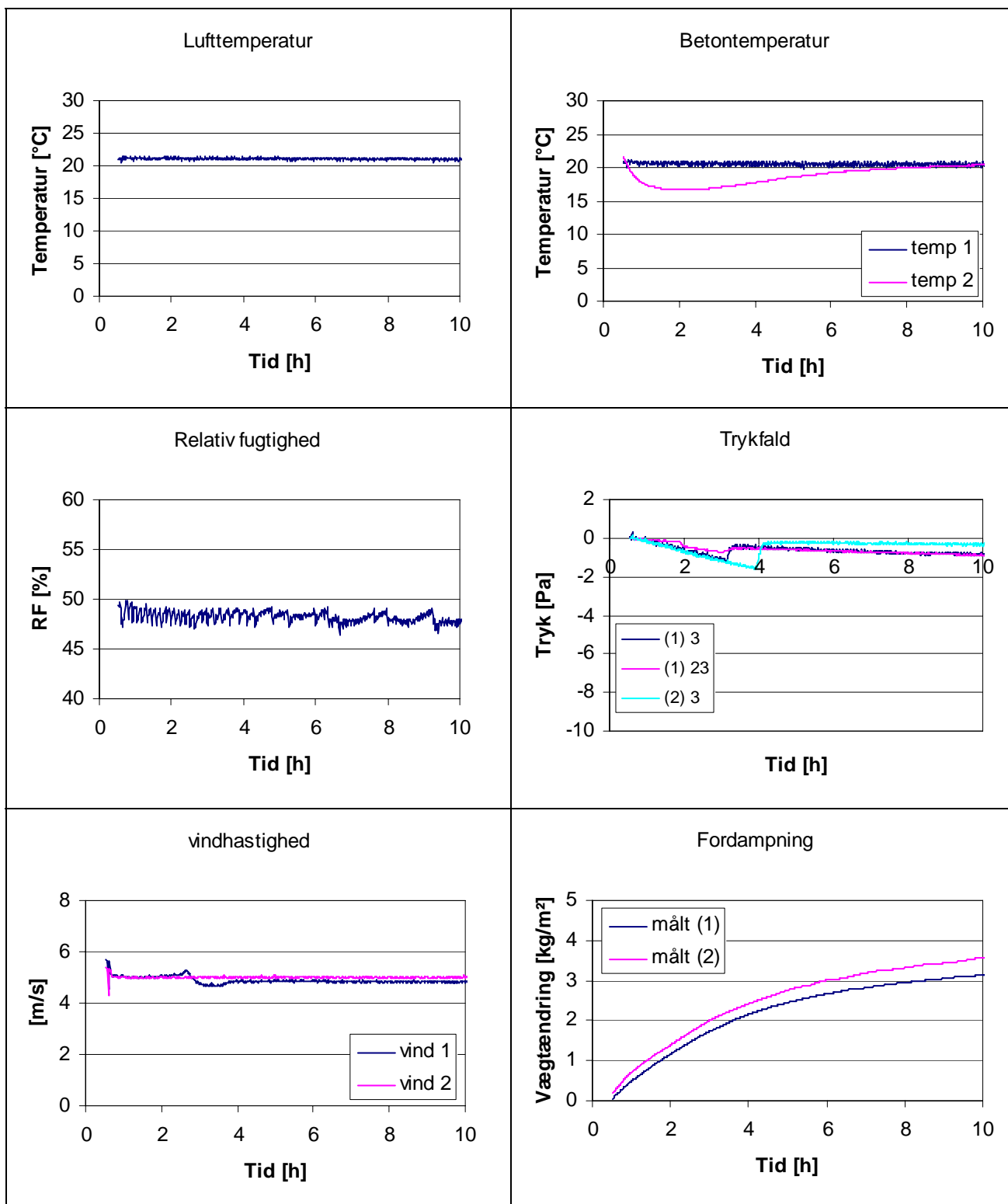
Figur 9: Resultater for "Reference". Tv. er angivet forsøgsbetingelser, th. målinger foretaget på betonen.



Figur 10: Resultater for "Uden SPT". Tv. er angivet forsøgsbetingelser, th. målinger foretaget på betonen.



Figur 11: Resultater for "Med slam". Tv. er angivet forsøgsbetingelser, th. målinger foretaget på betonen.



Figur 12: Resultater for "Med VMA". Tv. er angivet forsøgsbetingelser, th. målinger foretaget på betonen. Bemærk! Termoføler nr. 1 havde løsnet sig og var på den måde smuttet ud af betonen. Betontemperatur temp 1 måler derfor ikke korrekt (den måler i stedet lufttemperaturen lige over betonoverfladen).



Det ses, at der er sammenlignelige forsøgsbetingelser ved alle fire forsøg:

- lufttemperatur ca. 21 °C
- relativ fugtighed ca. 48%
- vindhastighed ca. 5 m/s

#### 4.2.1 Revnedannelse

Kurverne for poreundertryksmålinger viser, at der sker revnedannelse i begge prøveemner for *Referencen* ca. 6 timer efter blanding (ca. 5½ time efter udstøbning og vindbelastningen er startet). Det vil sige, at revnedannelsen sker umiddelbart før afbindingstidspunktet, der er bestemt ved måling af varmeudviklingen. I den forbindelse skal man dog erindre, at ved varmeudviklingen er afbindingstiden  $\tau_0$  angivet i modenhestimer. I forsøgene i vindtunnelen er hver modenhestime lidt længere end en klokke time, fordi betonen afkøles pga. fordampning, og derved falder betonens temperatur til under 20 °C.

