

10.4 Svind

Af Jens Ole Frederiksen og Gitte Normann Munch-Petersen



Figur 1. Plastiske svindrevner.

Volumenreduktion i beton kaldes svind. Svind kan medføre revnedannelse, hvis volumenformindskelsen ikke kan foregå uhindret. Flere fænomener og forhold kan medføre svind. Svind kan opdeles i to grupper, henholdsvis 1) svind, hvor der udveksles fugt eller andre stoffer med omgivelserne, og 2) svind, hvor der ikke udveksles fugt eller andre stoffer til omgivelserne.

For at undgå revnedannelser i betonen, er det vigtigt at erkende, hvilke faktorer der har indflydelse på svind, således at svind og dets skadelige virkninger kan reduceres mest muligt. Derfor skal særlige forholdsregler tages ved projektering, ved valg af betonrecept, og ikke mindst under udstøbningen.

Begrebet svind er ikke veldefineret i danske lærebøger eller standarder, hvilket medfører, at begrebet ofte bliver brugt i flæng. Et antal specifikke svindtyper anvendes på dansk, som fx:

- Carbonatiseringssvind
- Plastisk svind
- Udtørringssvind
- Autogent svind
- Termisk svind

- Selvudtørringssvind
- Kemisk svind

I denne fremstilling vil American Concrete Institutes (ACI) definition på svind som angivet i ACI [1] blive anvendt:

”Svind er en reduktion af enten længde eller volumen af et materiale, som følge af ændringer i fugtindholdet eller kemiske ændringer”.

De svindtyper, der falder inden for denne definition og som vil blive behandlet i dette kapitel i Betonhåndbogen, er:

- Carbonatiseringsvind
- Plastisk svind
- Udtørringssvind

”Termisk svind” betragtes dermed ikke som svind, men som en temperaturbetinget bevægelse, og vil blive behandlet under ”Hærdestyring” i afsnit 9 Udførelse.

Ved begrebet ”kemiske ændringer” – som angivet i ACIs definition - forstås kemiske ændringer i betonen. ”Kemisk svind” betegner de indre volumenændringer, der sker i forbindelse med den kemiske reaktion mellem cement og vand og er en del af hydratiseringsprocessen, der danner betonen. ”Kemisk svind” er således en følge af en kemisk proces, der medvirker til dannelse af betonen, men det er ikke en kemisk ændring i betonen, og ”kemisk svind” falder derfor uden for svindbegrebet i henhold til ACIs definition.

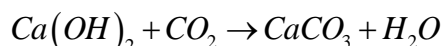
Det betyder dog ikke, at emnet ikke er meget vigtigt, og de kemiske processer, der medfører kemisk svind, er behandlet under ”Volumenændringer forårsaget af hydratisering” i afsnit 10 Hærdnende og hærdnet beton.

”Selvudtørringssvind” skyldes en sænkning af den relative luftfugtighed i cementpastasens porer pga. kemisk svind (se afsnittet ovenfor) ved cementens hydratisering. At et svind er autogent, betyder at svindet sker ved konstant temperatur (isotermt) og uden at der udveksles stof med omgivelserne (i et lukket system). Selvudtørringssvind og autogent svind vil blive behandlet under ”Volumenændringer forårsaget af hydratisering” i afsnit 10 Hærdnende og hærdnet beton.

10.4.1 Carbonatiseringsvind

Carbonatisering er en reaktion mellem calciumhydroxid i betonen, dannet ved cements hydratisering, og kuldioxid fra luften.

Ved reaktionen dannes calciumcarbonat (kalk):



Reaktionen medfører svind, idet volumenet af reaktionsproduktet er mindre end volumenet af reaktanterne:

$$V_{\text{Ca}(\text{OH})_2} + V_{\text{CO}_2} > V_{\text{CaCO}_3} + V_{\text{H}_2\text{O}}$$

I en velproportioneret beton, der opfylder styrke- og v/c krav til den aktuelle miljøklasse, vil der kun ske carbonatisering i et tyndt overfladelag samt i revner. Carbonatiseringssvindet har derfor ingen betydning i praksis for almindelig beton.

10.4.2 Plastisk svind

Hvis frisk og nyudstøbt beton udsættes for udtørring, opstår et svind i betonoverfladen. Dette svind kaldes plastisk svind, og hvis svindet bliver for stort, er der risiko for, at der kan opstå plastiske svindrevner i overfladen.

Udtørringen af overfladen sker ved at mængden af det vand, der fordampes fra overfladen, overstiger mængden af det vand, der transporteres fra det indre af betonen frem til overfladen. Derfor er risikoen for plastisk svind størst, når betonene er tætte; det vil sige har et lavt vand/cement-forhold og indeholder tilsætninger som (især) mikrosilica og flyveaske.

Ved udtørringen opstår der i betonens porer i de yderste lag kapillære trækkræfter, og da betonen endnu ikke har udviklet en betydende trækstyrke, kan der dannes revner. Ca. ½ til 2 timer efter at synligt vand er fordampet fra betonens overflade, ses det ofte, at plastiske revner på fx et gulv udvikler sig over større arealer inden for få minutter.

Plastiske svindrevner kan og skal undgås ved en fornuftig planlægning, der som følge af årsagen til revnerne primært omfatter styring af udtørringen.

Risikoen for plastisk svind afhænger af udtørringen, der igen primært er afhængig af lufttemperaturen, luftfugtigheden, vindhastigheden samt betonens udstøbningsstemperatur.

