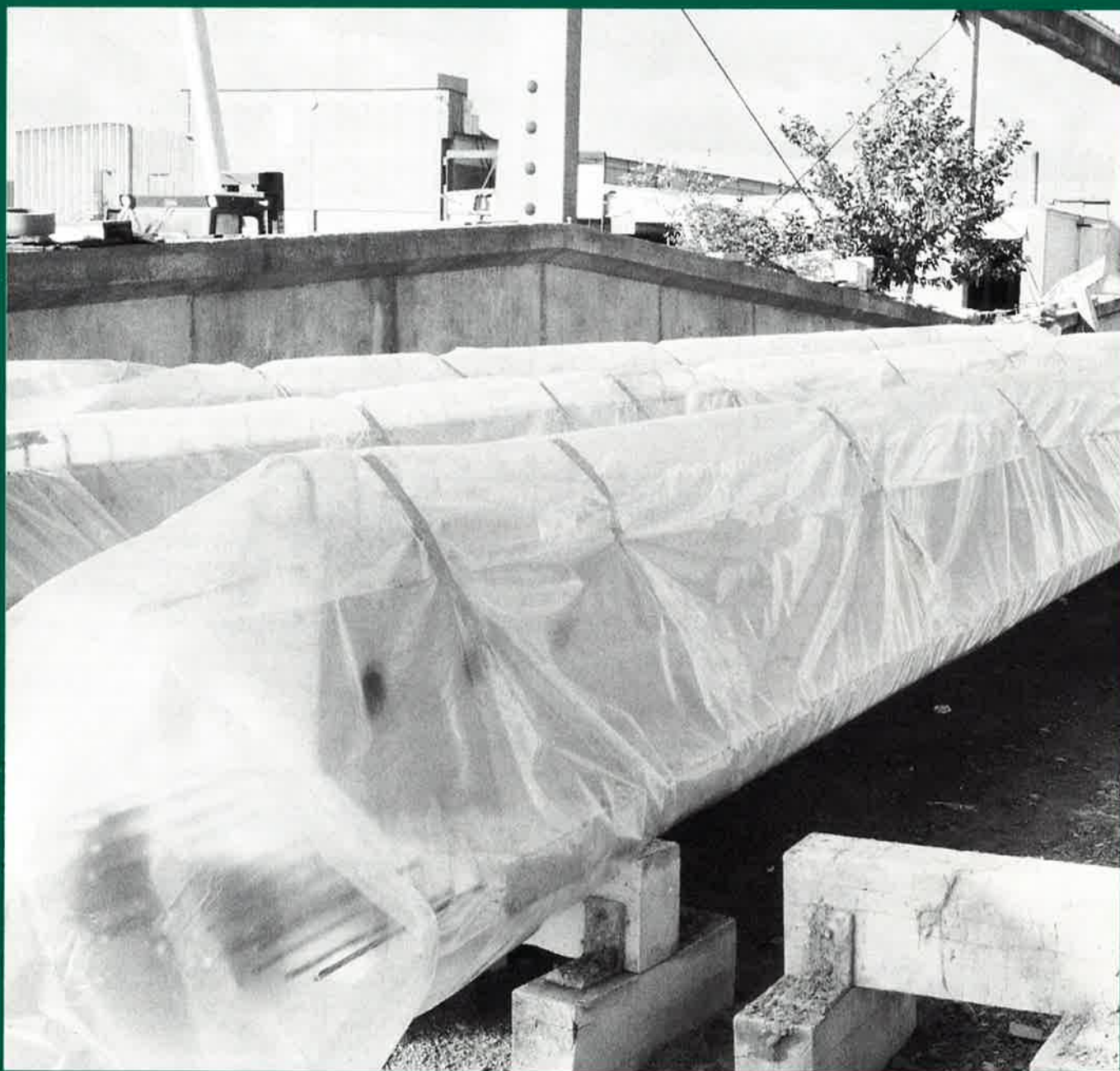


Efterbehandling af beton

Af Thorkild H. Rasmussen

Emneord: Efterbehandling, udtørring, tildækning, plast, forseglingsmiddel, vandlagring, effektivitet, modenhed, betonkvalitet.

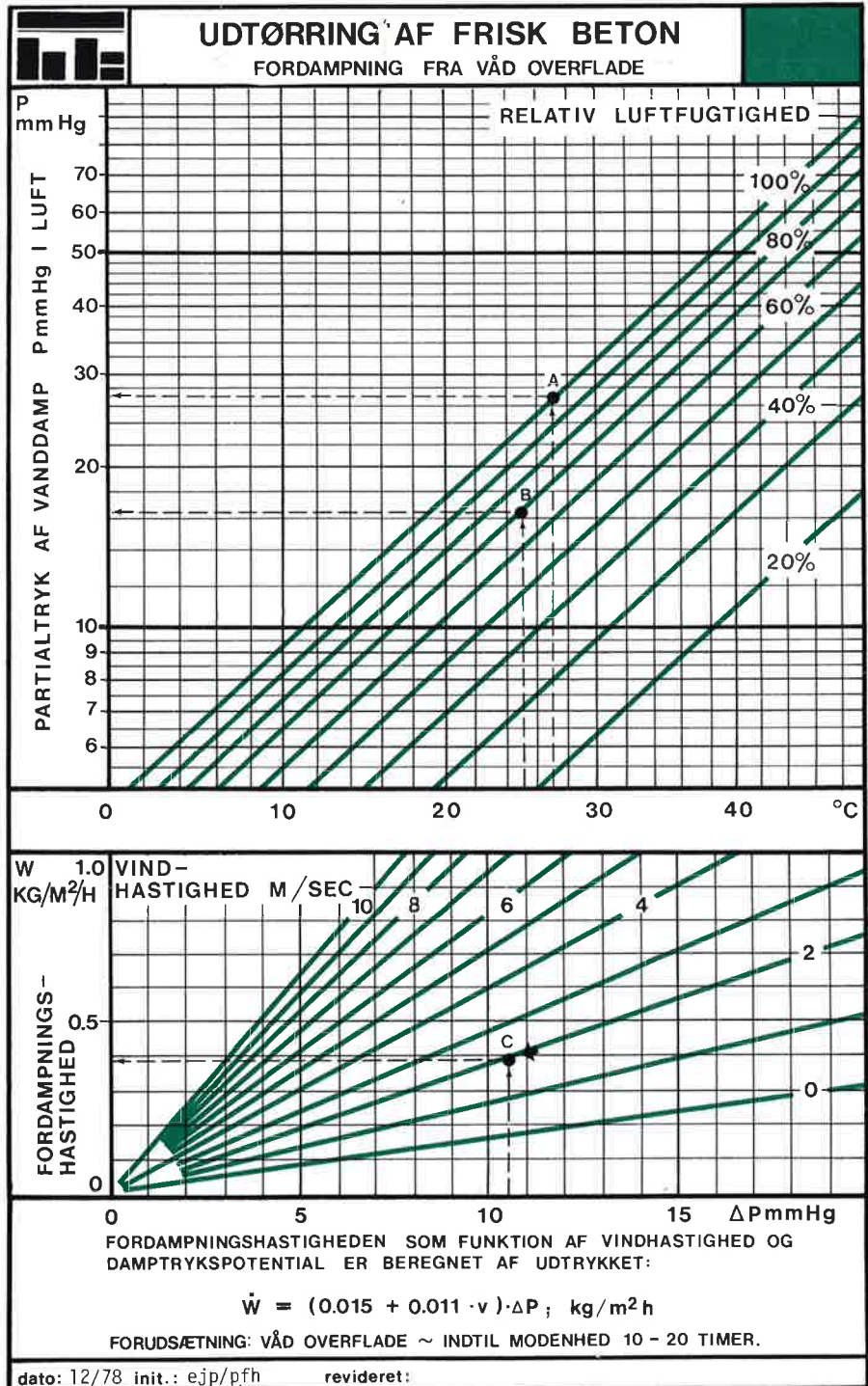


Betonkvaliteten i den færdige konstruktion afhænger af en række faktorer, herunder de hærdningsforhold, som betonen udsættes for under og efter udstøbningen. Dette forhold har været om ikke afklaret så dog erkendt siden portlandcemen-ten vandt sin udbredelse i slutningen af det forrige århundrede. Til trods herfor har efterbehandling ofte været en del af betonarbejdet, som er blevet overset. På denne baggrund blev der i oktober 1986 nedsat en arbejdsgruppe under Dansk Betonforening. Arbejdsgruppens opgaver er bl.a. at danne sig et overblik over forholdene, og i denne forbindelse udarbejde en statusrapport om efterbehandling. Arbejdsgruppens aktiviteter omfatter endvidere:

- udarbejdelse af en praktisk anvisning i efterbehandling,
- undersøgelse af forholdene i andre lande,
- motivering af institutter og studerende til at iværksætte projekter inden for de områder, som er mindst afklarede.

