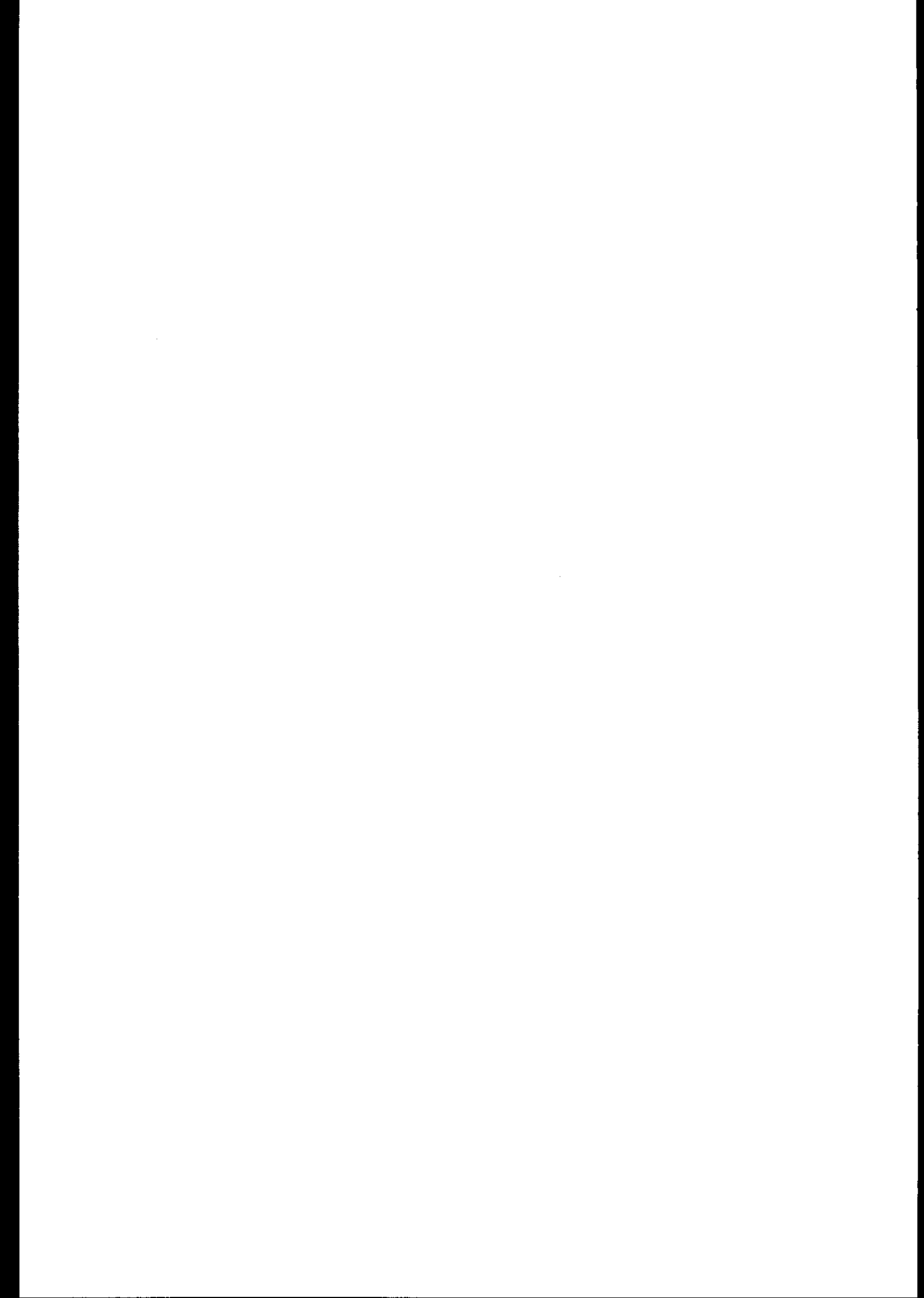




DANSK BETONFORENINGS
ANVISNING FOR
EFTERBEHANDLING AF BETON



INDHOLD

0. Forord	3
1. Indledning	4
1.1 Gyldighedsområde	4
1.2 Baggrund	4
2. Behov for og krav til efterbehandling	5
2.1 Betons hærdeproces	5
2.2 Vurdering af vandtab fra betonkonstruktioner	5
2.3 Betonsammensætning	5
2.4 Krav til efterbehandling	6
3. Planlægning og udførelse	7
3.0 Planlægning	7
3.1 Klimastyring	7
3.1.1 Definition	7
3.1.2 Udførelse	7
3.1.3 Fordele	8
3.1.4 Ulemper	8
3.1.5 Kvalitetsstyring	8
3.2 Formmaterialer	8
3.2.1 Definition	8
3.2.2 Udførelse	8
3.2.3 Fordele	9
3.2.4 Ulemper	9
3.2.5 Kvalitetsstyring	9
3.3 Vanding	9
3.3.1 Definition	9
3.3.2 Udførelse	9
3.3.3 Fordele	9
3.3.4 Ulemper	10
3.3.5 Kvalitetsstyring	10
3.4 Våde sække	10
3.4.1 Definition	10
3.4.2 Udførelse	10
3.4.3 Fordele	10
3.4.4 Ulemper	10
3.4.5 Kvalitetsstyring	11
3.5 Plastfolier, isoleringsmåtter og presenninger	11
3.5.1 Definition	11
3.5.2 Udførelse	11
3.5.3 Fordele	11
3.5.4 Ulemper	11
3.5.5 Kvalitetsstyring	11

3.6	Flydende forseglingsmidler	12
3.6.1	Definition	12
3.6.2	Udførelse	12
3.6.3	Fordele	12
3.6.4	Ulemper	12
3.6.5	Kvalitetsstyring	13
3.7	Andre metoder	13
3.7.1	Polymerer	13
3.7.2	Ingen konstruktiv beskyttelse - udnyttelse af BBB	13
3.7.3	Vakuumpreimering	13
	Litteratur	14
Bilag		
1	Eksempel fra planlægningsfasen	15
2	Eksempel på udnyttelse af BBB skema 8	17
3	Eksempel på fordampning/kondensation	18
4	Eksempel på overvejelser vedr. efterbehandling	19
5	Krav i den europæiske norm, ENV 206	20

Forord

Dansk Betonforening nedsatte i 1986 et arbejdsudvalg hvis kommissorium omfattede udarbejdelse af en anvisning i efterbehandling af beton. Udvalget fik følgende sammensætning:

Per Fogh Jensen (Formand).
Kirsten Eriksen (Fra foråret 1988).
Kirsten Fursund.
Jacob Hougaard Hansen.
Kjeld Roger Henriksen (Indtil foråret 1987).
Niels Jørgen Larsen.
Knud Puckmann (Indtil foråret 1988).
Morten Tranberg (Fra foråret 1988).
Thorkild Rasmussen (Sekretær).

Der er i anvisningen primært behandlet forhold omkring udtørningsbeskyttelse af beton, idet temperaturmæssige forhold blandt andet er behandlet i SBI-Anvisning 125.

I forbindelse med udarbejdelse af anvisningen er foretaget en europæisk rundspørge.

Anvisningen vedrører forhold omkring planlægning og udførelse af udtørningsbeskyttelse af beton i relation til de krav der stilles i DIF's norm for betonkonstruktioner, DS 411, og i BasisBetonBeskrivelsen (BBB).

December 1989.

Dansk Betonforening.