Fordampningshastigheden kan vurderes ud fra nedenstående formel, der stammer fra [3]:

$$q = (P_o - P_a) \cdot (0,000113 + 0,000083 \cdot v)$$

hvor q er fordampningshastigheden målt i kg vand pr m² pr time.
 P_o er mættede vanddampes tryk ved betonoverfladen, målt i Pascal (Pa).
 P_a er vanddamptrykket i den omgivende luft, målt i Pascal (Pa).
 v er vindhastigheden målt i m/s.

Formlen er i [3] angivet med andre faktorer inde i den sidste parentes, fordi trykket i [3] angives i kPa. Per Freiesleben Hansen, som oprindeligt angav denne fordampningsformel anvendte enheden mmHg, hvilket igen giver helt andre faktorer – men selvfølgelig samme resultat, hvis der er styr på enhederne.

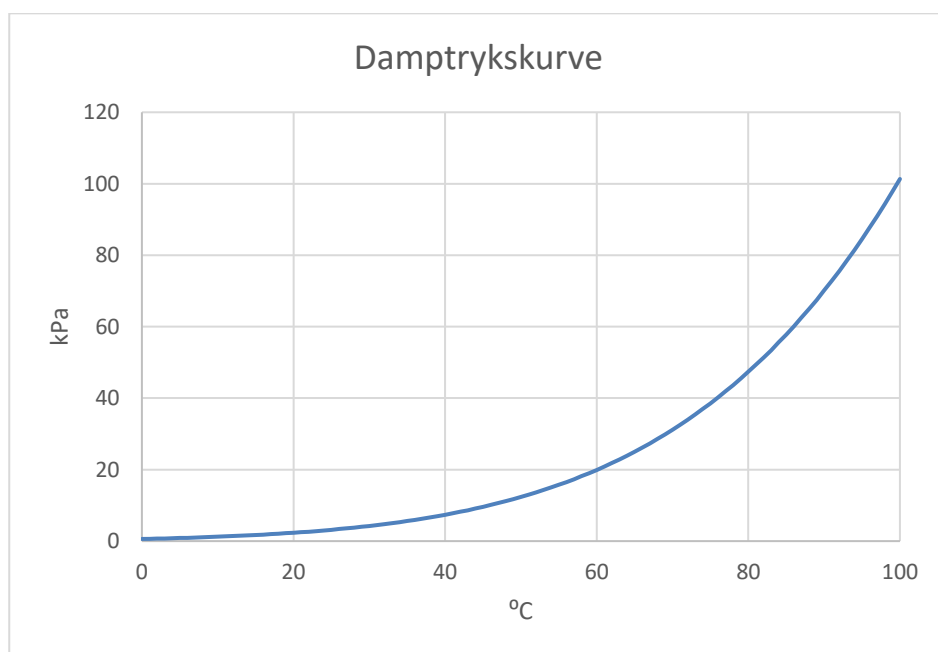
Formlen svarer til beregning af fordampning fra en fri vandoverflade – fx en sø – og hvis formelen skal anvendes til en betonoverflade, forudsætter det derfor, at betonoverfladen hele tiden er våd/vandmættet. Dette er typisk kun tilfældet de første timer efter udstøbning og alligevel næppe helt svarende til en fri vandoverflade. I praksis betyder dette, at formelen overvurderer fordampningshastigheden – men da det er på den sikre side, ser man normalt se bort fra dette.

I temperaturintervallet 0 til 80 °C kan de mættede vanddampes tryk inden for en nøjagtighed på 0,15 % beregnes ud fra følgende formel:

$$P_m = \exp\left(23,5771 - \frac{4042,9}{\theta + 235,58}\right)$$

hvor P_m er det mættede vanddamptryk, målt i Pascal
 θ er temperaturen i °C.

Værdierne kan også findes ved opslag i damptrykstabeller. Værdierne i tabellerne vil afvige en smule fra formlerne, da tabellerne er baserede på faktiske målinger.



Figur 2. Mættede vanddampes partialtryk over vand i Pa 0,01 °C – 100 °C

I formelen indsættes for P_0 (mættede vanddampes tryk ved betonoverfladen) herefter værdien for P_m .

P_a kan bestemmes ved at gange det mættede vanddampes tryk ved den angivne lufttemperatur med den relative luftfugtighed:

$$P_a = P_m \cdot RH$$

Den relative luftfugtighed indsættes i rent tal – fx er 50 % RH = 0,5.

Den maksimalt tilladelige fordampning uden revnedannelse afhænger i høj grad af betonens sammensætning. DS 2427 indeholder i tabel 2427-3 grænser for fordampning gående fra 1,5 til 6,0 kg/m². De 1,5 kg/m² svarer til beton med mindst 15 % sum af (flyveaske + mikrosilica) eller mindst 5 % mikrosilica.

Ofte ses krav til særlige projekter, hvor fordampningen på den sikre side kræves mindre fx 0,5 kg/m². Det kræver omfattende foranstaltninger at reducere fordampningen til dette niveau.

Det er vigtigt at bemærke, at i praksis er de afgørende faktorer for fordampningen - og dermed risikoen for plastisk svind vindhastigheden samt betonens temperatur i forhold til luftens temperatur. Vindhastigheden har stor indflydelse på fordampningshastigheden, fordi vinden fjerner den "dyne" af vanddamp, der dannes over den fugtige overflade. Er betonen meget varmere end luften, vil der ske en kraftig fordampning fordi damptryksforskellen bliver stor. Brug af varm beton om vinteren er derfor en meget farlig forholdsregel med hensyn til risikoen for, at der opstår plastisk svind. Dette gælder næsten uafhængigt af, om luftfugtigheden er høj. Risikoen stiger markant, hvis der samtidig er vind.