Denne publikation omhandler primært den fugtmæssige side af efterbehandlingen.

Temperaturforholdene er kun omtalt i den udstrækning, det er nødvendigt for at belyse deres betydning for fugtforholdene. Formålet med publikationen er dels at give en kortfattet baggrund for nødvendigheden af at beskytte mod udtørring og samtidig omtale de praktiske muligheder for at overholde de stillede krav.



Figur 1. Nomogram til vurdering af fordampningshastigheden fra våd betonoverflade. Udarbejdet af Beton- og Konstruktionsinstituttet.

Regler for efterbehandling i Danmark

Omgivelsernes øgede aggressivitet over for beton samt ønsket om hurtig afformning og ibrugtagning har gjort det endnu mere påkrævet at sikre den bedst mulige betonkvalitet, hvilket også indebærer, at betonen sikres gode hærdningsbetingelser.

Gode hærdningsbetingelser er i denne sammenhæng ensbetydende med, at betonen holdes fugtig, og at den ikke udsættes for uheldige temperaturpåvirkninger, dvs. for tidlig frysning, for store temperaturforskelle etc. DIF's norm for betonkonstruktioner DS 411 fra 1984 indeholder i vejledningsteksten følgende formulering:

»Frisk udstøbt beton tildækkes hurtigst muligt. Indeholder betonen flyveaske eller mikrosilica, er en hurtig og omhyggelig tildækning især vigtig, da den reducerede bleedingtendens giver øget risiko for revner på grund af plastisk svind.

Beskyttelse mod udtørring er særlig væsentlig i de første 24 modenhedstimer (dvs. ækvivalent hærningstid ved 20°C).

I Basisbetonbeskrivelsen (BBB) fra 1986 er der sket en stramning, og reglerne er blevet mere specifikke, jf. tabel 1 og 2.

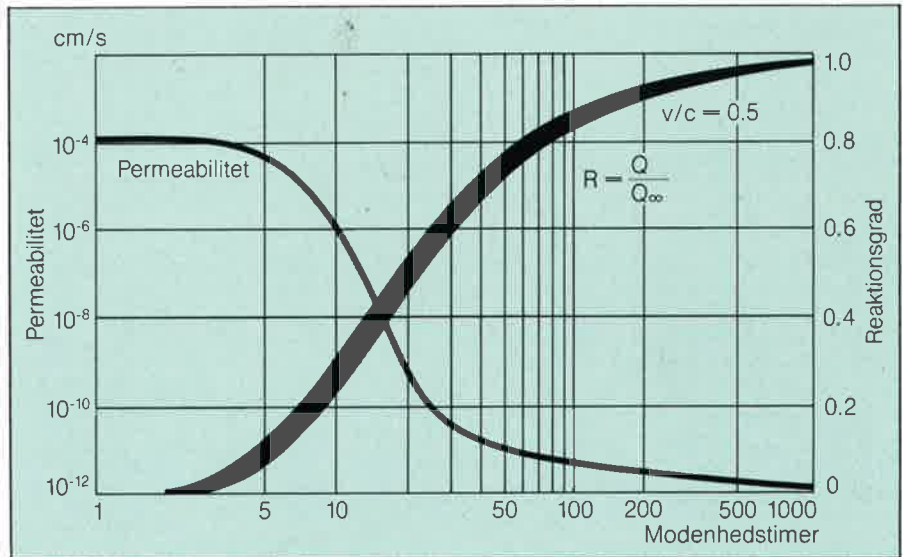
Disse krav skal primært sikre mod plastiske svindrevner, og der er ved udformningen søgt taget hensyn til flyveaske og mikrosilicas indflydelse på bleeding og plastisk svind. Hele problematikken omkring udtøringsbeskyttelsen lader sig dog næppe beskrive så enkelt, og kravværdierne må betragtes som resultatet af bestræbelser på at opstille specifikke krav indenfor et meget kompliceret område.

Der er i BBB endvidere stillet krav til varigheden af udtøringsbeskyttelsen, jf. tabel 3. Dette er gjort ud fra overvejelser om hydratiseringsgrad og permeabilitet, jf. figur 2. Formålet er at sikre en vis grad af tæthed, inden betonen udsættes for udtørring.

Et lavere v/c-forhold vil medføre en lavere permeabilitet for samme hydratiseringsgrad, hvilket er baggrunden for at kravet til varigheden kan reduceres, hvis der anvendes et lavere v/c-forhold.

Der er imidlertid ikke i tabel 3 taget højde for, hvilken cementtype, der anvendes, eller hvorvidt der anvendes flyveaske eller mikrosilica. Dette synes umiddelbart at være en relevant parameter, idet hurtig-hærdnende cementer typisk opnår 1 døgn styrker på 30-33% af 28 døgn styrken, hvorimod de almindelig hærdnende cementer tilsvarende opnår 1 døgn styrker på 20-25% af 28 døgn styrken.

Dette afspejler forskelle i hærdningsforløbet, hvilket må formodes at influere på permeabiliteten i de første døgn. Cementens varmeudvikling, jf. figur 3 kan f.eks. benyttes som et mål for hydratiseringsforløbet.



Figur 2. Reaktionsgrad baseret på varmeudviklingsforløbet. Permeabiliteten er beregnet på grundlag af T.C. Power's & T.L. Brownyard's arbejde i 1940'erne. Fra [2].

Betonens indhold, X, af FA+MS i vægt-% af C+FA+MS	Betonens indhold, Y, af MS i vægt-% af C+FA+MS	Max. fordampet vandmængde fra overflade
X > 15% 15% ≥ X > 5% 5% ≥ X	Y > 5% 5% ≥ Y > 0% Y = 0%	1,5 kg/m ² 3,0 kg/m ² 6,0 kg/m ²

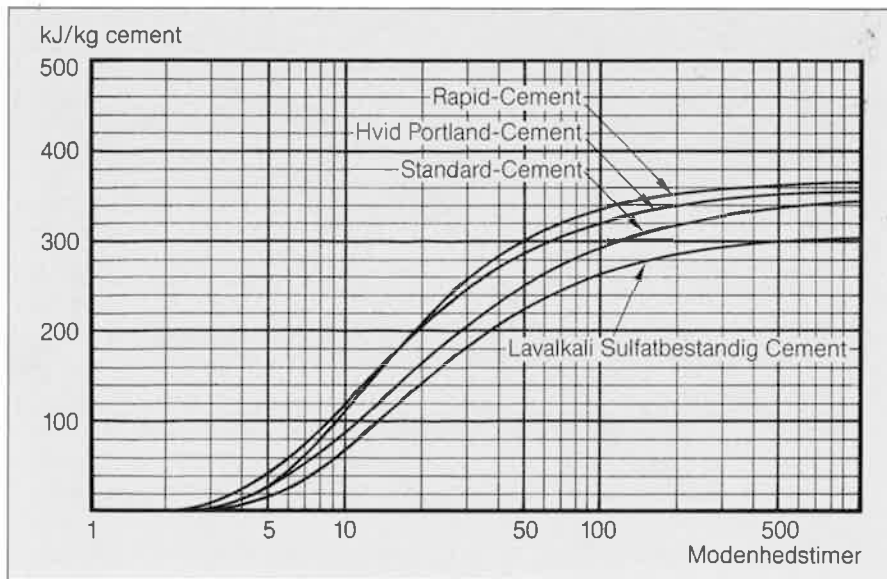
Tabel 1. Krav til max. vandfordampning før udtøringsbeskyttelse etableres, fra BBB [1]. Den fordampede vandmængde kan f.eks. vurderes ud fra figur 1.

Betonens indhold, X, af FA+MS i vægt-% af C+FA+MS	Betonens indhold, Y, af MS i vægt-% af C+FA+MS	Udendørs arbejder	Indendørs arbejder	
			Betontemp. ≥ 25°C	Betontemp. < 25°C
X > 15% 15% ≥ X > 5% 5% ≥ X	Y ≥ 5% 5% ≥ Y > 0% Y = 0%	1 time 2 timer 4 timer	1 time 2 timer 4 timer	2 timer 4 timer 8 timer

Tabel 2. Krav til seneste tidspunkt for etablering af udtøringsbeskyttelse, fra BBB [1].