Publikationen er udgivet af :

Dansk Betonforening
c/o Dansk Ingeniørforening
Vester Farimagsgade 29
1606 København V
Tlf.: 33 15 65 65
Fax.: 33 93 71 71

ISSN 0106-0406
ISBN 87-87823-23-3

1. Indledning

Anvisningen beskriver de krav, der i dag stilles med hensyn til vandtab for en given konstruktion i en given miljøklasse, samt de beregningsmetoder, der er til rådighed til vurdering af fordampning af vand fra nyudstøbte betonoverflader.

I anvisningen gives en gennemgang af de praktiske muligheder, for udtørningsbeskyttelse af en nyudstøbt betonoverflade.

1.1 Gyldighedsområde

Anvisningen er knyttet til DIF's norm for betonkonstruktioner (DS 411).

1.2 Baggrund

Den første forudsætning for at opnå en holdbar betonkonstruktion er, at den anvendte beton er korrekt proportioneret og korrekt blandet.

En anden vigtig forudsætning er at indbygningen af betonen udføres omhyggeligt, således at krav til dæklag, vibrering, m.v. bliver opfyldt.

En tredje, men ofte overset forudsætning er at udføre en korrekt efterbehandling af betonkonstruktionen så konstruktionen ikke udsættes for skadelige påvirkninger under hærdeningen. Det drejer sig om termorevner, frostskeer, plastiske svindrevner og en generel kvalitetsforringelse som følge af utilstrækkelig hydratisering.

2. Behov for og krav til efterbehandling

2.1 Betons hærdeproces.

Under betonens hærdeproces reagerer cementen med vand og danner bindemiddel. Vand er en afgørende forudsætning for hydratiseringsprocessen, så betonen kan opnå den ønskede tæthed og styrke.

Konsekvensen af en udtørring vil være manglende hydratisering og dermed manglende styrke og tæthed. Udtørring kan tillige medføre revnedannelse i den plastiske og hærdenende beton.

2.2 Vurdering af vandtab fra betonkonstruktioner.

Til vurdering af fordampningen fra frisk beton (typisk 0-10 modenhedstimer), er der udviklet et beregningsværktøj, som forudsætter kendskab til følgende parametre.

- Luftens temperatur.
- Vindens hastighed.
- Luftens relative fugtighed.
- Betonens temperatur.

Beregningerne udføres som vist i bilag 2.

Beregningerne forudsætter at betonoverfladen er våd, men på et tidspunkt vil betonens vandtab ikke længere ske som fordampning fra en våd overflade. Der vil dog stadig ske en udtørring af betonen. Hvis denne udtørring bliver stor, vil betonen aldrig opnå den ønskede styrke og tæthed. Vandtab er særlig kritisk de første døgn, afhængig af betonens hydratiseringsgrad, og er især kritisk for betoner med lave v/c- forhold idet der her ikke er overskudsvand. Vandtab på dette tidspunkt kan give svindrevner jf. [4] og [5]. Fuld hydratisering af cementen opnås, når v/c-forholdet er større end ca. 0.40, se [1].

Betons struktur ændres gennem hærdeperioden, hvilket gør det meget vanskeligt at beregne fordampning fra hærdenede/hærdnet beton.

Der er i [2] angivet en metode til skønsmæssigt at fastlægge fugtfordeling og udtørringstid. I [2] er ved forsøg bestemt vandtabet for en række almindeligt anvendte betontyper under varierende klimatiske forhold. Resultaterne giver en empirisk beregningsmodel for bestemmelse af vandtabet fra betonen.

2.3 Betonsammensætning.

Betonsammensætningen har betydning for, hvornår efterbehandlingen påbegyndes, og hvor længe den skal vare.

Et øget finstofindhold og øget finhed af materialet vil reducere vandudskillelsen på betonoverfladen, og gør det særligt påkrævet at etablere en hurtig afdækning for at undgå plastiske svindrevner. BBB anfører indholdet af flyveaske og mikrosilica (i % af bindemidlet), som styrende parametre for det tidspunkt, hvor efterbehandlingen senest skal være etableret (jf. skema 8 og skema 9 i BBB).

Flyveaske har tilnærmelsesvis samme finhed som cement, og indgår som parameter, på grund af dens bidrag til finstofmængden, og en erfaringsmæssigt længere afbindingstid for beton med flyveaske.

Mikrosilica er 50-100 gange finere end cement, og kan, selv i små mængder (5% af cementmængden), medvirke til øgede kapillarkræfter og dermed risiko for dannelse af plastiske svindrevner.

Mængden og finheden af cementen indgår ikke som parameter i BBB, men et højt cementindhold vil ligeledes øge risikoen for plastiske svindrevner.

Tilsætning af fibre til beton virker revnefordelende men vil ikke hindre udtørring.

2.4 Krav til efterbehandling.

I BBB er varighedskravet til efterbehandling formuleret som et modenhedskrav, baseret på modenhedsfunktionen ud fra den forudsætning at følgende reaktionsgrader skal opnås. (jf. redegørelse for BBB):

- Passiv Miljøklasse 40% (15 Modenhestimer).
- Moderat Miljøklasse 60% (36 Modenhestimer).
- Aggressiv Miljøklasse 90% (120 Modenhestimer).

En retarderende effekt fra tilsætningsstoffer skal medregnes, idet varigheden skal forlænges svarende til retarderingens længde.

Med hensyn til varigheden af efterbehandlingen spiller v/c-forholdet en rolle. En stærk beton med lavt v/c-forhold vil hurtigere opnå en sådan tæthed, at den beskytter sig selv mod udtørring, end tilfældet vil være med en svagere beton med højere v/c-forhold.

Ifølge BBB's skema 10, kan man f.eks. i moderat miljøklasse nedsætte varighed af efterbehandlingen fra 36 timer til 24 timer, hvis v/c-forholdet reduceres fra 0.55 til 0.45.

Indflydelse på hærdeforløbet af puzzolaner og cementtyper indgår ikke direkte som parameter i BBB ved fastsættelse af varighedskravet for udtørringsbeskyttelse.

I flere europæiske lande er kravet til efterbehandlingens varighed afhængig af cementtypen (hurtighærdende, normalhærdende og langsomhærdende), og cementtypen indgår også i den foreløbige europæiske-norm, ENV 206's krav til efterbehandling, jf bilag 5.

Varmeudviklingsforløbet anses sædvanligvis også for at være et udtryk for hydratiseringsforløbet. Til yderligere belysning af dette henvises til [6]

3. Planlægning og udførelse

3.0 Planlægning

Under planlægning af et byggeri er det væsentligt på et tidligt tidspunkt at tage højde for den del af arbejdet, som vedrører efterbehandlingen.

Ved valg af efterbehandlingsmetoder er det af stor betydning at vurdere konsekvenserne med hensyn til tidsplan og byggerytme. Kravet til varigheden af efterbehandlingen kan blokere for det videre byggeri i kortere eller længere perioder.

Udtørningsbeskyttelse af betonoverflader kan etableres ved eksempelvis

- At lade formen sidde.
- At holde overflader våde.
- At tildække med damptætte membraner.
- At sprøjte forseglingsmidler på overfladen.

Alle metoder har det samme formål, at sikre opretholdelse af et tilstrækkeligt fugtindhold overalt i den nyudstøbte beton i dens tidlige alder, således at den ønskede betonkvalitet opnås.

3.1 Klimastyring

3.1.1 Definition

Med klimastyring menes styring af luftens temperatur og fugtighed, så der opnås enten en reduktion af fordampningen eller en kondensdannelse på den friske betonoverflade. Lufttemperaturen, betontemperaturen, den relative luftfugtighed og vindens hastighed er vigtige parametre ved klimastyring.

Ved planlægning af betonens hærdning udnyttes kendskab til betonens varmeudvikling, og klimaforhold tilpasses så en optimal hærdning af betonkonstruktionen sikres.