For at reducere fordampningen og dermed risikoen for plastisk svind, skal betontemperaturen derfor ikke ligge for meget over lufttemperaturen og gerne under. Vindhastigheden kan nedsættes ved fx at sætte læskærme op, og luftfugtigheden kan hæves ved fx at forstøve vand over betonen.

Nedenfor gives to eksempler – et udendørs og et indendørs – på beregninger af fordampningen og brugen heraf i praksis. Det er meget vigtigt at gøre sig klart, at der altid er en betydelig usikkerhed på beregningerne, fordi de afgørende parametre som temperatur af beton og luft, vindhastighed og luftfugtighed ikke kendes på forhånd og kun vanskeligt kan styres. Man bør derfor altid lægge en betydelig sikkerhed ind i beregningerne ved at bruge værdier på den sikre side.

Eksempel – udendørs støbning

En betonplade udstøbes med 20 °C varm beton indeholdende 20 % flyveaske. Lufttemperaturen er 6 °C og den relative luft-fugtighed er 60 %. Vindhastigheden er 4 m/s.

$$p_o = \exp\left(23,5771 - \frac{4042,9}{20+235,58}\right) = 2342 \text{ Pa (20 °C og 100 % RF)}$$

$$P_a = 0,60 \cdot \exp\left(23,5771 - \frac{4042,9}{6+235,58}\right) = 562 \text{ Pa (6 °C og 60 % RF)}$$

$$q = (2342 - 562) \cdot (0,000113 + 0,000083 \cdot 4) \\ = 0,79 \text{ kg/m}^2/\text{time}$$

Den maksimalt tilladte fordampning for denne type beton er 1,5 kg/m² iht. DS 2427. Det svarer i tid til $\frac{1,5}{0,79} = 1,9 \text{ time}$ svarende til højst 1 time og 54 minutter.

Det skal bemærkes, at beregningerne altid vil være behæftet med usikkerheder, også fordi de skal laves i forvejen som en del af planlægningen. Der skal altid overvejes, hvordan ændringer i forudsætningerne vil påvirke beregningerne, fx:

Hvis lufttemperaturen i stedet er 20 °C fås en fordampning på 0,42 kg/m²/time, svarende til 3 timer og 36 minutter. Stigende lufttemperatur er således ikke noget problem.

Men hvis lufttemperaturen faktisk er de 6 °C, men vindhastigheden stiger til 12 m/s fås en fordampning på 0,76 kg/m²/time, svarende til 46 minutter. Tiden til afdækning er således afkortet med mere end en time. Entreprenøren skal derfor være forberedt på en hurtig afdækning, hvis det begynder at blæse.

Eksempel – indendørs støbning

Et betonelement støbes i en støbehal, hvor lufttemperaturen er 20 °C og luftfugtigheden er 55 %. Vindhastigheden er målt til 1 m/s, når hallen er lukket. Ved udstøbning er betontemperaturen 25 °C. Der anvendes hverken flyveaske eller mikrosilica.

$$p_o = \exp\left(23,5771 - \frac{4042,9}{25+235,58}\right) = 3172 \text{ Pa (25 °C og 100 % RF)}$$

$$P_a = 0,55 \cdot \exp\left(23,5771 - \frac{4042,9}{20+235,58}\right) = 1288 \text{ Pa (25 °C og 55 % RF)}$$

$$q = (3172 - 1288) \cdot (0,000113 + 0,000083 \cdot 1) \\ = 0,37 \text{ kg/m}^2/\text{time}$$

Den maksimalt tilladte fordampning for denne type beton er 6,0 kg/m² iht. DS 2427. Det svarer i tid til $\frac{6,0}{0,37} = 16,3 \text{ time}$, dvs. 16 timer og 15 minutter. Det er så lang tid, at afdækning måske slet ikke er nødvendig. DS 2427 kræver afdækning i 12 og 36 modenhetstimer i henholdsvis miljøklasse P og M.

Men måske er beregningseksemplets forudsætninger slet ikke konstante. Da betontemperaturen vil stige, pga. hærdevarme, kunne man fx antage, at gennemsnitstemperaturen i perioden er 30 °C. Dette vil medføre, at fordampningen stiger til på 0,58 kg/m²/time, svarende til 10 timer og 20 minutter.

Det kan også være, at porten til støbehallen åbnes, hvilket medfører at vindhastigheden stiger - fx til 4 m/s. Fordampningen vil nu stige til 1,32 kg/m²/time, svarende til 4 timer og 33 minutter.

Det vil også være relevant at overveje, om der kan være andre kombinationer af parametre, der kan få indflydelse på seneste tidspunkt for afdækning.

Betonelementproducenten skal derfor overveje, om alle disse parametre kan styres, eller om der skal afdækkes for en sikkerheds skyld - fx efter 4 timer og frem til afforskalling.

En standsning eller begrænsning af fordampningen kan i praksis sikres ved afdækning med plastfolie eller påsprøjtning af en curingmembran. Ofte er fordampningen dog så stor, at disse foranstaltninger skal foretages INDEN betonen er færdigbehandlet, fx inden den er afrettet eller glittet, hvilket giver store logistiske problemer, fordi man fx ikke kan afrette en overflade, der er afdækket med en presenning. Løsningen er i mange tilfælde at vælge en beton med et lavt indhold af tilsætninger, der kan tåle en vis fordampning og samtidigt styre fordampningen gennem primært betontemperaturen, som beskrevet ovenfor, samt at undgå at støbe på dage med høj vindhastighed.