	Betonens alder målt i modenhedstimer ved tidligste fjernelse af tildækning		
	Passiv miljøkl.	Moderat miljøkl.	Aggressiv miljøkl.
V/C > 0,55	15	—	—
0,55 ≥ V/C > 0,45	15	36	—
0,45 ≥ V/C > 0,40	12	24	120
0,40 ≥ V/C	12	24	96

Tabel 3. Tidligste tidspunkt for fjernelse af udtøringsbeskyttelse. Hvis afbindingen starter senere end 5 timer efter blanding øges de anførte modenhedskrav tilsvarende, fra BBB [1].



Figur 3. Varmeudviklingsforløb for de 4 danske cementtyper, fra [3].

Flyveaske og mikrosilica reagerer endnu langsommere og bidrager kun lidt til tæthed og styrke i de første døgn.

I Sverige skal beskyttelsen f.eks. opretholdes, til der er opnået 45% af den krævede styrke. Denne angrebsvinkel synes umiddelbart at være logisk, idet den tager højde for såvel v/c-forhold, cementtype, evt. puzzolaner samt hærdningstemperaturens indflydelse. Den vil dog sandsynligvis byde på visse praktiske problemer omkring dokumentationen heraf. Se i øvrigt herom i afsnittet om regler i andre lande.

Udtørningsbeskyttelsen kan ifølge BBB etableres ved:

- at lade formen sidde,
- tildækning med damptætte membraner (plastfolie, forseglingsmidler),
- opretholdelse af høj luftfugtighed,
- vådholdelse af betonoverfladen.

Forseglingsmidler skal have en dokumenteret effektivitet på mindst 75% efter TI-B 31.

I praksis vil der inden for det første døgn ofte kunne opnås en modenhed på 24 timer, men krav på 36, 96 og 120 timer vil ofte medføre forlænget formtid eller efterfølgende afdækning.

Udover DS 411 og BBB findes der inden for anlægsområdet mere detaljerede krav og beskrivelser. Et eksempel herpå er Vejdirektoratets Almindelige Arbejdsbeskrivelse (AAB) for betonbroer, som bl.a. foreskriver, at beskyttelse mod fordampning skal foregå indtil betonen har opnået en modenhed på 7 døgn.

Cement og vand (cementpasta) reagerer og danner bindemiddel (cementgel), som sammenkitter tilslagsmaterialerne i betonen.

Under forudsætning af, at der er tilstrækkeligt vand til stede i systemet, vil reaktionen forløbe, indtil cementen er reageret. For sædvanlige portlandcementtyper er »tilstrækkeligt vand« ensbetydende med 40-45 vægt-% vand i forhold til cementen ($v/c \approx 0,40-0,45$).

Ved reaktionerne bindes en del af denne vandmængde (ca. 26 vægt-%) kemisk i reaktionsprodukterne (cementgel), medens den resterende del (19 vægt-%) bindes fysisk på overfladerne af reaktionsprodukterne, samt i små porer. Dette vand kaldes gelvand. Ved sædvanlige temperaturer vil gelvandet ikke være tilgængeligt for yderligere reaktioner.

Forholdene afbildes ofte som vist i figur 4. Det ses heraf, at der ved v/c-forhold over 0,40 er et overskud af vand, som bevirker, at der selv ved fuld hydratisering optræder vandfyldte porer, som benævnes kapillarporer. Vandet i disse porer vil kunne afgives til omgivelserne ved fordampning, uden at det medfører kvalitetsforringelse.

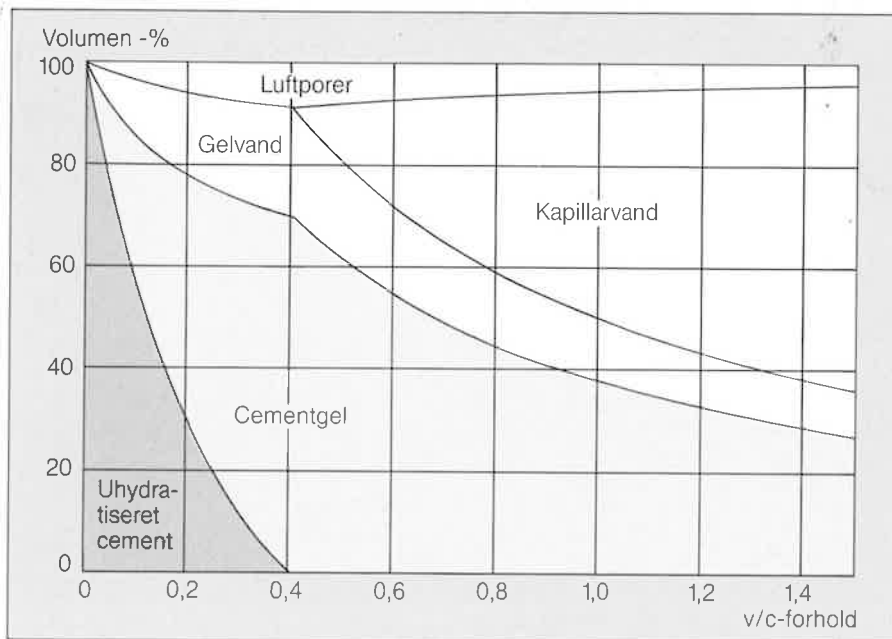
Ved høje v/c-forhold med vandoverskud vil der således være mulighed for et vist vandtab under hærdningen, uden at den endelige porøsitet ændres. Dette bør dog ikke udnyttes bevidst, men betragtes som en ekstra sikkerhed.

Ved et lavere v/c-forhold (f.eks. 0,35) er der ikke tilstrækkeligt vand for opnåelse af 100% omsætning af cementen. Ved dette v/c-forhold optræder der ingen kapillarporer, og porøsiteten, som alene findes i form af meget fine gelporer er mindre end ved højere v/c-forhold. Den mindre porøsitet (og de finere porer) er årsagen til v/c-forholdets betydning for styrke og tæthed.

Man møder lejlighedsvis den opfattelse, at det er uheldigt at fremstille beton med et »underskud« af vand. Dette er imidlertid en misforståelse, idet det primært er et spørgsmål om den endelige porøsitet i cementpastaen, medens det er af underordnet betydning, at cementen ikke er reageret 100%.

Når man arbejder med meget lave v/c-forhold skal man imidlertid være opmærksom på, at betonen vil være særlig følsom over for vandtab, idet der ikke er overskudsvand til stede i betonen. Selv et beskedent vandtab kan derfor medføre en væsentlig forringelse af kvaliteten i forhold til den kvalitet, som kunne være opnået under gunstige hærdningsbetingelser.

Muligheden for at tilføre vand til systemet er naturligvis også til stede og vil kunne udnyttes i visse situationer. Effekten vil være størst for systemer med underskud af



Figur 4. Skematisk gengivelse af volumenforholdene for hydratiseret cementpasta, fra [4].

vand, hvor det kan medføre en øget omsætningsgrad og dermed lavere porøsitet. Vandet vil blive suget ind i betonen af det undertryk, som opstår som en følge af det »kemiske svind«, som optræder fordi reaktionsprodukterne fylder mindre end reaktanterne (vand og cement).

I takt med hydratiseringen vil permeabiliteten mindskes, og vandtransporten vil derved besværliggøres og kun finde sted nær ved overfladen. Da det imidlertid er overfladen, som i første omgang skal modstå påvirkningerne fra de til tider aggressive omgivelser, er det væsentligt at opnå en forbedring af netop denne del af betonen. Der er derfor stor forskel på at hindre fordampning fra betonen og på at holde betonen våd.

I tilfælde, hvor man vælger at holde betonen våd, er det væsentligt, at der tages højde for eventuelle temperaturforskelle samt for risikoen for frysning af beton med høj vandmætningsgrad. Der må naturligvis heller ikke ske udvaskning af betonoverfladen ved for tidlig vanding.

Udtørring/fordampning

Efter udstøbning og komprimering af den friske beton, vil der under tyngdekraftens indvirkning ske en sedimentation, hvorved de tunge materialer (cement og tilslag) vil søge nedad. Der vil samtidig foregå en vandtransport mod overfladen, hvor der sædvanligvis vil dannes et tyndt lag af vand

(bleeding). En vis bleeding vil sædvanligvis være gunstig for betonen, men der vil i tilfælde af en uheldig betonsammensætning kunne transporteres finstof til overfladen, hvor der kan dannes et uønsket slamlag.