Ved styring af luftfugtigheden og temperaturen i hærdekammeret er det muligt at opnå kondensation af vanddamp på betonoverfladen. Dette tilfører betonen fugt og varme.

Tilsvarende forhold kan forekomme udendørs hvis lufttemperaturen er højere end betontemperaturen og der er en høj relativ luftfugtighed. Ændringer i vejrliget bør følges nøje, så betonen kan beskyttes hvis dette bliver nødvendigt.

3.1.2 Udførelse

Klimastyring, udnyttes i hærdekamre ved industriel produktion af betonvarer og betonelementer.

På fabrikker udnyttes dette ved:

- Temperaturstigning i hærdekammer, så lufttemperaturen er højere end betontemperaturen.
- Betonvarer placeres i hærdekamre med høj relativ luftfugtighed.
- Dampinjicering i hærdekamre med høj temperatur og høj relativ luftfugtighed.

Det drivende damptryks størrelse kan sikre kondensdannelse på betonoverflader. Ved anvendelse af hærdekammer med en høj relativ luftfugtighed opnås følgende:

- Når betontemperaturen er lig med hærdekammertemperaturen reduceres fordampningen fra den frie overflade.
- Når betontemperaturen er lavere end hærdekammertemperaturen fås kondensering af vanddamp (og varmetilførsel) på den frie betonoverflade.
- Da hærdeprocessen er ensartet og sker i lukkede hærdekamre er det let at kontrollere vandtab på prøveemner.

Simple hærdekamre kan indrettes som plasttelte over udstøbningsstedet.

Til vurdering af udtørring fra en frisk betonoverflade i tiden umiddelbart efter udstøbning, kan diagram i [12] anvendes, jf. bilag 2.

Som angivet i diagrammet fås en betydelig stigning i det "drivende damptryk" jo højere temperaturniveau, der arbejdes med. Udover det "drivende damptryk" har vindens hastighed betydning for fordampningshastigheden.

3.1.3 Fordele

Overfladebearbejdning kan ske i hærdekammer.

- Kontrol med vandtab er enkel (god styring).
- Ensartet hærdeproces.
- Ingen særlige forholdsregler før evt. overfladebehandling.

3.1.4 Ulemper

- Krav til styring.
- Speciel indretning af produktionsområde.
- Forøget vedligeholdelse af formudstyr mv. pga. fugt.
- Arbejds miljø i hærdekammer.

3.1.5 Kvalitetsstyring

- Gennemregning og planlægning af proces.
- Eftervisning (vægttab) på prøveemner.
- Overvågning af nøgleparametre (lufttemperatur, betontemperatur, vindhastighed, relativ fugtighed, modenhed).

3.2 Formmaterialer

3.2.1 Definition

Krav til udtøringsbeskyttelse stilles kun til frie betonoverflader, idet betonflader mod form anses for beskyttet imod udtørring.

Vandtætte, ikke-sugende formmaterialer, som yder god udtøringsbeskyttelse, er f.eks.:

- Lakeret træ/finer.
- Olieret finer eller melaminbelagt finer.
- Stål.
- Lakeret beton.
- Vandmættet beton i støbeskel.

3.2.2 Udførelse

Formsystemet bør være tæt og ikke-sugende for at give den bedste beskyttelse mod udtørring. Formsystemet bør vælges så termorevner og frysning undgås, og modenhedskrav opfyldes før afformning. Man skal være opmærksom på formmaterialets isolerende egenskaber og dets betydning for betonens modenhedsudvikling.

For ubehandlede træforskallinger vil træets aktuelle fugttilstand være af stor betydning. Man bør sikre sig, at træet vandmættes ved forvanding forud for støbningen. For frisk træ vil denne fugtighed holde sig betydeligt længere, end når træet har været udtørret og opfugtet mange gange ved gentagne anvendelser.

3.2.3 Fordele

- Tæt og ikke sugende form giver god udtørningsbeskyttelse.
- Ingen særlige forholdsregler før en eventuel overfladebehandling.

3.2.4 Ulemper

- Sugende og utætte forskallinger giver vandtab.
- Forskalling til løsning af udtørningskrav er dyr.
- Særlige forholdsregler ved støbeskel.
- Ved lang formlid kan forskalling gro fast.

3.2.5 Kvalitetsstyring

- Gennemregning og planlægning af proces.
- Kontroller formmaterialets beskaffenhed.
- Registrer modenhedsudvikling i konstruktionen.
- Kontroller at tid med forskalling på opfylder modenhedskravet.

3.3 Vanding

3.3.1 Definition

En vandfilm på overfladen beskytter betonen mod udtørring.

Vandlagring vil kun i specielle tilfælde kunne benyttes på nyudstøbt beton, og beskyttelse i den første tid må sikres på anden måde.

Når betonen har opnået en vis hærkning (10-15 modenhedstimer), vil betonoverfladerne imidlertid kunne tåle kontakten med vandet, uden at der sker udvaskning af betonen.

3.3.2 Udførelse

Betonen kan tilføres vand på forskellige måder, der vælges efter de aktuelle behov og muligheder:

- Vanding.
- Vandlagring.

Man skal sikre sig, at der ikke opstår for store temperaturforskelle i konstruktionen.

Vanding.

Sprinkling anvendes til fugtigholdelse af støbeafsnit, elementstakke etc. Metoden anvendes især ved fremstilling af betonvarer.

Ulemper for andre byggeafsnit skal vurderes før iværksættelse af vanding.

Vandlagring.

Metoden anvendes ved fremstilling af visse specialelementer på elementfabrikker, og er ikke udbredt, da krav til bassin-størrelse giver begrænsninger.

3.3.3 Fordele

- Betonen kan tilføres vand på forskellige måder.
- Sikkerhed for, at overflader, der vandes, er konstant fugtige, hvilket sikrer en gunstig hydratisering i betonens tværsnit.
- Ingen særlige forholdsregler før en evt. overfladebehandling.

3.3.4 Ulemper.

- Risiko for plastisk svind på grund af sen iværksættelse.
- Risiko for termorevner.
- Skjolder og misfarvning af overflade.
- Risiko for frysning.
- Overvågning af at vandingssystemet fungerer (week-ends).
- Udvaskning af frisk beton.
- Uegnet på dækundersider.
- Langsom modenhedsudvikling i overfladen.

3.3.5 Kvalitetsstyring

- Gennemregning og planlægning af proces.
- Jævn og konstant vanding.
- Beregning af modenhed inden vanding ophører.

3.4 Våde sække

3.4.1 Definition

Betonens overflade holdes fugtig ved tildækning med vandmættet materiale.

3.4.2 Udførelse

Der udlægges/ophænges gennemvædet jutevæv (sække) eller filtmåtter.

Tildækningen holdes fugtig enten ved jævnlig oversprøjtning eller ved konstant vandtilførsel, f. eks. med perforerede slanger.

For at undgå termorevner forårsaget af afkøling, kan denne metode kombineres med afdækning med folie/presenning.

Ved tildækning med fugtige materialer uden vandtilførsel skal disse også være beskyttet mod fordampning med plastfolie eller lignende, samtidig med at fugtigheden i tildækningsmaterialet kontrolleres, indtil betonen har den krævede modenhed. Under uheldige forhold vil sækkelærred og lignende, som tørrer ud, kunne øge fordampningen fra den friske beton, og derved forværre forholdene.

Behovet for kombineret fugt- og varmetabsbeskyttelse har medført, at der er udviklet plastbeklædte filtmåtter, som kombinerer en effektiv fugtbeskyttelse med beskyttelse mod afkøling. Ved anvendelse af filtmåtter er der mindre tendens til kondensskjolder. Metoden anvendes i begrænset omfang på byggepladsen.