Netrevner i overfladen kan også skyldes temperaturforårsagede spændinger ved en forpludselig afkøling af overfladen ved afformning, se afsnit 9 Udførelse. Ofte skyldes netrevner en kombination af udtørringssvind og temperaturpåvirkning.

10.4.3 Udtørringssvind

Beton er et hygroskopisk materiale, hvilket betyder, at beton kan afgive og optage vand til omgivelserne. Ved udtørring sker der en volumenformindskelse: svind, eller ved opfugtning en volumenforøgelse: svelning. Andre porøse byggematerialer som træ og tegl er også hygroskopiske og også de svinder og sveller ved udtørring og opfugtning.

Vand fordamper fra overfladen af betonen, indtil betonens fugtindhold er i ligevægt med den omgivende luft. Det vand, der fordamper fra overfladen, mens betonen stadig er plastisk, medfører plastisk svind, men når betonen er hærdet af, vil tilbageværende porevand fortsat kunne fordampe væk fra betonoverfladen, indtil betonen opnår en ligevægtstilstand med den omgivende luft. Dette medfører et udtørringssvind i betonen, som er delvist reversibelt, hvilket betyder, at der vil ske en svelning, hvis den relative luftfugtighed stiger.

For at forstå hvorfor udtørring medfører, at beton svinder, må man først og fremmest forstå, hvordan vandet er bundet i betonen. Det er i den forbindelse nødvendigt at se på nogle grundlæggende principper inden for fugtmeknikken.

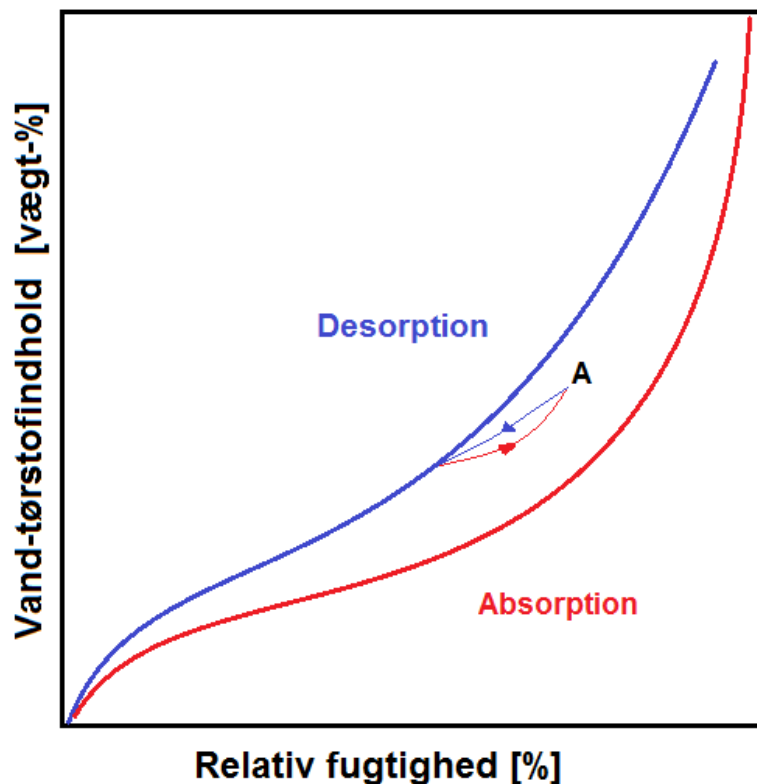
Vandindholdet i beton kan beskrives ved vand-tørstofindholdet, u . Det beregnes som forholdet mellem vandindholdet og den tørre masse af et materiale, og er givet ved fugtbrøken:

$$u = \frac{m_{våd} - m_0}{m_0} \cdot 100\%$$

Hvor:

- $m_{våd}$ Materialets vægt i våd tilstand
- m_0 Materialets vægt i tør tilstand, efter udtørring ved 105 °C indtil massen er konstant.