Vandfilmen på overfladen vil i en periode kunne beskytte den underliggende beton mod udtørring. Der er tale om en balance mellem den hastighed, hvormed vandet transporteres op til overfladen, og den hastighed, hvormed vandet fordampes fra overfladen.

Begge processer er komplicerede. For bleedingprocessens vedkommende har man alene en række kvalitative håndregler for, hvorledes forskellige parametre influerer på vandtransporten.

Øgede mængder og øget finhed af bindemidlet samt luftindblanding og lavere v/c-forhold er parametre, som vil reducere tendensen til bleeding, og dermed øge risikoen for plastisk svind.

Fordampningen er søgt beskrevet mere kvantitativt, jf. figur 1.

Figur 1 gælder så længe overfladen er våd, og kan bl.a. benyttes til at vurdere, om en given kombination af betontemperatur og klimatiske forhold vil kunne volde særlige problemer i retning af høj fordampningshastighed.

Betontemperaturen vil ikke være konstant gennem hele udtørringsforløbet, idet den vil påvirkes af lufttemperaturen, fordampningens varmeforbrug samt af cementens

varmeudvikling. Sidstnævnte faktor vil dog først bidrage efter ca. 6-8 modenhedsstimer, men vil derefter kunne påvirke overfladetemperaturen og damptrykket betydeligt, afhængig af de aktuelle forhold.

Plastisk svind/udtørrings-svind

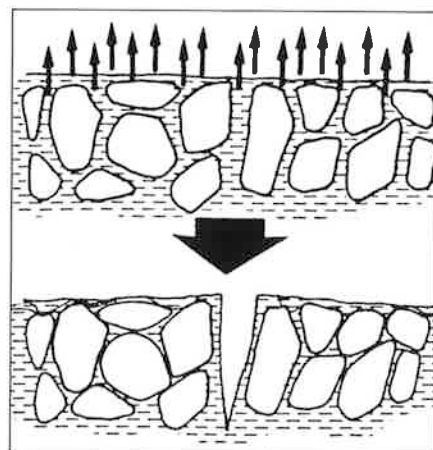
Udover den generelle materialeforringelse som følge af udtørringen, medfører udtørringen et svind i betonen. Der skelnes traditionelt mellem plastisk svind og udtørrings-svind, afhængig af om det optræder, medens betonen stadig er plastisk, eller når betonen er hærdnet. Hvis udtørringen i den plastiske fase bliver for kraftig, kan der opstå plastiske svindrevner. Disse revner vil sædvanligvis være relativt grove og tætliggende, og vil være karakteristiske ved, at de forløber uden om tilslaget.

Svindet opstår som følge af det undertryk, der dannes i betonens porevæske, når der ved udtørring dannes væskemenisker mellem partiklerne i overfladen, se f.eks. figur 5.

Et øget finstofindhold og øget finhed af bindemidlet vil, som nævnt, reducere bleedingen og derved øge tendensen til plastisk svind. Mikrosilica vil, i kraft af dets ekstreme finhed, virke særligt fremmende for plastisk svind. Dette skyldes dels den begrænsede bleeding, dels at de meget fine partikler medfører et øget undertryk og dermed et større svind.

Plastiske svindrevner kan dog undgås ved en hurtig og effektiv udtørringsbeskyttelse, jf. det forrige.

I den plastiske fase vil strukturdannelsen i cementpastaen være begrænset, og der vil ikke være nogen indre sammenhæng. Hvis betonoverfladen tørrer ud, vil der imidlertid



Figur 5. Plastisk svind kan medføre revner som følge af det undertryk, som optræder i porevæsken, når betonen tørrer ud.

opstå et undertryk i porevæsken, og dette kan, hvis udtørringen fortsætter, føre til revnedannelse.

Der er på Beton- og Konstruktionsinstituttet udviklet udstyr til registrering af poreundertrykket, hvilket har givet mulighed for nærmere studier af disse forhold. Figur 6 viser et eksempel på resultaterne fra en sådan måling. Poreundertrykket vil være afhængig af en række faktorer, men vil under lidt ekstreme forhold kunne blive af størrelsesordenen $0,02-0,05 \text{ MN/m}^2$ i den plastiske fase. I takt med strukturdannelsen vil der etableres et vist modhold mod svindet, og poretrykket vil ikke længere være afgørende for sammenhængen i materialet. Efter 1 døgn vil en beton med $v/c = 0,50$ typisk have opnået en trækstyrke af størrelsesordenen $0,5 \text{ MN/m}^2$.

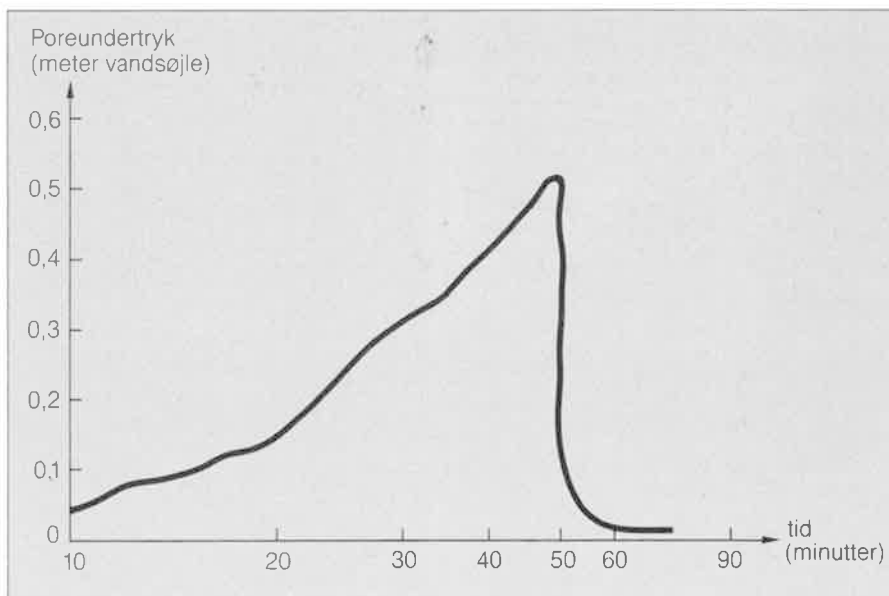
På dette tidspunkt vil betonen sædvanligvis ikke længere være vandmættet, og det har derfor ingen mening at tale om et generelt poreundertryk. Det fortsatte svind (udtørringssvindet) optræder som en følge af de kræfter, som optræder lokalt i cementpastaens porer (kapillarporer og gelporer). Der er her tale om langt mindre porer, som kan medføre betydelig større kræfter, når de udtørres.

Udtørringen sker dels til omgivelserne i tilfælde af manglende efterbehandling, men der sker også en ikke uvæsentlig selvudtørring i takt med, at kapillarvandet bindes kemisk og fysisk i reaktionsprodukterne.

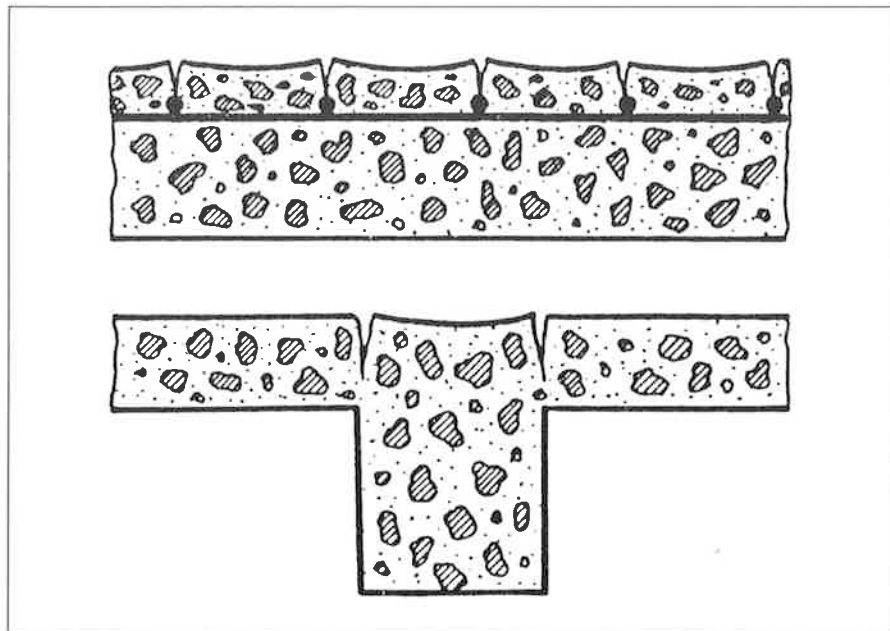
Udtørring på langt sigt vil kun kunne undgås i vandbygningskonstruktioner o.l., og udtørringssvindet vil derfor udvikle sig i takt med udtørringen. Udtørringssvindets størrelse afhænger af flere faktorer, og det ligger uden for denne publikations rammer at behandle disse forhold. For en »almindelig« beton vil udtørringssvindet typisk andrage $0,04 - 0,06\%$, hvilket skal sammenholdes med en typisk trækbrud-deformation på $0,01 - 0,02\%$. Det vil derfor kræve konstruktive forholdsregler (fuger, armering), hvis ukontrollable svindrevner skal undgås. Revnerne vil, hvis de opstår, være karakteristiske ved at forløbe mere regulært end plastiske svindrevner, og ofte gennem tilslaget.