3.4.3 Fordele

- Lodrette flader kan beskyttes.
- Fleksibel i forhold til udførelse af tilstødende konstruktioner.
- Støbeskel kan udtørningsbeskyttes.
- Ingen særlige forholdsregler før eventuel overfladebehandling.
- Arbejdsmiljø.

3.4.4 Ulemper

- Aftryk i frisk betonoverflade.
- Week-end kontrol.
- Frysingsrisiko af vandmættet overflade.
- Udvaskning af frisk beton.
- Uegnet til dæk undersider.
- Risiko for skjolder og misfarvning.

3.4.5 Kvalitetsstyring

- Gennemregning og planlægning af proces.
- Hele den frie overflade dækkes af med sække/filtmåtter.
- Tildækningen holdes våd.
- Tildækningen udføres rettidigt og vedligeholdes til krævet modenhed er opnået.
- Kontrol med effektiviteten af vådholdelse, samt om der er eventuel afkøling.

3.5 Plastfolier, isoleringsmåtter og presenninger

3.5.1 Definition

Fordampning fra betonens overflade hindres/nedsættes ved tildækning med plastfolie, isoleringsmåtter eller damptætte presenninger.

3.5.2 Udførelse

Tildækning med plast skal anbringes tæt til betonoverfladen, og kan være en effektiv måde at hindre fordampning på. Det forudsætter at konstruktionens udformning er regulær, uden indadvendte hjørner, samt at betonoverfladen ikke brydes af armeringsjern og lignende. Det betyder at tildækningen normalt ikke kan anvendes i støbeskel. Det skal sikres, at folien/presenningen ligger tæt til betonen, vindkanaler undgås. Der skal sikres en overlappning på mindst 20-30 cm.

Specielt ved kanter og overlapninger skal tildækningen sikres mod at blæse af. Plastfolien skal være smidig og rivefast.

Presenninger kan anvendes mange gange og er p.g.a. deres vægt nemme at få til at ligge tæt til betonen.

Måtter af skumplast/vintermåtter er isoleringsmåtter, der giver mulighed for at udføre isolering af konstruktionen. Hvis måtterne har en lukket struktur, som hindrer vandtransport, eller er pakket ind i plastik, kan de direkte udnyttes til udtøringsbeskyttelse.

Metoden anvendes såvel på byggeplads som på elementfabrik.

3.5.3 Fordele

- Fleksibel metode i forhold til udførelse af tilstødende konstruktioner.
- Genanvendelse af presenninger og isoleringsmåtter.
- Efterfølgende overfladebehandling uden gener.
- Minimal vedligeholdelse.
- Plastfolie giver ikke så let aftryk i den friske beton.
- Arbejdsmiljø.

3.5.4 Ulemper

- Uegnet på dækundersider.
- Risiko for kondensskjolder.
- Vindtunneler.
- Mærker i frisk beton (presenninger).

3.5.5 Kvalitetsstyring

- Gennemregning og planlægning af proces.
- Afdækning skal ligge tæt til overfladen og være fastholdt overalt.
- Overlapninger skal være min. 20-30 cm.
- Tildækning udføres rettidigt og vedligeholdes, til krævet modenhed er opnået.
- Tildækning skal være intakt.

3.6 Flydende forseglingsmidler

3.6.1 Definition

Fordampning fra betonens overflade nedsættes ved påsprøjtning af et forseglingsmiddel (curing membran).

Et forseglingsmiddel er en væske, hvori der er opløst eller emulgeret organiske forbindelser der kan danne en fugtbremsende hinde på betonoverfladen.

Generelt skelnes der mellem om væsken er vand, eller om der er tale om et organisk opløsningsmiddel (xylen, alkohol, terpentiner eller lignende). Dette skal fremgå af brugsanvisningens MAL-kode, som redegør for de arbejdssikkerhedsmæssige forholdsregler.

De aktive (filmdannende) komponenter er for de vandbaserede produkters vedkommende sædvanligvis emulsioner af voks, polyglykol, acryl o.l., mens de for de opløsningsmiddelbaserede kan være klorkautsjuk, harpiks, acrylat m.v.

Den forseglende virkning fremkommer ved, at vandet/opløsningsmidlet fordampes, hvorved de aktive komponenter danner en sammenhængende hinde, hvis tæthed er afgørende for virkningen.

BBB stiller krav til effektiviteten af disse produkter, idet de skal være i stand til at reducere vandtabet med mindst 75% i forhold til tabet fra en ubehandlet overflade ifølge prøvningsmetoden TI-B 31 [8].

3.6.2 Udførelse

Forseglingsmidler anvendes primært til beskyttelse af frisk beton, men anvendes også efter afformning. Midlerne påsprøjtes i et ensartet lag på den friske betonoverflade, når den er mattør. Hvor stor en værdi forseglingsmidler har ved påføring på hærdnet beton er usikkert, iflg. litt. 10 er fundet effektiviteter på 15-30%.

Ved påsprøjtning skal leverandørens anvisninger følges m.h.t. dosering, sprøjteudstyr, temperaturforhold m.v.. Der skal hvis betonoverfladerne er ujævne eller kostede tages hensyn til at overfladearealet kan være op til 30% højere end det teoretiske "flade" areal, endvidere kan midlet samle sig i fordybninger.

Erfaringen viser at det på lodrette flader er vanskeligt at påføre de foreskrevne mængder så påføring i flere omgange kan være nødvendigt.

Af miljøhensyn vil vandbaserede produkter være mest velegnede. Vandbaserede voksemulsioner giver ofte en effektivitet i området 70-90 %, men er samtidig meget svære at fjerne igen.

Flere af de opløsningsmiddelholdige produkter yder en god effektivitet, 80-90 %, og vil i flere tilfælde være nemmere at fjerne igen før en evt. overfladebehandling. Det er vigtigt at overholde de miljømæssige forskrifter.

Mange forseglingsmidler er tilsat et flygtigt farvestof, så man visuelt kan sikre sig mod "helligdage".

Metoden anvendes såvel på byggeplads som på elementfabrik. Specielt ved glidestøbninger kan metoden med fordel anvendes.

Forseglingsmidler kan ikke anvendes hvor der efterfølgende skal påstøbes, eller hvor der skal overfladebehandles.

3.6.3 Fordele

- Billig metode.
- Ingen ulemper ved udførelse af tilstødende konstruktioner.
- Arbejdsmæssig let metode - ingen vedligeholdelse.

3.6.4 Ulemper

- Doseringskontrol ineffektiv.
- Forseglingsmidlet giver ulemper ved evt. overfladebehandling og vedhæfningsproblemer i støbeskel.
- Problem med rettidig påføring ved større gulve.
- Æstetiske problemer.
- Effektivitet på afforskallet (hærdnet) beton tvivlsom.
- Påføring af forseglingsmidler kræver +^oC.
- Overfladen skal være færdigbearbejdet før forseglingsmiddel påføres.
- Vind giver ujævn påføring.
- Eventuel arbejdsmiljømæssige problemer.

3.6.5 Kvalitetsstyring

- Virkningsgrad dokumenteres (dokumentation og/eller prøvestøbning).
- Ingen "helligdage" (visuel kontrol af farveskift).
- Kontrol af gennemsnitsforbrug ved vejning.
- Kontrol af sprøjteudstyr.

3.7 Andre metoder

3.7.1 Polymerer

Polymerer finder stadig større anvendelse som tilsætning til beton. Da disse materialer i nogen grad kan sammenlignes med f.eks. forseglingsmidler, kunne en nærliggende tanke være at gøre betonen selvforsegrende ved tilsætning af polymerer. Hvorvidt dette er en mulighed, er endnu ikke afklaret.