Til sammenligning ses for de øvrige betoner:

- Beton uden SPT viser tegn på revnedannelse 4-5 timer efter blanding
- Beton med slam lag viser tegn på revnedannelse 4½-5½ timer efter blanding
- Beton med VMA viser tegn på revnedannelse 3-4 timer efter blanding

Tendensen til at danne plastiske svindrevner for beton uden SPT og beton med slam er på niveau med referencen, idet metoden ikke er så nøjagtig, at man kan tolke på forskelle i revnedannelsestidspunktet, der er mindre end ½-1 time. De er på ingen måde mindre følsomme overfor udtørring end referencen. For betonen med VMA er der en tendens til tidligere revnedannelse end i referencen.

#### 4.2.2 Fordampning

Fordampningen er for alle forsøg på ca. 4 kg/m<sup>2</sup> efter 10 timer, dog lidt lavere for beton med VMA og slam. Fordampningsforløbet er også sammenligneligt for de forskellige betonblandinger. Fordampningshastigheden er aftagende over perioden, svarende til at det kun er i starten, der er en betonoverflade med frit vand.

Den teoretiske fordampningsrate kan bestemmes ud fra følgende parametre: temperaturen i betonen og i omgivelserne, vindhastigheden samt den relative luftfugtighed [2]. Med de gennemsnitlige værdier for forsøgene giver dette en fordampningshastighed på cirka 0,5-0,6 kg/m<sup>2</sup> pr. time. Denne værdi stemmer overens med målingerne i de første timer, hvor der er frit vand tilstede på betonoverfladerne. Når dette ikke længere er tilfældet falder fordampningshastigheden, idet der ikke kan transporteres nok vand til overfladen fra prøveemnets indre.

Der er således ikke observeret nogen signifikant forskel i de anvendte betoners fordampningshastigheder, hverken i forhold til hinanden indbyrdes eller i forhold til de teoretiske beregninger. Dermed vurderes det, at reglerne for udtøringsbeskyttelse for traditionel beton, som angivet i DS 482 [5], kan anvendes uden ændringer for SCC.



## 5. Vurdering og konklusioner

De udførte forsøg vurderes at have en nøjagtighed, der gør det muligt at vurdere de opstillede hypoteser:

1. Har de nye 3. generations superplastificeringsmidler en gunstig virkning på SCC mht. udtørring? Dette spørgsmål er belyst vha. forsøg med hhv. superplast og 2. generations plastificering (*Reference* kontra *Uden SPT*).
2. Vil et slamlag på SCC overfladen hindre udtørring til en vis grad? Dette spørgsmål er belyst vha. forsøg med *Referencen* og en SCC recept hvor superplastificeringsstoffet er overdoseret for at fremprovokere separation (*Reference* kontra *Med slam*).
3. Har SCC baseret på VMA en mindre følsomhed overfor udtørring? Dette spørgsmål er belyst vha. forsøg med *Referencen* og en SCC recept baseret på VMA (*Reference* kontra *Med VMA*).

### Hypotese 1

Beton med et 2. generations plastificeringsmiddel viser tegn på revnedannelse 4-5 timer efter blanding, mens referencebetonen med et 3. generations superplastificeringsmiddel viser tegn på revnedannelse ca. 6 timer efter blanding. Dette er ikke nogen markant forskel og udtørringen er ligeledes stort set ens for de to betoner.

En mulig forklaring på de observerede forskelle kan være de observerede forskelle i afbindingstid. Beton med et traditionelt plastificeringsmiddel var betydeligt langsommere til at binde af (målt vha. varmeudvikling), og den vil derfor også være betydeligt langsommere til at udvikle en hydratstruktur med tilstrækkelig styrke til at modstå de spændinger, der kan føre til plastiske svindrevner.

### Hypotese 2

Beton med slamlag viser tegn på revnedannelse 4½-5 timer efter blanding. Forskellen i forhold til referencebetonen, der revnede 6 timer efter blanding, er ikke markant nok til at kunne konkludere en effekt. Hypotese 2 kan derfor afvises.

### Hypotese 3

Beton med VMA revner 3-4 timer efter blanding, hvilket er væsentligt hurtigere end referencebetonen (6 timer). Det kan konstateres, at tilsætningen af VMA ikke har virket efter hensigten. Selvom VMA'en binder vandet (dette sås meget tydeligt ved måling af betonens bearbejdelighed, der ikke kunne måles med udbredelsesmål, men derimod med sætmål), hæmmer det ikke fordampningen fra betonens overflade i nævneværdig grad. Med det aktuelt anvendte produkt (Kelco-crete®) må hypotese 3 således forkastes.

De har således ikke været muligt, at observere nogen særlig selvcurende effekt for SCC og udtørringsbeskyttelse må derfor anbefales at følge de gængse retningslinier i DS 482 for SCC såvel som for traditionel beton. Det skal slutteligt nævnes, at konklusionerne er draget på et relativt lille forsøgsgrundlag og ved anvendelse af et meget lille udpluk af de kommercielle tilsætningsstoffer, som er på markedet. Derfor kan det ikke udelukkes at andre konklusioner kan drages ud fra andre materialevalg og betonsammensætninger.



## 6. Referencer

- [1] NT Build 388: *Heat Development. Haybox calorimeter.*
- [2] Pedersen, Erik Jørgen, og Hansen, Per Freiesleben: *Udtørring af frisk beton. Fordampning fra våd overflade* (nomogram), BKI, bestillingsnummer B6 (1978).
- [3] *Beton-Bogen*, redigeret af Aage D. Herholdt et al., 2. udgave, CtO (1985).
- [4] Hansen, Per Freiesleben: *Materialefysik for bygningsingeniører. Beregningsgrundlaget*, Institutet for Bygningsteknik, Aalborg Universitet (1993).
- [5] DS 482: *Udførelse af betonkonstruktioner*, Dansk Standard (1999).