Der er naturligvis tale om en glidende overgang mellem plastisk svind og udtørringssvind, og en effektiv afdækning i de første døgn vil også være medvirkende til at reducere udtørringssvindet.

Der vil i praksis være andre mekanismer, som kan udvikle revner. Sætningsrevner i den plastiske fase forveksles således ofte med plastisk svind, men de opstår, fordi sedimentationen af betonens faste partikler hindres af armeringsjern el.lign., jf. figur 7. Løsningen på dette problem kan f.eks.



Figur 6. Resultater fra poreundertryksmåling i frisk beton. Udstyret er udviklet på Beton- og Konstruktionsinstituttet.



Figur 7. Sætningsrevner, som opstår som følge af differenssætninger. Kan til tider forveksles med plastisk svind.

være lagvis udstøbning eller genvibrering. Tilsætning af f.eks. mikrosilica vil reducere bleedings- og sætningstendensen, mens afdækning ikke vil løse problemet. Det er derfor vigtigt at kunne fastlægge, om revnerne opstår som følge af plastisk svind eller differenssætninger.

Temperaturrevner vil ofte være vanskelige at skelne fra svindrevner, og der vil ofte være tale om en kombination af påvirkningerne. Tidspunktet for revnedannelserne, sammenholdt med konstruktionens dimension, kan give et fingerpeg om hovedårsagen.

Praktisk efterbehandling - muligheder

For at sikre de bedst mulige betingelser under hærdningen, bør betonen holdes så fugtig/våd som muligt.

Der er, som nævnt, betydelig forskel på, om efterbehandlingen har karakter af, at der sker en direkte tilførsel af vand til betonen, eller om den alene sigter mod at bevare det vand, som fra starten findes i betonen. For en forsejlet beton med lavt v/c-forhold vil der, som følge af selvudtørringen, opstå dårligere hærdningsbetingelser end i betonen, som tilføres vand. Mulighederne for at tilføre vand vil dog i reglen være begrænset til betonens ydre, idet transportmodstanden, som vil afhænge af betonkvaliteten, vil hindre, at vandet når betonens indre. Effekten er dog ikke uvæsentlig, da det jo netop er konstruktionens overflader, som i første omgang skal modstå de ydre påvirkninger.

Muligheden for at kombinere en afdækning med en eftervanding er naturligvis til stede og er i praksis ofte en mere realistisk mulighed end en egentlig vandlagring. Der er i det følgende gennemgået alternative former for fugttabsbeskyttelse.

Plastfolie, som anbringes tæt på betonoverfladen, er en effektiv måde at hindre fordampningen på. Det forudsætter imidlertid, at konstruktionens udformning er regulær, uden indadvendende kanter og hjørner, samt at betonoverfladen ikke brydes af armeringsjern o.l.

Støbninger, som afsluttes med betydelige vandrette overflader som gulve, facade- og dækelementer o.l., vil være tilfælde, hvor en plastfolie vil være velegnet at anvende. Det er imidlertid afgørende, at folien holdes på plads og ikke blæser af eller løfter sig i folder, som skaber risiko for en vis vindtunneeffekt. En iturevet plastfolie bør ikke anvendes og eventuel færdsel på den beskyttede betonoverflade bør derfor foregå med størst mulig forsigtighed eller helt undgås hvis muligt, idet der vil være risiko for at beskadige folien.

Af hensyn til overfladens senere udseende kan det være nødvendigt at vente med afdækningen, til betonoverfladen har opnået en vis styrke, idet der ellers vil kunne opstå mærker og lunger under plastfolien. Dette forhold kan i visse situationer gøre det vanskeligt at overholde kravene i Basisbeton-beskrivelsen med hensyn til seneste tidspunkt for udtørringsbeskyttelse. Anvendelse af et forseglingsmiddel kan være en måde at løse dette problem på.

Hensynet til overfladens udseende nødvendiggør også, at plastfolien ligger tæt mod betonen, idet der ellers kan opstå skjolder og misfarvninger på grund af

uensartet beskyttelse eller kondensdannelse på undersiden af folien.

En plastfolie, som ligger tæt mod en våd/blød betonoverflade, vil ofte medføre nogle blanke og glatte partier. Dette kan f.eks. undgås ved at afdække med filt eller geotekstiler under plastfolien.

Etablering af en effektiv beskyttelse med plastfolie er vanskelig, når det drejer sig om en væg, søjle el. lign., og det kræver stor omhu at undgå flænger i folien samt at sikre tætte samlinger. Der bør anvendes en kraftig tape med god klæbeevne til samlinger og til reparation af flænger o.l. Løsninger, hvor folien hænger løst flagrende ned over overfladen, ses desværre alt for ofte, og værdien af en sådan afdækning vil være meget begrænset.

Vintermætter (mineraluldsmætter) anvendes sædvanligvis med det formål at sikre en passende høj betontemperatur under vinterforhold. Måtternes plastoverflade bevirker, på samme måde som plastfolie, et passende lavt vandtab fra betonoverfladen. Ved afdækning af større overflader kræves et passende overlæg (20-30 cm) for at undgå lokal udtørring ved samlingerne. Forbruget af mætter kan derfor blive forholdsvist stort, hvis fugtbeskyttelsen skal fungere.

De højere temperaturer, der optræder som en følge af isoleringen, kan bevirke et højere damptryk i betonoverfladens porer. Vandtabet kan derfor blive betydeligt større, end hvis en almindelig plastfolie havde været anvendt. Vintermætter bør derfor primært anvendes i tilfælde, hvor man bevidst ønsker en højere hærdningstemperatur, og eventuelt sammen med en plastfolie for at sikre mod fordampning. Vintermætter vil, i endnu højere grad end en plastfolie, kunne forårsage mærker og misfarvninger i betonoverfladen. Vintermætter anvendes i dag i mange situationer, hvor en mere behersket isolering ville have været ønskelig. Mætter af skumplast er en anden type af isoleringsmætter, som leveres i flere forskellige tykkelser, og som dermed giver mulighed for at vælge en mere hensigtsmæssig isolering af konstruktionen. Det er afgørende, at skumplasten har en lukket struktur, som hindrer vandtransport.

Behovet for kombineret fugt- og varmetabsbeskyttelse har endvidere medført, at der er udviklet plastbeklædte filt-mætter o.l., som kombinerer en effektiv fugtbeskyttelse med en moderat beskyttelse mod varmetab.

Det gælder generelt for disse afdækningsmaterialer, at de vil være velegnede til regulære vandrette overflader, men vanskelige at anvende til indviklede former, undersider og lodrette overflader.

Formen vil i sig selv bevirke en vis beskyttelse mod udtørring. For forskallingssystemer af lakerede eller olierede finérplader og stål vil beskyttelsen være som for plastfolie, idet disse materialer er vandtætte og ikke-sugende.

For den almindelige bræddeforskalling vil træets aktuelle fugttilstand være af stor betydning. Man bør således altid sikre, 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.

Hvis en gammel bræddeforskalling under anvendelse tørrer ud som følge af sol og vind, vil træets svind bevirke, at formen åbner sig, og vandtabet fra betonen vil derfor ikke blot hidrøre fra træets sugning, men også foregå gennem de sprækker, som opstår i formen. Problemet vil dog ikke opstå de første døgn, blot formen er grundig forvandet forud for støbningen.

I tilfælde, hvor forholdene nødvendiggør en beskyttelse af længere varighed, vil formen ofte være en u hensigtsmæssig dyr løsning, og man vælger da ofte at fjerne formen og etablere en alternativ beskyttelse, som f.eks. en plastfolie eller forseglingsmiddel (se herom senere).