3.7.2 Ingen konstruktiv beskyttelse - udnyttelse af BBB

Med mindre andet eftervises at være forsvarligt, skal udtørningsbeskyttelse være etableret, inden der er fordampet en vandmængde fra overfladen, som angivet i BBB skema 8.

Disse mængder svarer til en beton-lagtykkelse større end eller lig med 0.2 m. For tykkelser mindre end 0.2 m skal vandmængderne reduceres proportionalt med den mindre tykkelse.

I nødvendigt omfang skal beskyttelse etableres midlertidigt inden afretning foretages. Hvis der ikke fremlægges dokumentation for vandtabet, skal betonen beskyttes mod udtørring senest som angivet i BBB skema 9, se desuden eksempel i bilag 2.

Selvom ovennævnte regler overholdes, kan der opstå ulemper i forbindelse med overfladens bearbejdning. Eksempelvis kan en beton med lavt v/c-forhold samt indhold af tilsætningsstoffer være vanskelig at få tæt i overfladen når overfladen er tørret ud, mens betonen nedenunder er bearbejdelig/blød.

Krav til væggtab kan være overholdt, men overfladen er tørret mere ud end underbetonen. Sådanne forhold stiller særlige krav til omhyggelig efterbehandling.

3.7.3 Vakuumpremering

Metoden er ikke en efterbehandlingsmetode, men kan udnyttes til at fremskynde den videre bearbejdning af betonen, se [9]. Vakuumpremering udnyttes til at fjerne overskudsvand, og har til formål at reducere v/c-forholdet eller at fjerne bleedingvandet fra den friske betonoverflade, så udtørningsbeskyttelse og bearbejdning af overfladen kan iværksættes hurtigere. Vand fjernet fra den friske beton ved vakuumpremering skal ikke medregnes i vandmængderne angivet i BBB's skema 8.

Ved vakuumpremering presses vandet ud af betonen, idet betonen påføres et vakuum igennem et filter (tæppe) på betonoverfladen. Vakuumpremering kan ændre betonens luftporestruktur.

Metoden udføres i felter på den frie overflade med passende overlappning felterne imellem.

Litteratur

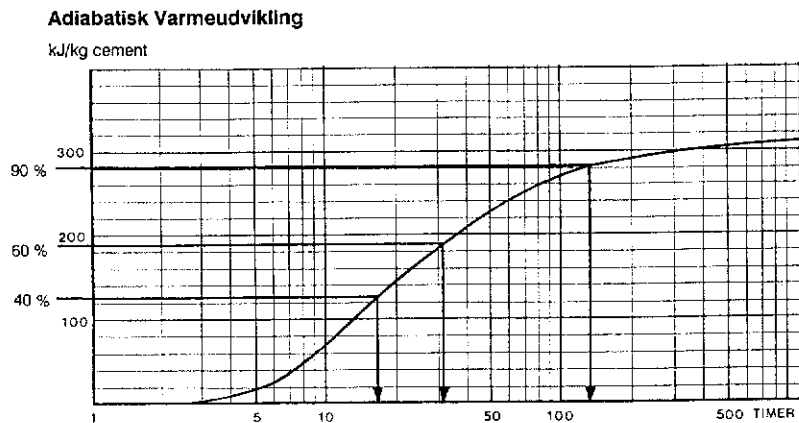
- [1] Freiesleben Hansen, P.: "Hærdeteknologi - 1. Portlandcement", Aalborg Portland / BKF-Centralen, 1978
- [2] Kronholm, F. og Olesen, S. Ø. : "Fugttabsbeskyttelse af hærdnende beton" Rapport nr. 6609. BKI 1989
- [3] "Basisbetonbeskrivelsen for bygningskonstruktioner af maj 1986 - Ændret december 1986", Publikation nr. 89, Byggestyrelsen, marts 1987
- [4] Nepper-Christensen, P.: "Plastisk svind", Beton-Teknik, 3/05/1975
- [5] Rasmussen, T. H.: "Efterbehandling af beton", Beton-Teknik, 6/14/1988
- [6] "Portlandcementer", Beton-Teknik, 1/01/1986, rev. udg.
- [7] Freiesleben Hansen, P. og Pedersen, E. J. : "Vinterstøbning af beton", Hørsholm, Statens Byggeforskningsinstitut, SBI-anvisning 125, 1986
- [8] "Måling af betonforseglingsmidlers virkningsgrad", TI-B prøvningsmetode TI-B 31, Teknologisk Institut, Byggeteknik 1986
- [9] Puckman, K.: "Vakuumbeton", Beton-Teknik, 6/06/1977
- [10] Aaquist, E. og Junker, H.: "Evaluering af forseglingsmidlers effektivitet. Et afgangprojekt fra AUC", Dansk Beton, 4(1987):2, p. 10-17
- [11] Concrete-Performance, production, placing and compliance criteria, ENV 206. European Committee for standardization, CEN. Feb. 1989
- [12] "Udtørring af frisk beton", BKI murstensblad 12/78
- [13] "Redegørelse vedr. Basisbetonbeskrivelsen for bygningskonstruktioner", Akademiet for de Tekniske Videnskaber, maj 1986

Bilag 1

Eksempel fra planlægningsfasen

I BBB og ENV 206 angives krav til varigheder for opretholdelse af udtøringsbeskyttelse. Baggrunden for fastsættelse af BBB's krav er et antal modenhedstimer, der modsvarer en reaktionsgrad. For miljøklasserne modsvarer 15 modenhedstimer (passivt miljø), en reaktionsgrad på 40%, 36 modenhedstimer (moderat miljø) modsvarer en reaktionsgrad på 60%, og 120 modenhedstimer (aggressivt miljø) svarer til en reaktionsgrad på 90%.

Af figur 1.1 ses at 90%, 60% og 40%'s reaktionsgrad for en almindelig hærdnende Portlandcement ca. modsvarer de angivne modenheder på h.h.v. 120, 36 og 15 timer.



Figur 1.1 Varmeudviklingsforløb for beton med PC(A/HS/EA/G)

Bestemmelsen af en aktual betonblandings varmeudvikling ved adiabatisk kalorimetri, kan ofte udnyttes til en reduktion af kravet til varigheden af udtøringsbeskyttelse, når reaktionsgrad sammenholdes med miljøklasse og aktual varmeudvikling.

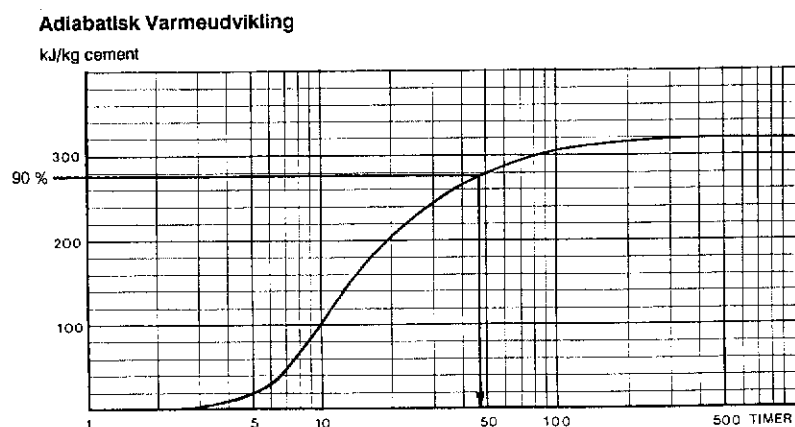
Eksempel;

Normalt udføres facadeelementer til anvendelse i moderat miljøklasse, men i eksemplet er der tale om facadeelementer der udsættes for havgus og frost hvorfor miljøklassen er foreskrevet til aggressiv miljø.