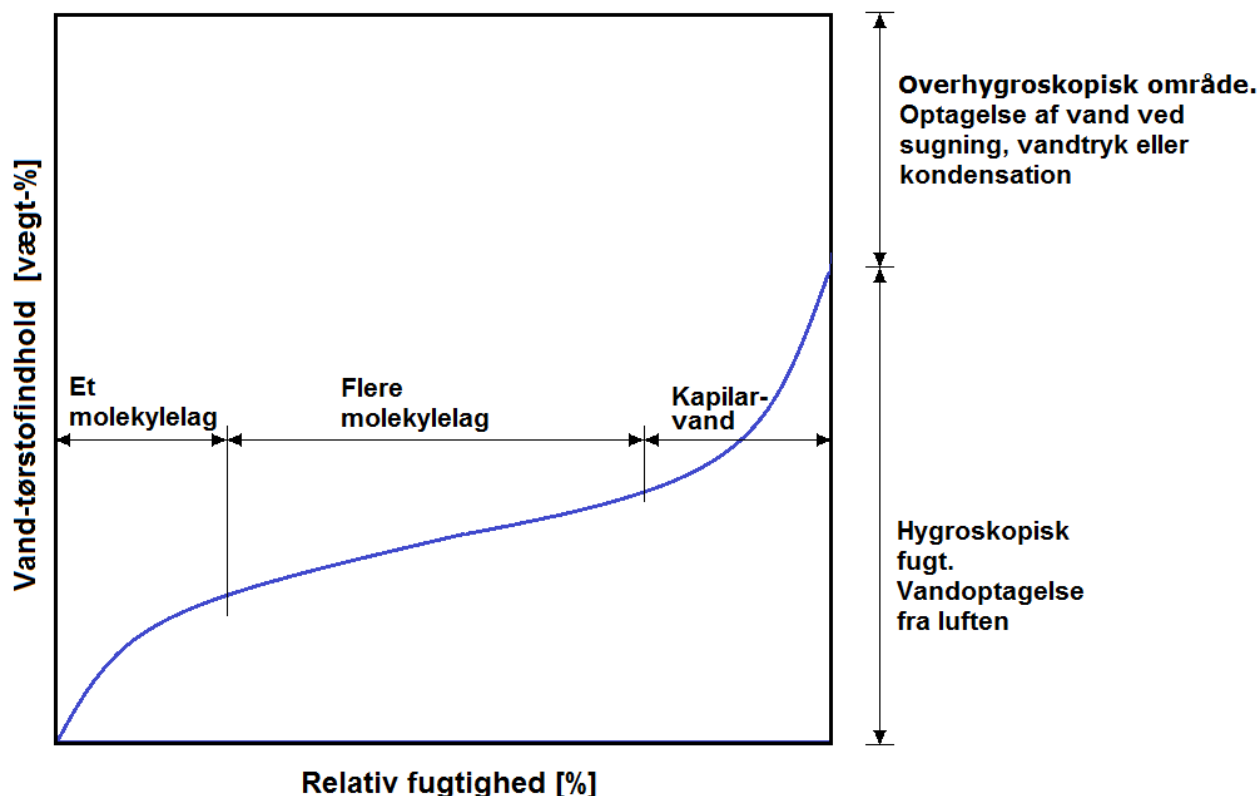
Et materiales afgivelse af fugt kaldes desorption, mens optagelse af fugt kaldes absorption. Sammenhængen mellem ligevægtsfugtindholdet i beton og den relative luftfugtighed ved en given konstant temperatur, kan afbildes i desorptions- og absorptionskurver. Kurverne bestemmes ved forsøg, hvor ligevægts vand-tørstof indholdet ved forskellige relative luftfugtigheder måles, under henholdsvis udtørring og opfugtning.



Figur 3. Desorptions (udtørring) og absorptionskurver (opfugtning) ved konstant temperatur.

I Figur 3 ses det, at desorptionskurven ligger over absorptionskurven, hvilket skyldes, at det er lettere at få vandet til at binde sig til cementgelen og fylde de fine kapillarporer, end det er at fortrænge det. Afvigelsen mellem de to kurver kaldes hysteres.

Når den relative luftfugtighed varierer, vil ligevægten indstille sig i et område mellem desorptions- og absorptionskurven (fx pkt. A i Figur 3). Normalt vil man derfor optegne og anvende en sorptionskurve (kaldet sorptionsisoterm) som ligger mellem desorptions- og absorptionskurven, se Figur 4.



Figur 4. Sorptionsisoterm, der viser sammenhørende værdier af relativ fugtighed i den omgivende luft og vand-tørstof i materialet ved konstant temperatur.

Efter hydratisering forekommer vandet i fire former i beton, her oplyst i stigende rækkefølge efter hvor stor energi, der skal til for, at vandet kan fordampe.

- Frit kapillarevand i større kapillarporer > 50 nm (ved $v/c > 0,38$).
- Kapillarbundet vand i små kapillarporer; 5 - 50 nm
- Gelvand, fysisk adsorberet på overfladen af de dannede reaktionsprodukter.
- Kemisk bundet vand i hydratiseringsproduktet (gelfaststof).

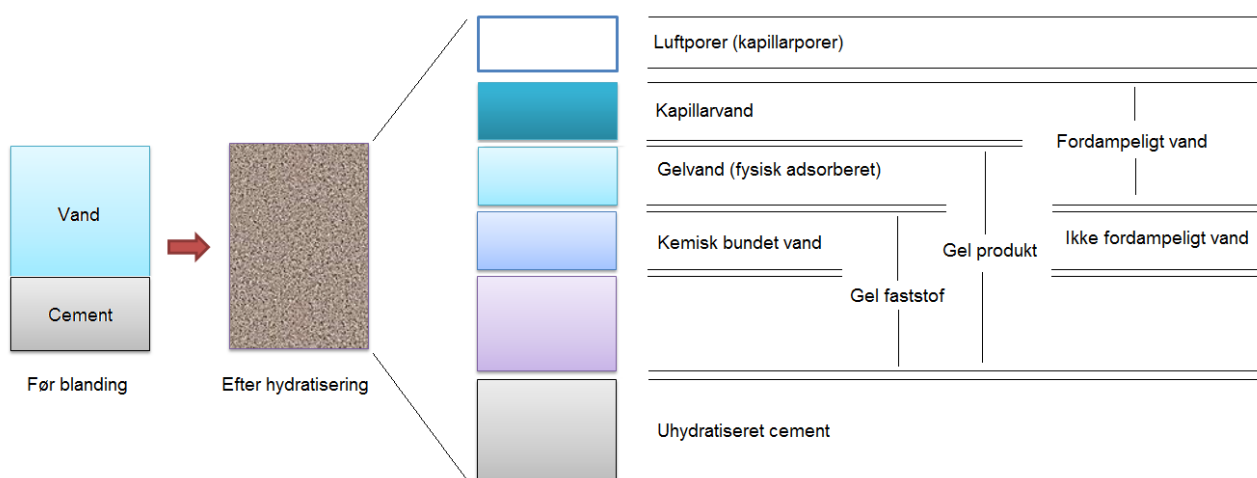
Frit kapillarevand, kapillarbundet vand og gelvand er fordampeligt ved 105 °C. Det vand, der er kemisk bundet i hydratiseringsproduktet, vil først fordampe ved højere temperaturer.