Forseglingsmidler anvendes primært til beskyttelse af frisk beton, men finder dog også anvendelse som en efterfølgende beskyttelse, når formen er fjernet. Hvor stor en værdi, de har i sidstnævnte sammenhæng, er dog usikkert. For nogle forseglingsmidlers vedkommende vil den beskyttelse, de repræsenterer, sandsynligvis være lille sammenlignet med nogle få tiendedele millimeter højkkvalitetsbeton. Det er dog et forhold, som ikke er helt afklaret endnu.

I praksis kan der for lodrette overflader og undersider være problemer med at påføre forseglingsmidlet i en passende mængde og samtidig undgå, at det løber ned ad betonoverfladen med risiko for uensartet beskyttelse og vedvarende misfarvninger. Påsprøjtning i flere lag kan dog løse dette problem.

Som nævnt er forseglingsmidlernes primære anvendelsesområde til beskyttelse af frisk beton (f.eks. vandrette overflader), hvor de har vundet stor udbredelse de senere år. Deres væsentligste fordele er dels, at de kan påsprøjtes overfladen uden at efterlade mærker i den hærdnede beton, samt at man kan færdes på betonen dagen efter, uden at snuble i plastfolie el.lign. Der vil dog være en tendens til nuanceret misfarvning som følge af uens påsprøjtning, lunger i overfladen o.l.

Blandt de produkter, som forhandles i Dan-

mark, findes produkter, der kan overholde BBB's krav til et forseglingsmiddel, men der forhandles også produkter, hvis virkning er meget beskednen og langt fra opfylder kravene i BBB. Man bør således altid sikre sig oplysninger fra leverandøren vedrørende produktets effektivitet o.l. Se i øvrigt herom andet sted i publikationen.

Det er naturligvis meget afgørende for effektiviteten, at forseglingsmidlet påsprøjtes i de foreskrevne mængder. Dette er for nogle produkters vedkommende søgt sikret ved en farvepigmentering, så brugeren, ud fra farven af overfladen, kan vurdere, om påføringen er korrekt. I praksis vil det for større overflader være vanskeligt at opnå en dækkende ensartet påføring, såfremt der ikke anvendes et velegnet sprøjteudstyr, eller hvis der er meget vind.

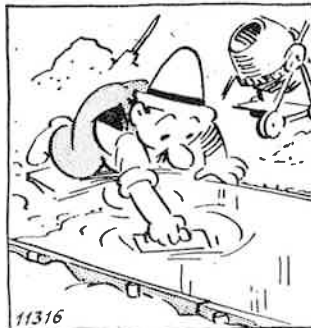
Et andet forhold, som man bør være opmærksom på, er, at anvendelsen af mange af disse produkter nødvendiggør en meget omhyggelig afrensning (sandblæsning), hvis overfladerne senere skal males, pudses el.lign.

Vandlagring vil kun i helt specielle tilfælde kunne benyttes på nyudstøbt beton, hvorfor 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. For vandrette overflader (gulve, overside af dæk o.l.) vil vandlagringen kunne etableres ved at opbygge en vold langs periferien og derefter oversvømme betonen. Mindre emner vil kunne neddyppes i lagringskar. For større lodrette overflader vil en oversprinkling kunne komme på tale, eller evt. et nedhængt gardin af sækkelærred el.lign., som permanent holdes vandmættet. En afdækning med plast eller presenning vil kunne reducere fordampningen fra det våde lærred, og dermed give en større sikkerhed for, at der ikke lokalt sker udtørring af betonen.

Inden vanding iværksættes, skal det sikres, at der ikke, som følge af overfladens nedkøling, opstår problemer med for store temperaturforskelle.

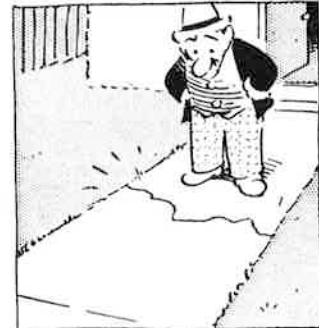
Ved vandlagringen har betonen mulighed for at få tilført ekstra vand i takt med, at det forbruges ved hydratiseringen. Selvudtørringen vil derfor blive mindre i det yderste lag. Dette vil medføre forbedrede hærdbetingelser i netop den del af betonen, som udsættes for de ydre påvirkninger. Effekten er størst for betonkvaliteter med lave v/c-forhold. Til gengæld vil virkningsdybden være mindre, som følge af betonens øgede tæthed. En sekundær effekt vil være



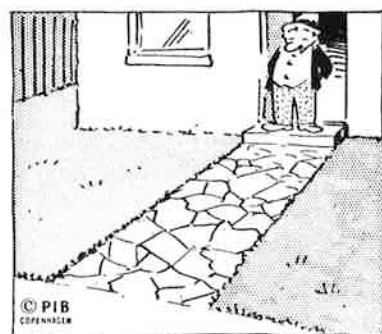
Praktikeren



...han må leve med dem!



...har sine problemer



...og det gør han!

et mindre svind med mindre risiko for overfladerevner, hvilket også kan medføre forbedret holdbarhed.

Ved afdækning med plastfolie vil det være muligt at fjerne folien, foretage en vanding af betonoverfladen og reetablere afdækningen. Dette kan med fordel gøres, når betonen er 1-2 døgn gammel.

Ved afdækning med fugtige materialer uden vandtilførsel bør disse være beskyttet mod fordampning med plastfolie el.lign., idet der ellers vil være risiko for at få en hurtig udtørring af materialet, hvorved beskyttelsen ophører. Under uheldige forhold vil sækkelærred o.l., som tørrer ud, kunne øge fordampningen fra den friske beton, og dermed forværre forholdene.

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 »selvføglende« ved tilsætning af polymerer. Hvorvidt dette er en mulighed, er endnu ikke afklaret.

At tilsætte polymerer med dette formål alene vil dog næppe være økonomisk, da

det vil kræve et meget stort forbrug af polymerer at sikre en tæt polymer-film i overfladen.

Klimastyring vil også være en mulighed for at begrænse fordampningen, hvilket kan være en alternativ metode ved industriel betonproduktion. Med udgangspunkt i figur 1 kan disse forhold vurderes, som gjort i følgende eksempel.

Under forudsætning af en betontemperatur på 25°C, en haltemperatur på 15°C og en relativ luftfugtighed på 65%, vil der med en vindhastighed på 2 m/sek ske en fordampning fra en våd overflade på ca. 0,6 kg/m²/h.

Ved etablering af et hærdbetningskammer med lufttemperatur 25°C, relativ luftfugtighed 85% og vindhastighed 2 m/sek vil fordampningen være reduceret til 0,15 kg/m²/h, svarende til en reduktion eller effektivitet på 75%.

Ved at hæve luftfugtigheden og temperaturen i hærdbetningskammeret er det muligt at opnå kondensation af vanddamp på betonoverfladen. Dette vil tilføre betonen såvel fugt som varme.

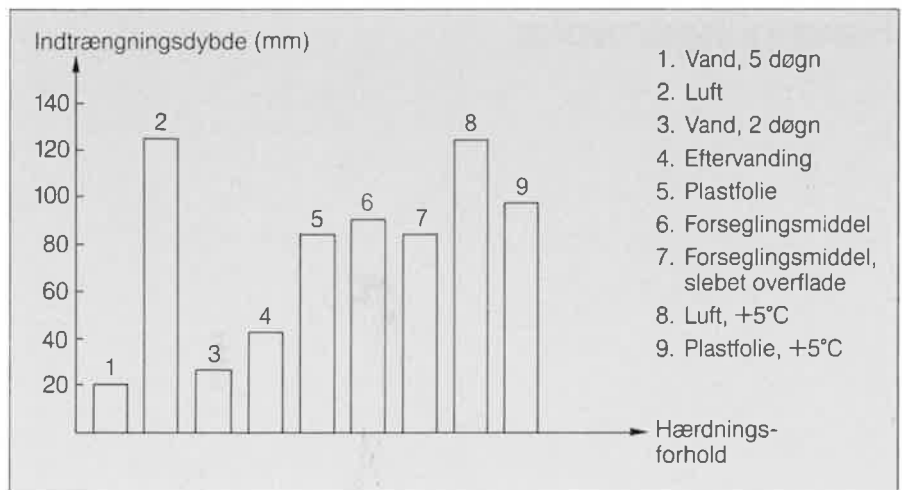
Efterbehandlingsindflydelse på betonkvaliteten

Der foreligger en del undersøgelser af efterbehandlingsindflydelse på betonkvaliteten. I [5] er redegjort for en større undersøgelse, som sammenligner forskellige efterbehandlingsformers indflydelse på forskellige egenskaber, bl.a. vandindtrængning, karbonatisering, luftpermeabilitet, overfladestyrke m.v., og resultaterne viser alle, at vandlagring generelt medfører forbedrede egenskaber i forhold til afdækning med plastfolie og påsprøjtning af forseglingsmiddel, se f.eks. figur 8 og figur 9.

