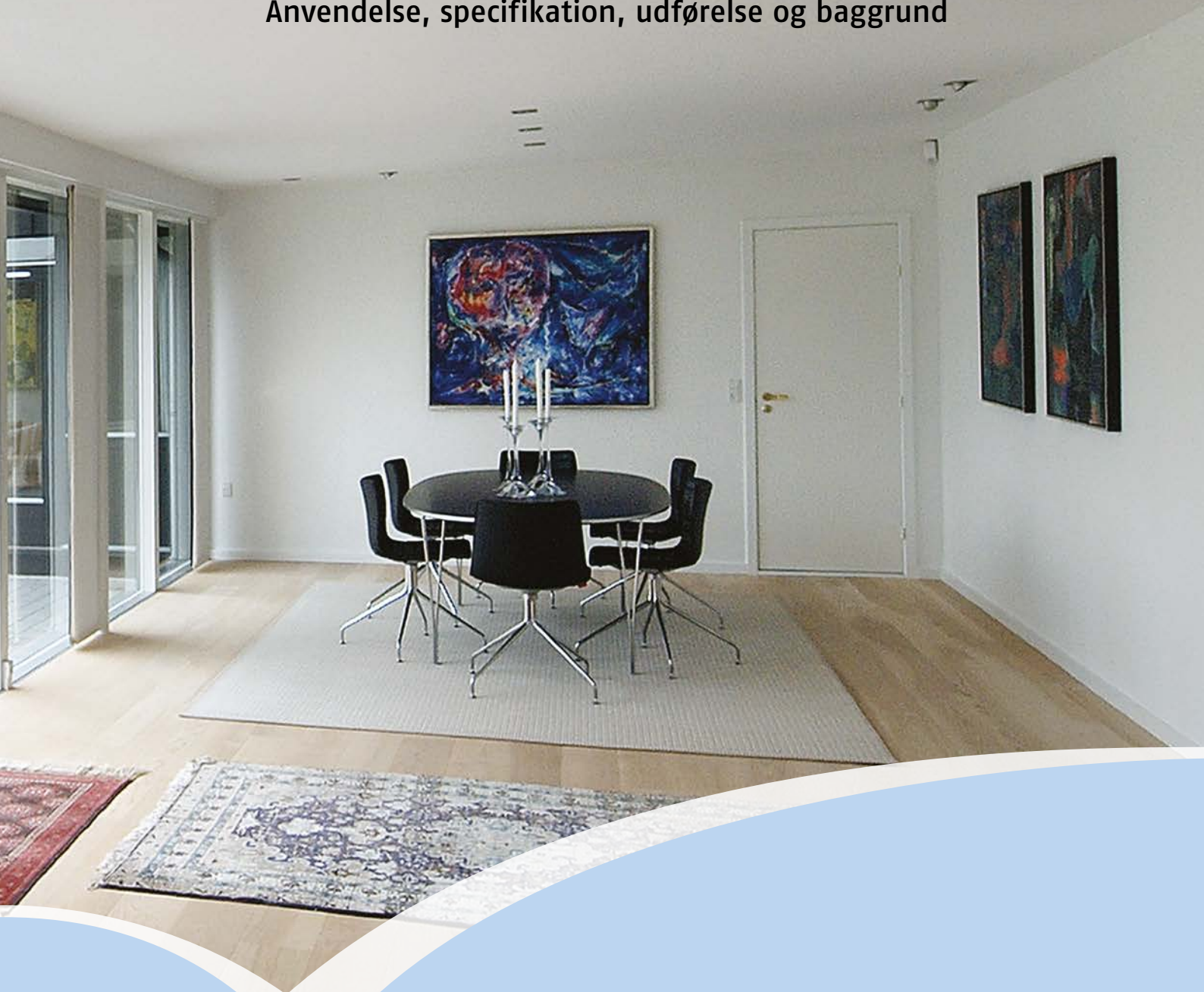


# Selvudtørrende beton - til gavn for byggeriet

Anvendelse, specifikation, udførelse og baggrund



dansk  beton

---

**FABRIKSBETONGRUPPEN**

## Et byggemateriale med store perspektiver

Det sker tit, at der støbes betongulve/terrændæk, uden at det er blevet overvejet, hvor lang udtørringstiden vil være. Den "sidste bygningsoverflade" i rækkefølgen for færdiggørelse af de fleste byggerier er gulvet. Byggeriet kan således ofte ikke blive færdigt, fordi betonen i gulvet er for fugtig. Hvis der i stedet var anvendt en betonsammensætning, der "tørres af sig selv" og opbruger det overskydende blandevand, ville forsinkelsen eller overraskelsen næppe være blevet aktuel. En beton med sådanne egenskaber betegnes "selvudtørrende". Der er ikke tale om en tør og strid betonblanding, men om en blanding, der i frisk tilstand stort set opfører sig som man er vant til med beton. Betonen kan endda leveres som selvkom-pakterende ved hjælp af moderne superplastificeringsmidler.

Selvudtørrende beton giver byggeriet en række fordele, der i sidste ende udmønter sig i bedre kvalitet, tidsbesparelser, produktivitetsforbedringer, lavere følgeomkostninger og miljøfordele. Selvudtørrende beton bør anvendes til de opgaver, hvor udtørringstid er vigtig og hvor risiko for fugtproblemer ønskes minimeret. Det er baggrunden for denne publikation.