I Figur 5 ses volumenfordelingen af cement og vand før hydratisering, og hydratiseringsprodukterne efter hydratisering.

Vand i de store kapillarporer kaldes frit vand, da der hverken er kemiske bindinger eller kapillarkræfter, der fastholder vandet. Når vandet fordamper, svarer det til, at man hælder vand ud af en beholder. Beholderens dimensioner vil (selvfølgelig) være den samme, uanset om der er vand i beholderen eller ej.

Det er imidlertid ikke tilfældet med meget "små beholdere". Vandet i små kapillarporer vil påvirke kapillarevæggene med en kraft, der vil trække kapillarevæggene mod hinanden. Når kapillarevæggene i de små porer fordampes, vil der ske et svind. Da vandet selv er påvirket af kapillarspændinger, vil kapillarevæggene først fordampe, når det frie vand er fordampet.

Vandet i de små kapillarporer er påvirket af kapillarspændinger, og det kræver mere energi at fordampe kapillarbundet vand end frit vand. Ved udtørring er det derfor først og fremmest vand fra de største kapillarporer, der fordampes, mens kapillarevæggene i de fine kapillarer først fordampes ved en lavere luftfugtighed og høje temperaturer.



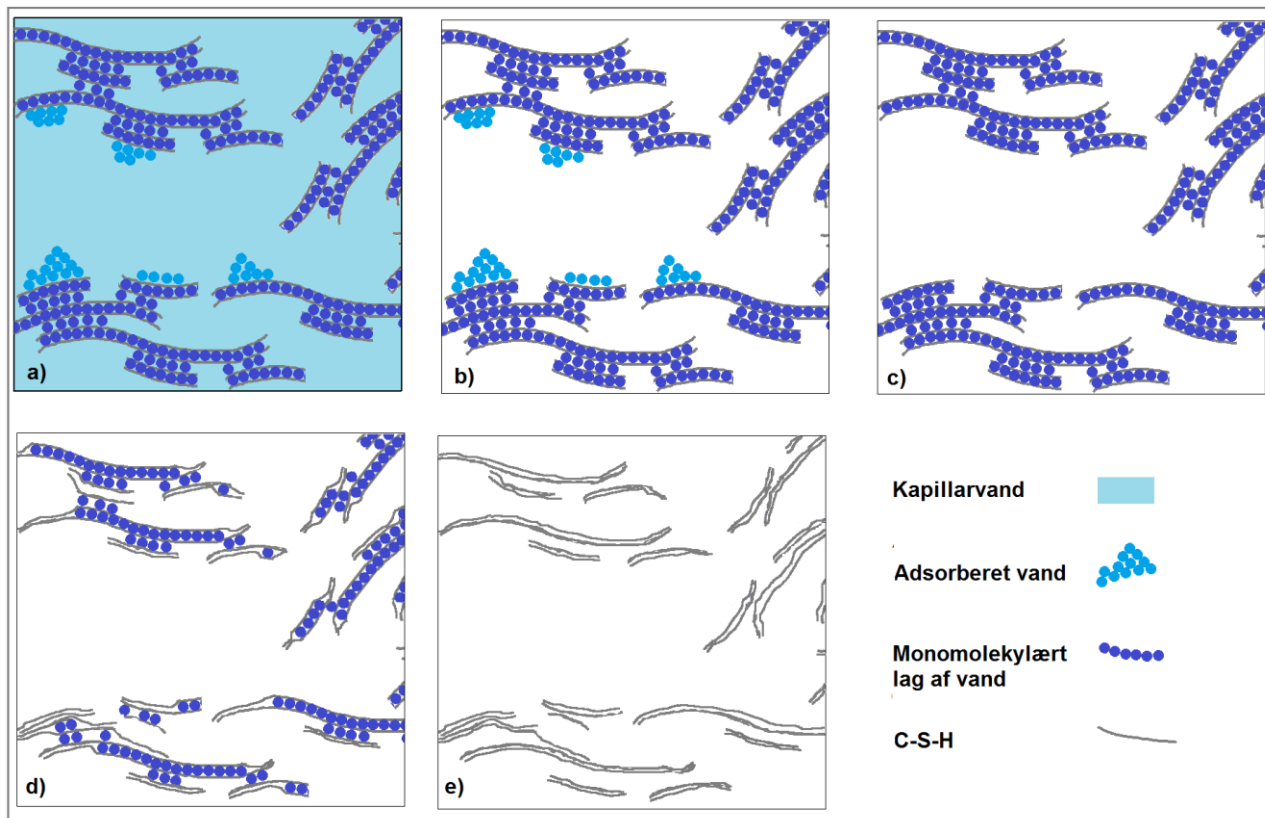
Figur 5. Volumen fordeling før og efter hydratisering.

Vand, der er bundet med kemiske bindinger, vil først fordampe ved temperaturer over 105 °C, når det frie vand og det kapillarbundne vand er fordampet. Dette skyldes, at de kemiske bindinger er stærkere end den fysiske fastholdelse af vandet ved fx kapillarbinding, og at der derfor skal tilføres mere energi for at bryde bindingerne.

Gelvandet eller det adsorberede vand er fysisk bundet med hydrogenbindinger til overfladen af den hydratiserede cementpasta. Der kan sandsynligvis bindes op til seks molekylelag af vand. Da bindingsenergien falder i de yderste lag, vil en stor del af det adsorberede vand fordampe ved relative fugtigheder på under 30 %.