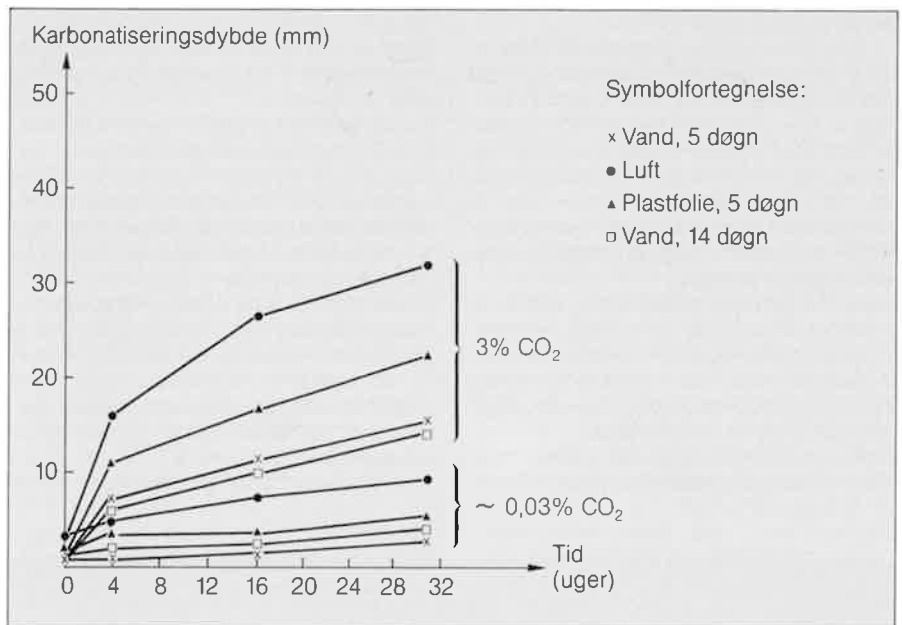
Undersøgelsen konkluderer endvidere, at det er mindre afgørende, jf. figur 8, om vandlagringens varighed er 2, 5 eller 14 døgn, samt at der ved eftervanding i nogen grad vil kunne kompenseres for en mangelfuld lagring de første døgn, jf. figur 8.

Der er imidlertid andre undersøgelser, [7] og [8], som viser, at den bedste slidstyrke opnås ved anvendelse af forseglingsmidler, se figur 10. De benyttede forseglingsmidler har i begge undersøgelser haft en effektivitet på 90% (vandtilbageholdelse) i henhold til BS DD147.

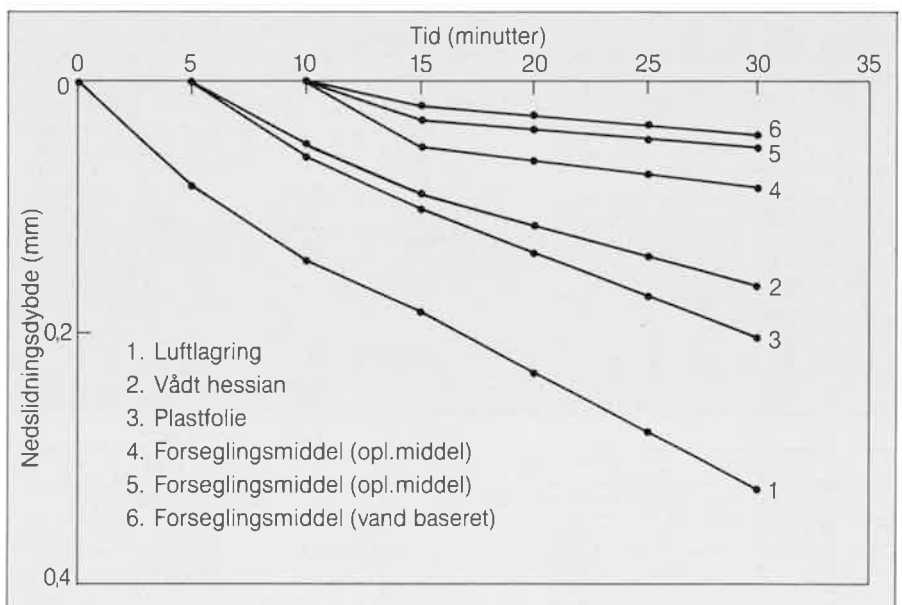
Efterbehandlings betydning er ifølge [7] størst for beton med relativt høje v/c-forhold. Dette skyldes, at betonens evne til »selvbeskyttelse« vil være mindst udtalt ved høje v/c-forhold. Behovet for særlig gunstige hærdningsbetingelser vil dog sædvanligvis være knyttet til aggressiv miljø, og dermed lave v/c-forhold.



Figur 8. Vandtæthed for en beton, afhængig af hærdningsforholdene, fra [5].



Figur 9. Karbonatiseringsdybde for en beton afhængig af hærdningsforholdene, fra [5].



Figur 10. Nedslidning fra små stålhjul på en betonoverflade ved forskellige typer af efterbehandling. Der er anvendt beton med v/c-forhold = 0,44. Betonoverfladen er maskinglattet, fra [7].

Forseglingsmidler

Forseglingsmidler finder stadig stigende anvendelse indenfor byggeriet. Det er især i forbindelse med gulve o.l., man ser den største anvendelse. Fordele og ulemper ved denne anvendelse er beskrevet tidligere i publikationen.

Et forseglingsmiddel (curingmembran) er en tyndflydende væske, hvori der er opløst eller emulgeret filmdannende forbindelser. Man skelner traditionelt mellem, om væsken er vand eller, om der er tale om et organisk opløsningsmiddel (xylol, alkohol, benzen o.l.). Disse forhold skal fremgå klart af brugsanvisningens Mal-kode, som redegør for de sikkerhedsmæssige forholdsregler under påsprøjtningen.

De aktive (filmdannende) komponenter er for de vandbaserede produkters vedkommende sædvanligvis emulsioner af voks, polyethylen, acryl o.l., medens de for de opløsningsmiddelbaserede kan være klor-kautsjuk, harpiks, acrylat m.v.

Den forseglende virkning fremkommer ved, at vandet/opløsningsmidlet fordam-

per, 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 75% i forhold til tabet fra en ubehandlet overflade. Prøvningsmetoden, som refereres til, er TI-B 31.

Der ses endvidere ofte refereret til ASTM C 156-80, hvis væsentligste afvigelse i forhold til TI-B 31 ligger i, at der anvendes mørtel ved ASTM-metoden, mens der anvendes beton ved TI-metoden. Der er i figur 11 vist måleresultater (vægttabsforløb) for målinger af vægttab.

Undersøgelser i [6] viser, at bl.a. v/c-forholdet kan være afgørende for den fundne effektivitet. Ved et v/c-forhold på 0,40 blev der i forhold til et v/c-forhold på 0,55 typisk fundet 10% højere effektivitet (relativt). Forhold som overfladens finish vil også kunne influere på resultaterne.

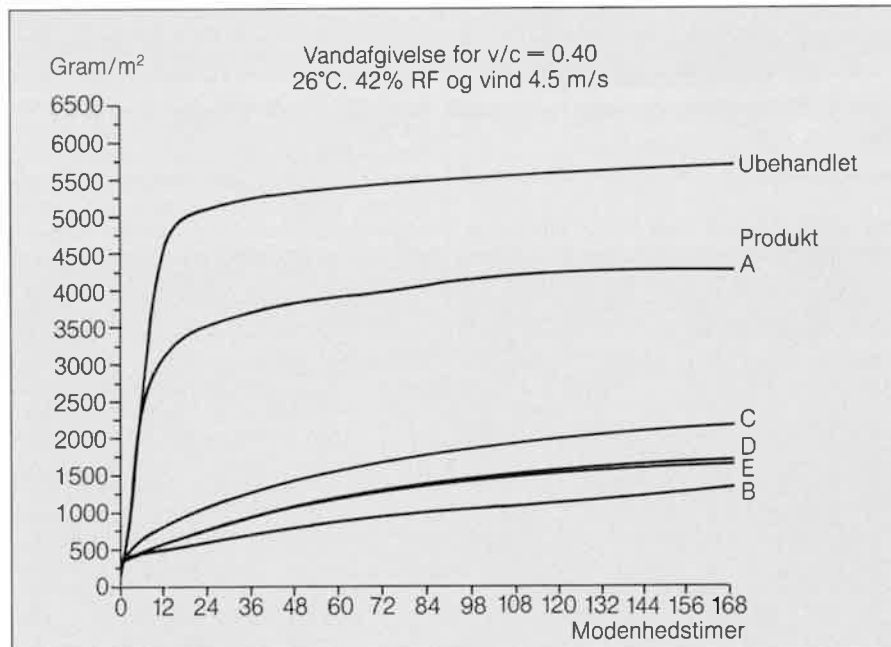
Hvis resultaterne for forskellige produkter

skal sammenlignes, er det derfor nødvendigt at prøvemethoden er entydig fastlagt.