## Selvudtørrende beton – hvad?

Beton kan siges at være selvudtørrende, hvis den inden for en fastsat tid udtørres til under et kritisk niveau, uden at der tilføres ekstra energi til udtørringen, og uden at der er behov for afgivelse af fugt til omgivelserne. Denne definition giver anledning til at have flere varianter af selvudtørrende beton, nemlig varianter, der spænder fra "hurtig" til "normal" selvudtørrende beton.

Når almindelig beton fremstilles, indeholder blandingen ofte mere vand, end den tilsatte cement kan opbruge ved sin fuldstændige hydratisering (hærdning). Vandet er nødvendigt for at gøre den friske beton bearbejdelig. Vandet reagerer med cementen, hvilket omdanner den flydende beton til et fast stof. Efter mange ugers hærdning kan der fortsat være en betydelig mængde overskudsvand tilbage i porerne inde i beton, der ellers ser tør ud på overfladen.

Når selvudtørrende beton fremstilles, indeholder blandingen mindre vand, end den tilsatte cement kan opbruge ved sin fuldstændige hydratisering (hærdning).

I selvudtørrende beton udnyttes cementen både som binde-middel for at give betonen styrke og som en kemisk fugtabsorber. Selvudtørrende beton vil normalt opnå en trykstyrke, der er større end styrkekravet.

*Selvudtørring i beton foregår som en kemisk reaktion overalt i betontværsnittet og ikke ved transport og fordampning af vand igennem overfladen.*

Det er oplagt at benytte selvudtørrende beton bl.a. i følgende situationer:

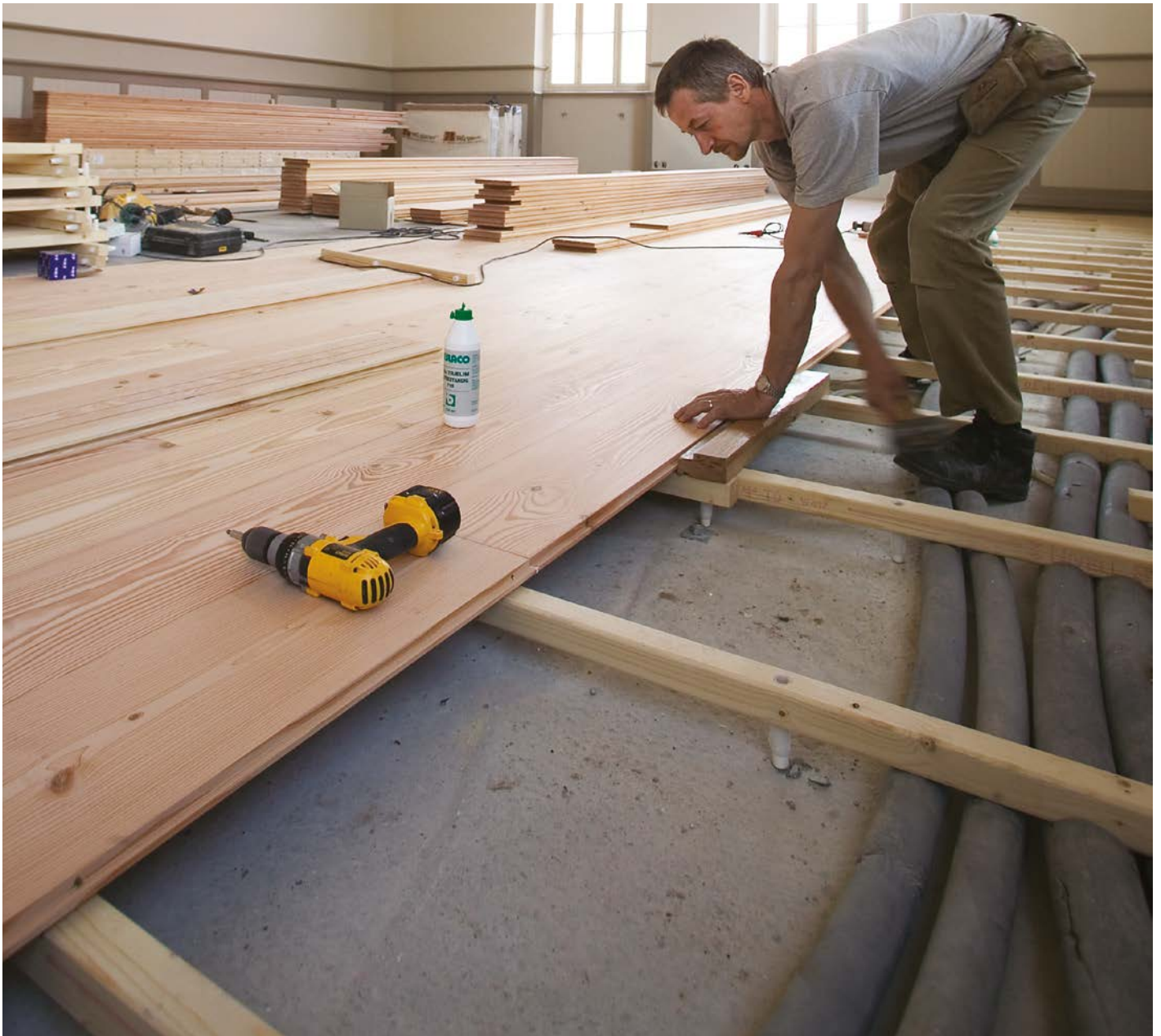
- Når der skal pålimes en gulvbelægning (tæpper eller banevarer)
- Når der skal udføres et trægulv (svømmende eller på strøer)
- Når det kræves, at en stor del af betonens svind er forløbet, inden gulvbelægningen udføres (typisk ved flisebelægninger)
- Når en stram tidsplan og byggefugt skal håndteres.
- Når betonoverflader skal behandles med fugtfølsomme materialer

Selvudtørrende beton kan dog anvendes til alle betonkonstruktioner, hvor der er brug for et lavt fugtindhold for at fremme byggeprocessen – og fx for at kunne overholde Bygningsreglementets krav til fugtsikring af nybyggeri.

Nærværende publikation indeholder korte, handlingsorienterede afsnit, der henvender sig til alle, som bygger nyt eller bygger om. Hertil kommer et dokumentationsafsnit med mere dybtgående information og inspiration for den særligt interesserede læser.







## Selvudtørrende beton – hvornår?

Beton er først klar til at være underlag for en fugtfølsom belægning, når det overskydende vand er fordampet/opbrugt og betonen er passende tør.

Beton med overskydende vand vil kunne skabe problemer for tørring af lim/kunststoffer, og den kan indeholde nok fugt til, at nylagte trægulve vil kunne deformeres skadeligt og/eller vil kunne udvikle skimmelsvamp.

En tilstrækkelig udefra påtvunget udtørring kan vare i op til et år og vil være forbundet med betydelige udgifter til opvarmning/udtørring med et stort energiforbrug.

Desuden vil betonens udtørring bevirke et svind, der vil forløbe over mindst lige så lang tid som udtørringen. Indstiller betonen sig hurtigere i fugtlige vægt med omgivelserne, vil svindet tilsvarende forløbe hurtigere – og det er uden, at totalsvindet i sidste ende bliver større. Det svind, der først finder sted efter, at der er udført en belægning, betegnes "restsvindet", og det kan opbygge skadelige spændinger, hvis der er tale om stive belægninger med god vedhæftning.