For beton sandwich facadeelementer til anvendelse i særligt udsat miljø kræves udtøringsbeskyttelse svarende til BBB's krav for aggressiv miljøklasse, dvs. i 120 modenhedstimer eller indtil reaktionsgraden 90% er opnået.

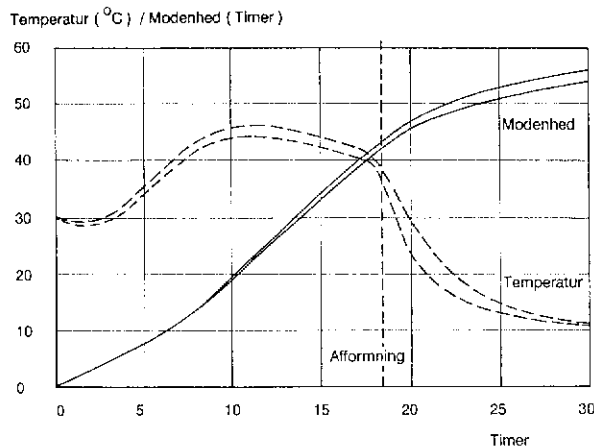
Et krav om opretholdelse af udtøringsbeskyttelse i 120 modenhedstimer kan ikke opnås ved normal støbecyklus på 1 døgn's hærdetid i form. Det vil være påkrævet, at der iværksættes ekstraordinære foranstaltninger efter afformning.

Fra bestemmelse af betonens varmeudvikling ses i figur 1.2, at 90% reaktionsgrad er opnået efter ca. 48 modenhedstimer.



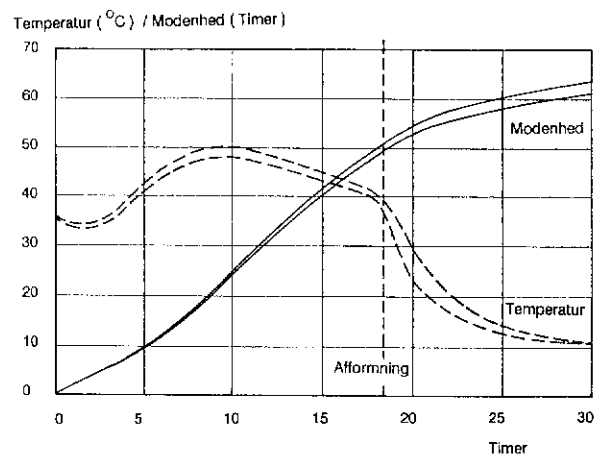
Figur 1.2 Varmeudviklingsforløb for beton med PC(R/IS/MA/G)

En beregning af hærdecyklus for at opnå 48 modenhetstimer før afformning og samtidig overholdelse af krav til temperaturdifferens fremgår af figur 1.3 og figur 1.4, hvor hærdetid i formen er 18 timer.

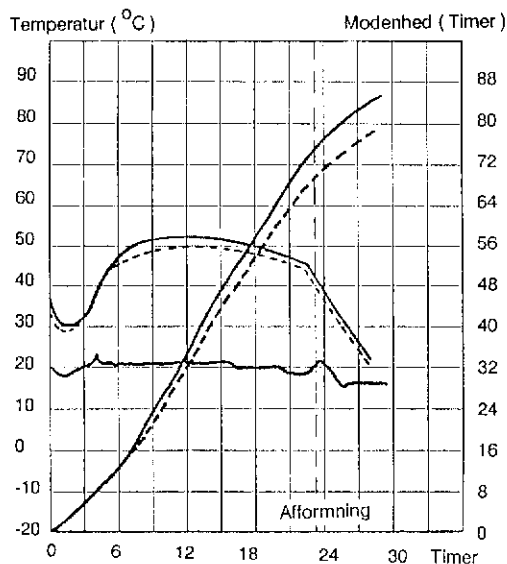


Figur 1.3 Simulering af temperatur- og modenhedsudvikling
Udstøbningsstemperatur 30 °C.

Det er altså muligt at opfylde BBB's krav til varighed af udtørningsbeskyttelse inden for en støbecyklus på 1 døgn idet 90% reaktionsgrad er opfyldt ved 48 modenhetstimer. Der er derfor ikke behov for yderligere foranstaltninger.



Figur 1.4 Simulering af temperatur- og modenhedsudvikling
Udstøbningsstemperatur 35 °C.



Figur 1.5 Målt temperaturforløb og modenhedsudvikling
Udstøbningsstemperatur 35 °C.

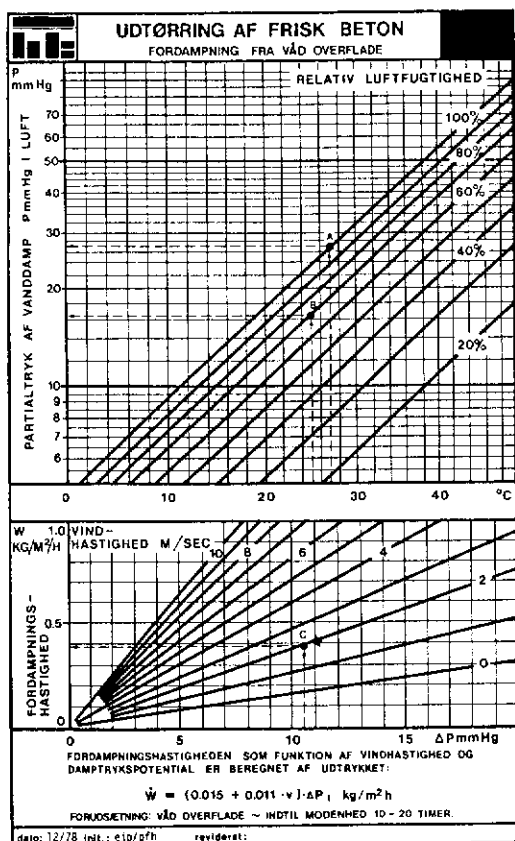
Det fremgår af figur 1.3 og figur 1.4, at med en udstøbningsstemperatur på 35 °C kan man forvente at have opnået ca. 50 modenhetstimer efter 18 hærdetimer mens der ved en udstøbningsstemperatur på 30 °C kun opnås en modenhet på ca. 42 timer.

En efterfølgende kontrol af hærdeforløbet afbildet i figur 1.5, viser, at ved 18 hærdetimer og med en udstøbningsstemperatur på ca. 35 °C opnås en modenhet på ca. 54 timer; altså er der overensstemmelse mellem beregningen og den gennemførte hærdeproces.

Bilag 2

Eksempel på udnyttelse af BBB skema 8

Til vurdering af fordampning fra en våd betonoverflade kan benyttes nedenfor viste nomogram. Med kendskab til beton- og lufttemperatur samt luften relativefugtighed er det muligt at beregne fordampningshastigheden fra den betonoverfladen.



Eksempel:

En nyudstøbt udendørs betonkonstruktion med tykkelsen 200 mm, våd overflade og med temperatur 27 °C, lufttemperatur 25 °C, relativ luftfugtighed 70%, vindhastighed 2 m/sek.

Det forudsættes, at luftfugtigheden ved betonoverfladen er 100%.

Vanddamptrykket ved betonoverfladen aflæses i det øverste nomogram til 27 mm Hg, medens luftens vanddamptryk findes til 16,5 mm Hg.

Det drivende damptryk er altså $27 - 16,5 = 10,5$ mm Hg.