Leverandørplysninger vedrørende prøvningsresultater tyder på, at vandbaserede voksemulsioner generelt udviser god effektivitet (70-90%), når de påsprøjtes en nyudstøbt betonoverflade. Herudover udviser flere af de opløsningsmiddelbaserede produkter god effektivitet (80-90%).

Forsøg med påføring på hærdnet beton viser effektiviteter i området 15-30%, og denne anvendelse synes derfor ikke særlig nærliggende.

Man bør generelt være tilbageholdende med at anvende forseglingsmidler, hvis overfladen skal males el.lign. Man bør principielt undlade at anvende produkterne i støbeskel, med mindre man er indstillet på en omhyggelig afrensning med f.eks. sandblæsning eller flammerensning.



Produkter	v/c = 0.40	v/c = 0.55
	Middel effektivitet	Middel effektivitet
A	24.84	25.50
B	86.67	76.23
C	69.04	64.59
D	73.22	65.94
E	83.55	75.85

Figur 11. Eksempel på bestemmelse af forseglingsmidlers effektivitet, fra [6].

Regler i andre lande

Efterbehandling af beton er også et emne, som de senere år er behandlet med stor interesse i andre lande. I den tidligere omtalte arbejdsgruppe under Dansk Betonforening har man bl.a. søgt at få et overblik over hvilke regler og retningslinier, der benyttes i den øvrige del af den vestlige verden.

I hovedparten af de forespurte lande findes regler og forskrifter på dette område. Det forholder sig imidlertid ofte således, at forskrifterne er knyttet til bestemte områder, som f.eks. vejbygning eller andre anlægsområder. Indenfor boligbyggeriet samt erhvervsbyggeriet er kravene i de fleste lande meget lempelige, således at det kun er under helt ekstreme klimaforhold, at efterbehandling er påkrævet, f.eks. ved temperaturer over 40°C (Frankrig). I flere europæiske lande er det imidlertid, ifølge arbejdsgruppens oplysninger, et område, hvor man indenfor det almindelige betonbyggeri kan forvente stramminger i de kommende år. På anlægsområdet har man som nævnt allerede krav i hovedparten af de forespurte lande.

Udviklingen kommer sandsynligvis til at ligne udviklingen i Danmark, hvor man i en årrække har haft ret specifikke krav inden for de større anlægsområder, (Vejdirektoratet, DSB m.fl.). Danmark er således med Basisbetonbeskrivelsen (BBB) længere fremme i udviklingen end de fleste europæiske lande.

I forhold til BBB kan der blandt de væsentligste forskelle nævnes, at flere lande relaterer efterbehandlingens varighed til den opnåede styrke. I Sverige kræves således, at der er opnået 45% af den krævede karakteristiske styrke før efterbehandlingen kan afbrydes.

I England refererer man direkte til styrken og kræver f.eks., at der, afhængig af miljøklasser og øvrige forhold, er opnået 20- eller 30 MN/m² før efterbehandlingen afbrydes.

I andre lande, f.eks. Tyskland, er cementtypen bl.a. medbestemmende for varigheden af efterbehandlingen.

Den kommende EN-norm, EN 206, som forventes at blive et fælles europæisk normgrundlag, afspejler i nogen grad reglerne i de lande, som i forvejen har krav til efterbehandling. For de øvrige lande vil det medføre en betydelig stramning af kravene.

Den følgende omtale af EN 206 bygger på udkastet til EN 206 Version 17 af april 1988.

EN 206 foreskriver, at efterbehandlingen iværksættes så »hurtigt som muligt«. Denne formulering er ikke éntydig, idet det mulige vil bero på et subjektivt skøn.

BBB's krav vil imidlertid under vanskelige forhold kunne medføre praktiske problemer med at opfylde kravene. En »blød« formulering, men med angivelse af vejledende tidspunkter for iværksættelse af efterbehandlingen vil nok i højere grad kunne tilgodese såvel betonkvaliteten som entreprenørens ønsker om en hensigtsmæssig arbejdsproces. EN 206 omtaler i øvrigt de samme efterbehandlingsmetoder, som omtalt i denne publikation, og med hensyn til varigheden er kravene anført i tabel 4.

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.

Kravene i tabel 4 afviger på nogle punkter fra BBB's krav. Der er således indført en parameter, som beskriver betonens styrkeudvikling som værende hurtig, middel eller langsom. Denne parameter afhænger af v/c-forholdet og cementtypen, jf. tabellen. BBB tager alene hensyn til v/c-forholdet. Herudover er der indført en klasseinddeling af klimaforholdene under udførelsen.

Denne inddeling sker med hensyntagen til vind, luftfugtighed og solforhold.

BBB tager ikke højde for disse forhold med hensyn til efterbehandlingens varighed, men gør det derimod i nogen grad med hensyn til iværksættelsestidspunktet for efterbehandlingen.

Modenhed indgår ikke direkte i tabel 4, idet der i stedet er valgt at benytte betontemperaturen som parameter.

EN 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. Der vil altid kunne fremhæves uheldige eksempler eller fremføres synspunkter imod den valgte udformning af kravene og de respektive kravværdier.

Det er imidlertid væsentligt at erkende, at efterbehandlingen er en meget vigtig delproces i det at fremstille betonkonstruktioner af høj kvalitet. Som sådan er det også et område, hvor det er vigtigt, at der formuleres krav, som er rimeligt éntydige og i overensstemmelse med den teoretiske side og de praktiske muligheder.

	Betons styrkeudvikling								
	Hurtig			Middel			Langsom		
Klimaforhold under hærdningen	5	10	15	5	10	15	5	10	15
Betonens 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 4. Krav til varighed af udtørningsbeskyttelse i døgn i henhold til forslaget til EN 206, version 17, april 1988.

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

Tabel 5. Fastlæggelse af betonens styrkeudvikling ifølge forslaget til EN 206, version fra marts 1987. Cementbetegnelserne refererer til EN-norm EN 197, version fra marts 1987. Rapid-Cement, Standard-Cement, Lavalkali Sulfatbestandig Cement samt Hvid Portland-Cement er alle type CEI 42.5 R.

Litteratur

- [1] Basisbetonbeskrivelsen for bygningskonstruktioner, Byggestyrelsen, marts 1987.
- [2] Redegørelse vedrørende Basisbetonbeskrivelsen for bygningskonstruktioner, ATV-udvalget vedrørende betonbygværkers holdbarhed, maj 1986.
- [3] Beton-Teknik »Fra CtO's arbejdsmark«, 10/27/1987, CtO.
- [4] Beton-Teknik »Portlandcementer«, 1/01/1986, CtO.
- [5] Andersson, Cathrine og Petterson, Per-Erik: »Hårdningens inverkan på betongs permeabilitet og beständighet«, P-RAPP 1987:07, Statens Provningsanstalt, Sverige.
- [6] Aaquist, Erik og Junker, Henrik: »Evaluering af forseglingsmidlers effektivitet«, Dansk Beton, nr. 2, maj 1987.
- [7] Kettle, R. and Sadegzadeh, M.: »The Influence of Construction Procedures on Abrasion Resistance«, American Concrete Institute, ACI, Special Publication, SP-100, Vol. 2, Detroit, 1987.
- [8] Chaplin R.G.: »The influence of cement replacement materials, fine aggregates and curing on the abrasion resistance of concrete floor slabs«, Cement and Concrete Association, Paper for Publication, PP 468, Wexham Springs, Slough, 1986.

CtO Cementfabrikkernes
tekniske Oplysningskontor
Rørdalsvej 44
Postboks 165
9100 Aalborg
Telf. 08 16 77 77

**AALBORG
PORTLAND**