Anvendes selvudtørrende beton til terrændæk, vægge og dæk, vil udførelsestiden og omkostningerne til udtørring af råhuset kunne reduceres drastisk. Det giver samtidig gode muligheder for energibesparelser.

## Selvudtørrende beton – hvordan?

Selvudtørrende beton adskiller sig i udførelsesfasen stort set ikke fra traditionel beton. Kun på enkelte områder kræver selvudtørrende beton særlig opmærksomhed:

- Tidlig afdækning for at imødegå plastisk svind og tidligt udtørringssvind
- Betonen kan virke mere sej at arbejde med

Selvudtørrende beton har dog også en række fordele:

- Kortere byggeperiode på grund af sparet tid til udtørring.
- Ikke behov for beskyttelse mod nedbør i byggeperioden, da selvudtørrende beton ikke opfugtes nævneværdigt.

- Enklere dokumentation af fugtniveauet i henhold til Bygningsreglementet.

Disse fordele opnås ved at betale en merpris for materialet selvudtørrende beton, men merprisen er i langt de fleste tilfælde givet godt ud. Merprisen afhænger af flere ting, herunder udgangspunktet (dvs. den ellers foreskrevne eller tiltænkte beton), men et tillæg på 20-30 % af betonens pris må ofte forventes. "Investeringen" tjener sig hjem i selve byggeperioden ved sparet energi og sparet tid til udtørring.

## Sådan specificeres selvudtørrende beton

Selvudtørrende beton er hos nogle betonleverandører blevet et standardprodukt. Betonen fremstilles ofte med CEM I cement, der har styrkeklasse 52,5, men CEM I cement med styrkeklasse 42,5 kan også anvendes.

Flyveaske bør ikke tilsættes i selvudtørrende beton, da formålet med flyveaske ofte er cementsatning, hvilket er til ugunst for den ønskede forkortede udtørringstid. Kalkfiller-cement eller andre cementer af typen CEM II bør af samme grund ikke anvendes til selvudtørrende beton.

### **Så enkelt er det**

- *Selvudtørrende beton specificeres ved krav om anvendelse af CEM I cement samt et v/c-forhold på højst 0,40 og evt. højst 0,35, hvis der kun er et par uger til rådighed til udtørringen*
- *Krav til styrkeklasse, miljøklasse og stenkvalitet afhænger af de øvrige krav i det aktuelle projekt.*