I det nederste nomogram aflæses nu, for et drivende damptryk på 10,5 mm Hg og en vindhastighed på 2 m/sek, en fordampningshastighed på ca. 0,4 kg vand/time/m². Se iverigt afsnit 3.1 - klimastyring.

Figur 2.1 Nomogram til vurdering af fordampning fra våd betonoverflade. Nomogrammet er udarbejdet af Beton- og Konstruktionsinstituttet.

Med denne information kan kravene i BBB skema 8 konverteres til ækvivalente tidskrav. Et vandtab på f.eks. 3 kg/m² vil altså svare til ca. 7,5 time.

Bilag 3

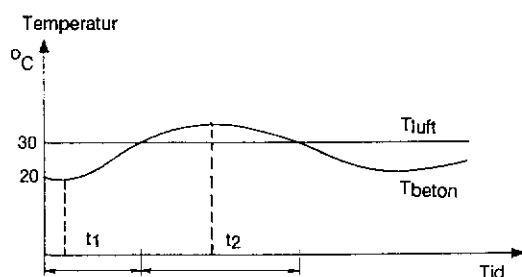
Eksempel på fordampning/kondensation

Ved industriel fremstilling af betonprodukter anvendes ofte hærdekammer med høj temperatur og høj relativ fugtighed. Hvis betonens temperatur er under luftens dugpunktstemperatur, vil der ske kondensation på betonoverfladen. Kondenseringen bevirker, at betonen tilføres fugt og varme.

Senere i hærdeforløbet vil også cementens hydratiseringsvarme bidrage til en opvarmning af betonen, og på et tidspunkt overstiger betonens temperatur luftens dugpunktstemperatur. Der vil derfor istedet ske en fordampning fra betonoverfladen. I modsætning til kondensering bevirker fordampningen, at der fjernes energi fra betonen, og fordampningen vil derfor virke afkølede på betonen.

Til vurdering af disse forhold kan nomogrammet i figur 2.1 i bilag 2 anvendes.

I det følgende betragtes et betonelement, der udstøbes ved 20 °C og derefter placeres utildækket i et hærdekammer ved 30 °C og 90 % relativ fugtighed.



Figur 3.1 Principielt temperaturforløb i hærdekammer

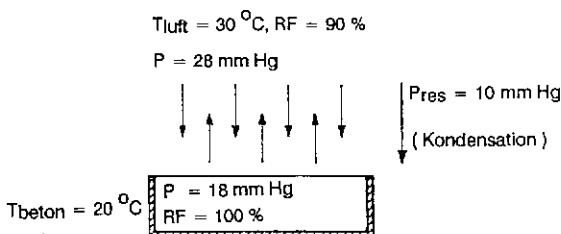
Figur 3.1 skitserer temperaturforløbet under hærdeforløbet.

Figur 3.2 viser, at der i begyndelsen vil være en resulterende damptryksforskel rettet ned mod betonoverfladen, hvilket betyder at der kondenseres vand på betonoverfladen, som derved opvarmes

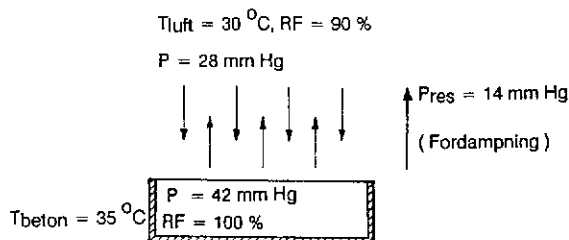
Tilsvarende fremgår det af figur 3.3, at damptrykket på et senere tidspunkt vil være rettet væk fra overfladen, hvilket betyder at der nu sker fordampning fra betonoverfladen og dermed afkøling af denne.

Da betontemperaturen vil variere, kan nomogrammet ikke umiddelbart benyttes til at analysere forholdene. Metoden beskrevet i [2] tager højde for vekselvirkningen mellem fugt og varme.

Dokumentation kan ske ved kontrolvejning af prøvemnerne, som placeres i hærdekamret.



Figur 3.2 Damptryk til tidspunkt t_1 , jf. figur 3.1

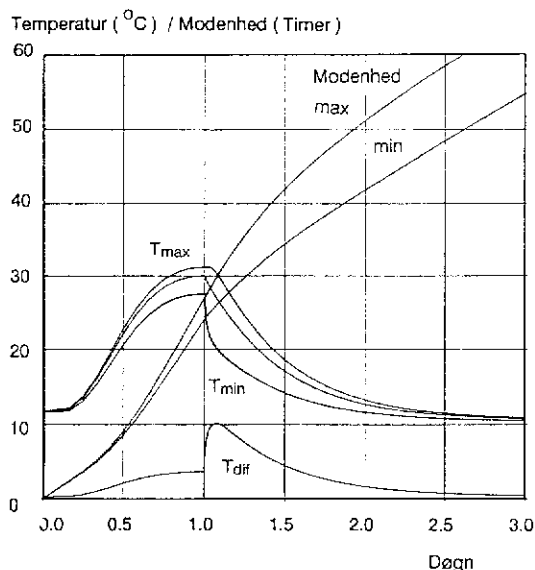


Figur 3.3 Damptryk til tidspunkt t_2 jf. figur 3.1

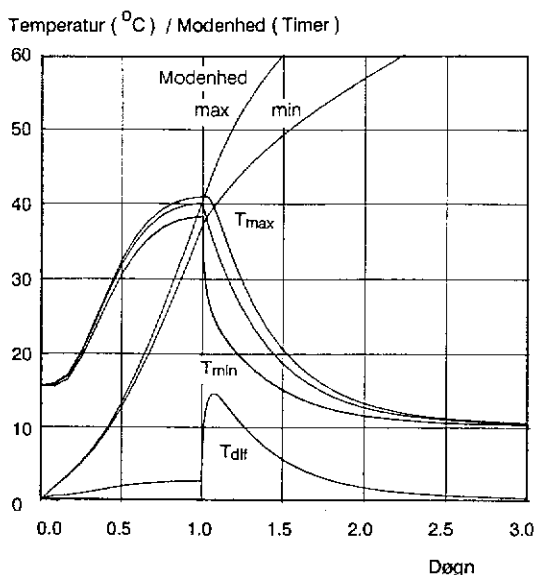
Bilag 4

Eksempel på overvejelser vedrørende efterbehandling.

Ved støbning af en 40 cm tyk væg ønskes varigheden af fugttabsbeskyttelsen vurderet. Entreprenøren ønsker at afforme efter 1 døgn af hensyn til genanvendelsen af formen.



Figur 4.1 Simulering af temperaturforløb og modenhedsudvikling. Betonens udstøbningsstemperatur er 12 °C og usuleret form



Figur 4.2 Simulering af temperaturforløb og modenhedsudvikling. Betonens udstøbningsstemperatur er 16 °C og isoleret form.

Forudsætningerne er som følger:

Miljøklasse: Moderat
 Cementindhold: 290 kg Rapid-Cement pr. m³ beton
 v/c-tal: 0.52
 Udstøbnings-temp.: 12 °C
 Formmateriale: 19 mm finer
 Lufttemp.: 10 °C
 Vindhastighed: 5 m/sek

I henhold til BBB's skema 10 vil tidligste tidspunkt for fjernelse af udtørningsbeskyttelsen være 36 modenhedstimer. En forudgående temperatursimulering har indikeret et forventet hærdeforløb som vist i fig. 4.1. Det fremgår heraf, at modenheden i overfladen efter 1 døgn vil være ca. 20 modenhedstimer.

Entreprenøren har flere alternativer at vælge mellem for at sikre modenhedskravet på 36 timer overholdt.