Når vand reagerer med cement, dannes calcium-silikat-hydrat, C-S-H. Det vand, der er kemisk bundet i C-S-H, kan ikke fordampe ved temperaturer under 100 °C. Ind i mellem C-S-H lagene kan der ligge et monomolekylært lag af vand, der er bundet med stærke hydrogenbindinger. Dette vandlag vil først fordampe ved relative fugtigheder på under 11 %.

I Figur 6 er vist en model for vands forskellige faser i beton, hvor vand-tørstofindholdet er faldende fra 100 % i a) til 0 % i e).



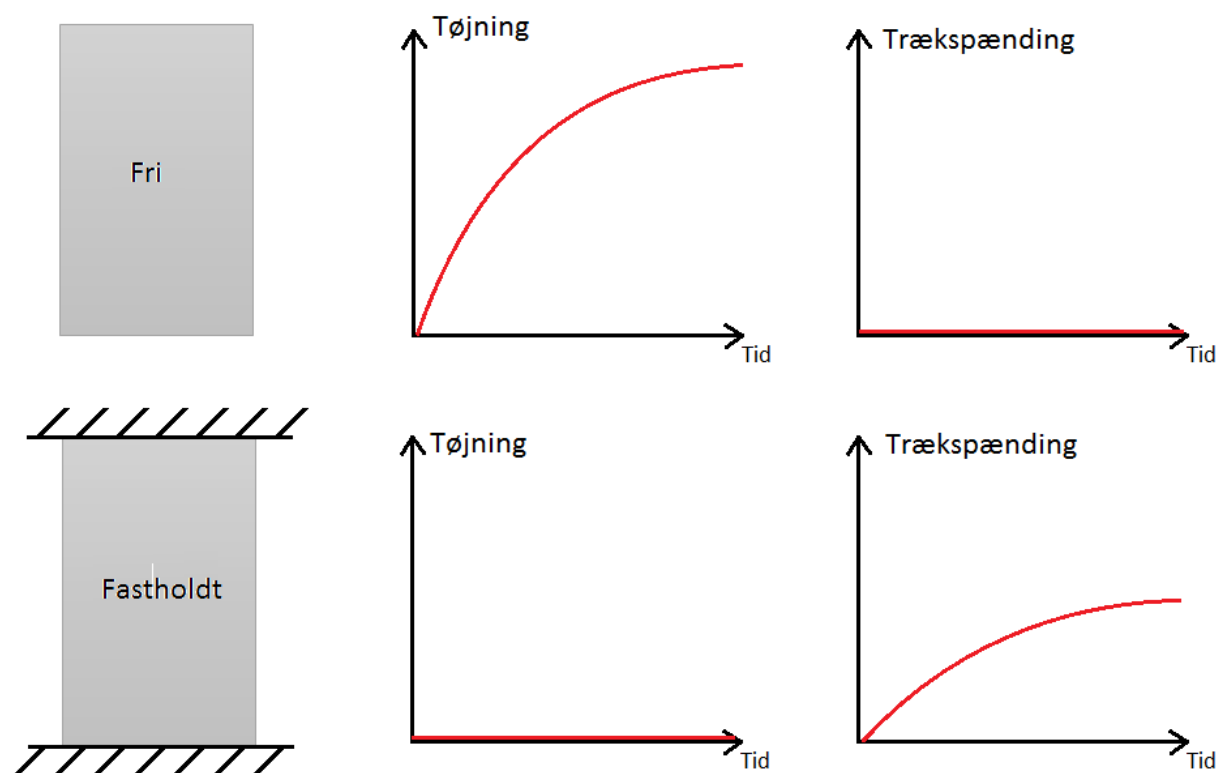
Figur 6. Model for vands faser i beton ved udtørring.

- a) Alle kapillarporer er fyldt med vand ($u = 100 \%$).
- b) Kapillarvandet er fordampet ($u \sim 30 \%$).
- c) Det adsorberede vand er fordampet ($u \sim 10 \%$).
- d) Det monomolekylære vandlag er ved at fordampe.
- e) Alt vand er fordampet ($u = 0 \%$).

De fleste forskere har den opfattelse, at både udtørringssvind og krybning skyldes frigivelse af fysisk adsorberet vand fra overfladen af C-S-H. Forskellen mellem udtørringssvind og krybning er således, at mens det for udtørringssvind er forskellen mellem den relative fugtighed i luften og betonen, der er den drivende kraft, så er det for krybning den påførte kraft.

Udtørringssvind har størst betydning for slanke konstruktioner, der har et højt specifikt overfladeareal, hvilket vil sige, at overfladearealet er stort i forhold til volumen.

Derudover har det stor betydning, om konstruktionen kan svinde frit (fx en betonflise på jord), eller om den er fastholdt (fx en væg på et fundament). I konstruktioner, der kan svinde frit, vil der ikke opstå svindrevner, mens der i fastholdte konstruktioner vil opstå trækspændinger i betonen. Hvis trækspændingerne overstiger betonens trækstyrke, vil der opstå revner.