Alternativ 1

Han kan vælge at foretage en efterfølgende afdækning med presenning eller lignende.

Alternativ 2

Han kan vælge at investere i en ekstra form og forlænge formtiden til 2 døgn.

Alternativ 3

Han kan vælge en beton med et v/c-tal = 0.45. Modenhedskravet reduceres herved til 24 timer, jf. BBB hvilket, vil kunne opnås efter 1 døgn.

Alternativ 4

Han kan f.eks. foretage en ekstra isolering af formen med 10 mm polystyrenplader og anvende en varmere beton med udstøbningsstemperatur 16 °C. Hermed vil 36 modenhedstimer kunne opnås i løbet af 1 døgn, jf. figur 4.2

Det endelige valg vil bero på en samlet vurdering af økonomien og de praktiske/tekniske fordele og ulemper ved de 4 alternativer.

Bilag 5

Krav i den europæiske norm

Den foreløbige europæiske norm, ENV 206, som forventes at blive et fælles europæisk normgrundlag, afspejler reglerne i de lande, som i forvejen har krav til efterbehandling.

ENV 206 foreskriver, at efterbehandlingen iværksættes så "hurtigt som muligt". Denne formulering er ikke entydig, idet det mulige vil bero på et subjektivt skøn.

Under nogle forhold vil BBB's krav imidlertid kunne medføre praktiske problemer med at opfylde kravene.

ENV 206 omtaler i øvrigt de samme efterbehandlingsmetoder, som kendes i Danmark, og med hensyn til varighed er kravene anført i tabel 5.1. Alternativt kan varigheden dog baseres på en vurdering af modenhed og hydratiseringsgrad i den aktuelle situation, eller som det er formuleret "in accordance with local requirements". Der er altså åbnet mulighed for fortsat at benytte de nationale krav. Tabel 5.1 gælder for anvendelser svarende til moderat miljøklasse, og der er for aggressiv miljøklasse blot anført, at tiderne skal øges "betydeligt".

Der er i tabel 5.1 indført en parameter, som beskriver betonens styrkeudvikling som værende hurtig, middel eller langsom. Denne parameter afhænger af v/c-forholdet og cementtypen, jf. tabel 5.2. BBB tager alene hensyn til v/c-forholdet. Herudover er der i ENV 206 indført en klassificering af klimaforholdene under udførelsen. Denne inddeling er sket med hensyntagen til vind, luftfugtighed og solforhold.

Indirekte tager BBB redegørelsen højde for disse forhold med hensyn til varighed af efterbehandlingen.

Modenheden indgår ikke direkte i tabel 5.1, idet der i stedet er valgt at benytte betontemperaturen som parameter.

En af årsagerne til, at modenhedsbegrebet ikke er indført i tabel 5.1, er sandsynligvis, at man benytter forskellige modenhedsfunktioner i de respektive lande.

	Betons styrkeudvikling	Betons styrkeudvikling								
		Hurtig			Middel			Langsom		
Klimaforhold under hærdningen	Betons middeltemperatur	5	10	15	5	10	15	5	10	15
Ingen direkte sol, relativ luftfugtighed mindst 80%		2	2	1	3	3	2	3	3	2
Middel sol eller middel vind eller mindst 50% relativ luftfugtighed		4	3	2	6	4	3	8	5	4
Stærk sol eller kraftig vind eller højst 50% relativ fugtighed		4	3	2	8	6	5	10	8	5

Tabel 5.1 Krav til varighed af udtøringsbeskyttelse i.h.t. ENV 206. [5]

Fastlæggelse af betonens styrkeudvikling ifølge ENV 206, se tabel 5.2. Cementbetegnelserne refererer til den europæiske norm EN 197, version fra marts 1987. Rapid-Cement, Standard-Cement, Lavalkali Sulfatbestandig-cement samt Hvid Portland-Cement er alle styrkeklasse 42.5 R.

ENV 206 og Basisbetonbeskrivelsens krav samt de krav, man i øvrigt møder i forbindelse med efterbehandling, afspejler bestræbelser på at formulere operationelle krav indenfor et område, som er meget kompliceret.

Betons styrkeudvikling	v/c-forhold	Styrkeklasse
Hurtig	< 0,5	CEI 42.5 R
	0,5-0,6	CEI 42.5 R
Middel	< 0,5	CEI 42.5; CEII 32.5 R CEII-IV 42.5 R
		Alle andre tilfælde
Langsom		

Tabel 5.2 Karakterisering af betons styrkeudvikling i.h.t. ENV 206. Cementbetegnelserne refererer til EN 197. [5]

DBF-publ.

Nr. 4:77 "The Role of Ready mixed Concrete in constr.indust"	Kr. 15,-
" 6:77 "Seminar om BRUDMEKANIK" Afh. 29.sept. 1977	" 60,-
" 2:78 "Flydebeton" af B. Hysten og H.H. Bache	" 20,-
" 3:78 "Dansk Betondag 1978"	" 20,-
" 4:78 "Prøvningsmetoder for beton" Møde 1.3.78	" 40,-
" 5:78 "Beton i svømmebade"(Anders Nielsen&Sv.E.Petersen)	" 30,-
" 6:79 "Betonuddannelserne i Danmark" (C de Fontenay)	" 0,-
" 7:79 "Dansk Betondag 1979"	" 55,-
" 8:79 "Nedbrydn.af beton & svingn.påvirkn.af bygværker"	" 35,-
" 9:80 "Farø broerne" Møde 3.10.1979	" 45,-
" 11:81 "Brandpåvirkede betonkonstruktioner" Møde 21.1.81	" 35,-
" 12:81 "Tilsætningsstoffertil beton" Datablad II.udg.81	" 30,-
" 14:81 "Luftindblanding i beton" Debatmøde 26.11.1980	" 25,-
" 15:82 "Plastificering af beton" Møde 30.9.81	" 35,-
" 17:83 "Holdbare svømmebassiner" (Sv. E. Petersen)	" 45,-
" 18:83 "Dansk Betondag 1983"	" 70,-
" 19:83 "Proportionering af holdbar beton"	" 60,-
" 20:84 "Demolering og genbrug af beton"	" 45,-
" 21:84 "Dansk Betondag 1984"	" 45,-
" 22:85 "Beton og frost" Nordisk Workshop okt. 1984	" 95,-
" 23:85 "Dansk Betondag 1985"	" 50,-
" 24:85 "Betonelementer - Europæisk udvikl" Møde 18.10.85	" 60,-
" 25:85 "In-situ ikke-destruktiv prøvning" Møde 6.11.1985	" 55,-
" 26:86 "Dansk Betondag 1986"	" 50,-
" 27:86 "Chlorider i armeret beton" Møde 11.12.86	" 55,-
" 28:86 "Luftporestruktur" Møde 22.1.86	" 70,-
" 29:87 "Dårlig beton - hvad nu?" Møde 18+25.3.87	" 70,-
" 30:87 "Store bro- og tunnelprojekter" Møde 26.11.86	" 60,-
" 31:87 "Dansk Betondag 1987"	" 55,-
" 32:88 "Dansk Betondag 1988"	" 60,-
" 33:89 "Dansk Betondag 1989"	" 40,-
" 34:89 "Anvisning for genanvendelsesmaterialer i beton til passiv miljøklasse"	" 30,-
Uden nr. Kontroljournaler 1988 - Blanketter m/vejledn.	" 75,-

Denne samt de ovenfor nævnte publikationer kan fås ved skriftlig henvendelse til:

**Dansk Ingeniørforening
Møderegistreringen
Vester Farimagsgade 29
1606 København V**

Da vore publikationer sælges til kostpris, er prisen for denne endnu ikke fastlagt.