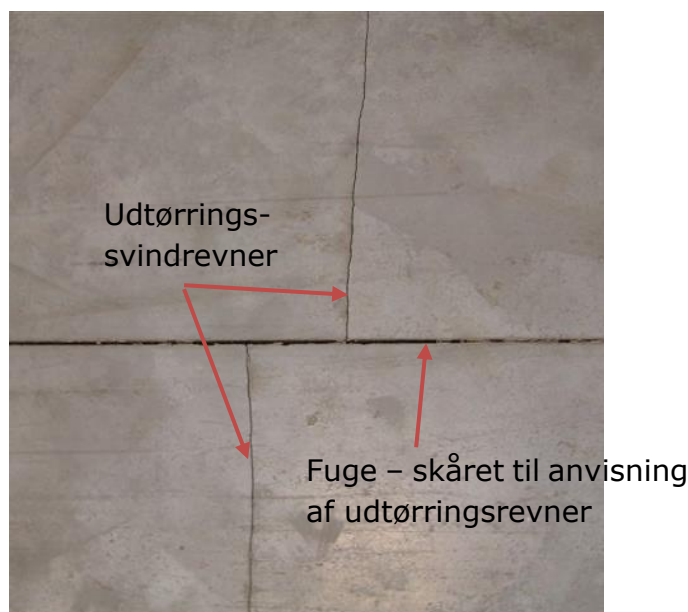


Figur 7. I konstruktioner der kan svinde frit, vil der ske tøjninger, men ikke opstå trækspændinger. I fastholdte konstruktioner kommer der ingen tøjning, men i stedet opstår der trækspænding, som vokser når betonen svinder, hvilket kan medføre revnedannelse. I praksis vil konstruktioner ikke være fuldstændigt frie og fastholdelsen ikke være 100 % effektiv, hvorfor der vil ske både en tøjning og en opbygning af trækspændinger.

10.4.4 Praktisk anvendelse

Svindrevner i en uarmeret betonkonstruktion vil være få, men grove. Kan dette ikke accepteres, skal der indlægges svindarmering, der vil medføre flere, men mindre svindrevner.

Et stort gulv på jord eller en lang slank væg på fundament er eksempler på konstruktioner, der ikke kan svinde frit. Svindrevner i gulve og lange vægge på fundament kan undgås ved at indlægge fuger med passende mellemrum. En tommelfingerregel for gulve siger, at afstanden mellem fuger ikke bør overstige ca. 5 meter. Større gulvkonstruktioner skal armeres, så revnevidden kan begrænses til en acceptabel størrelse. Se mere om styring af revnevidder i afsnit 9 Udførelse.



Figur 8. Udtørningssvindrevner i et industrigulv opstået inden for den første uge efter udstøbning.

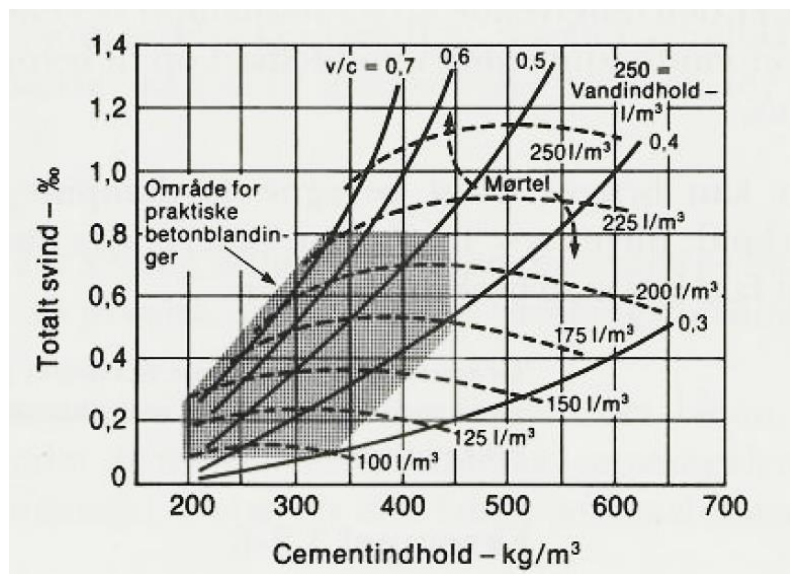
Påføres en konstruktion en konstant belastning (spænding) over en længere periode, vil tøjningen stige. Omvendt vil spændingen falde, hvis man påfører konstruktionen en konstant tøjning over en længere periode. Dette kaldes krybning. Krybning modvirker til dels dannelsen af svindrevner, se afsnit 10 Hærdnende og hærdnet beton.

10.4.5 Bestemmelse af udtørningssvind

Der findes ingen DS/EN standard vedrørende bestemmelse af udtørningssvind. En ofte anvendt metode går ud på, at der udstøbes et antal prismer på 100 x 100 x 400 mm, der vandlagres i 7 døgn, hvorefter de udtørres ved en relativ fugtighed på fx 50 %. Under denne udtørring måles svindet med passende mellemrum, indtil der stort set ikke er mere svind.

Udtørningssvindet afhænger primært af vandindhold og cementindhold. Svindet øges med øget cementindhold og med øget vandindhold. Figur 9 viser sammenhængen mellem cementindhold, vandindhold og slutsvind bestemt efter ovennævnte metode.

Udtørningssvindet i gode betonblandinger til gulve og anlægskonstruktioner vil typisk være 0,5 ‰ eller lavere. De svagere betoner vil tilsvarende have et udtørningssvind på op til 0,8 ‰.



Figur 9. Sammenhæng mellem cementindhold, vandindhold og slutsvind bestemt efter ovennævnte metode. Figuren er hentet fra Betonbogen, 2. udgave, side 108 [2].

10.4.6 Litteratur

- [1] ACI Manual of concrete practice, American Concrete Institute, 2010.
- [2] A. M. Herholdt, C. F. Justesen, P. Nepper-Christensen og A. Nielsen, Beton-Bogen, 2. udgave, Aalborg Portland, 1985.
- [3] HETEK Efterbehandling, Anvisning, Rapport nr. 103, 1997, Vejdirektoratet. Kan downloades fra www.teknologisk.dk