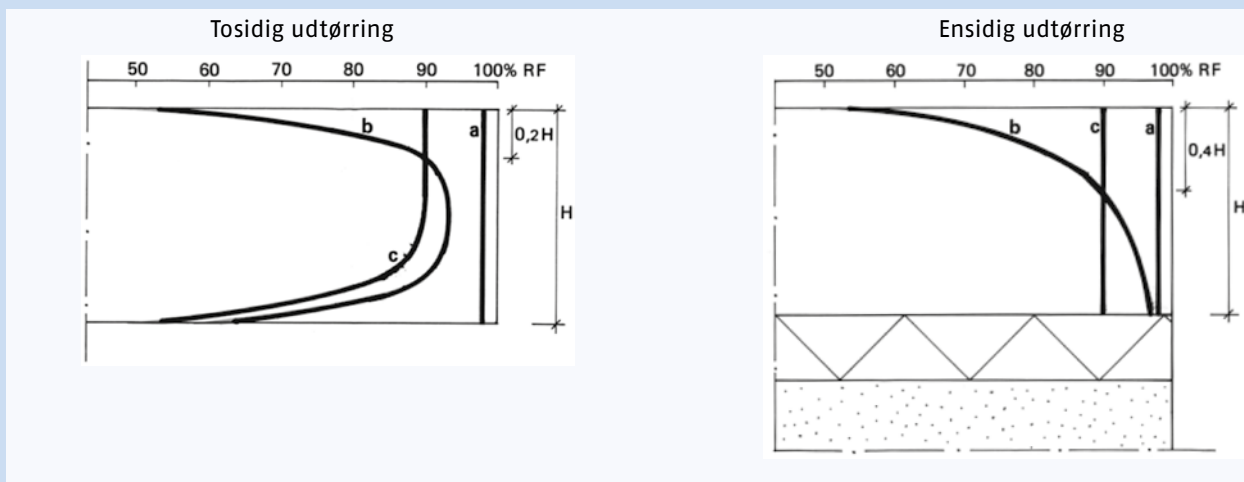




## Fugtmåling i nystøbt beton

Fugten i nystøbt beton under udtørring er ikke ensformigt fordelt. Forsegles betonoverfladen, før der er opnået en ensartet fugtfordeling over tværsnittet, vil fugten omfordeles. Det har vist sig, jf. [3], at hvis man måler et stykke inde i

betonen kan man i idealiserede tilfælde nøjes med at måle i ét punkt, hvorved man vil bestemme det gennemsnitlige fugtniveau i tværsnittet svarende til det fuldt omfordelte fugtprofil (se figur 1).



**Figur 1**

Figuren er fra [3] og repræsenterer forskellige stadier i to udtøringsforløb: Dels for en betonplade, der tørrer lige meget til over- og underside (tosidig udtørring) og dels for en betonplade, der kun tørrer fra en side (ensidig udtørring). Kurverne "a" er fugtprofilerne lige efter udstøbning, kurverne "b" er fugtprofilerne under udtørringen og kurverne "c" viser de udjævnede fugtprofiler efter pålægning af et tæt lag på betonoverfladen.



Måler man derfor på et vilkårligt tidspunkt det relative fugtindhold i 20 % af tykkelsen ved tosidig udtørring og 40 % af tykkelsen ved ensidig udtørring, får man således et godt mål for fugtindholdet i den endelige situation, hvis man ønsker at lægge en fugttæt belægning på overfladen. Det fremgår af figur 1, at placeringen af fugtføleren kan have stor og afgørende betydning for udfaldet af fugtmålingen, hvorfor dybden hvori fugtmålingen er udført i forhold til tykkelsen af betonen skal rapporteres sammen med fugtmålingen.

En relevant fugtmåling kan ikke gennemføres på beton ved måling direkte på overfladen.

Fugtmåling ved det kritiske fugtniveau er i praksis en svær disciplin, da temperaturudsving på blot  $\pm 3$  °C kan føre til kondensation, der kompromitterer målingen. Der findes mange elektroniske fugtfølere, som er enkle at bruge, men netop problemet med kondensation er svært at imødegå under praktiske forhold. Mest lovende under forholdene på en byggeplads er nok fugtfølere baseret på fugtfølsomme salte. Der findes sådanne prisrimelige fugtfølere specielt udviklet til at registrere, om fugtigheden i et hulrum i betonen har været over enten 90 % RF eller over 85 % RF i fx de seneste 24 timer. Anvendelse af disse "engangsmålere" har endnu kun en meget begrænset udbredelse i Danmark, men de findes fx i Sverige under navnet "Fuktstickan".

Når der herefter i det følgende refereres til et fugtindhold menes der konsekvent den relative fugtighed målt i en dybde fastlagt ud fra ovennævnte "regler".

## Udtørningskriterier

For at kunne fastlægge behovet for (selv)udtørring og tiden for opnåelse af tilfredsstillende fugtighed i beton, der skal have belægning på eller males, er det nødvendigt, at kende den kritiske værdi af betonens fugtindhold RFcr.

Det falder uden for denne publikations sigte at redegøre nærmere for dette. Svenske undersøgelser og erfaringer<sup>[2]</sup> viser, at for at undgå skader på fugtfølsomme belægninger og/eller for at sikre, at betonen har et tilstrækkeligt begrænset restsvind, så skal betons vandindhold normalt være så lavt, at den relative luftfugtighed i betonens porer, RFcr, er i ligevægt med 85–90 % eller lavere.

Danske undersøgelser viser tilsvarende erfaringer<sup>[5]</sup>.

Ved dette fugtniveau er både model- og måleusikkerhed forholdsvis stor (ofte  $\pm 3$  % RF), hvorfor kriteriet de facto er skærpet til højst 85 % RF. Dokumentation for opfyldelse af dette krav i en nystøbt beton skal gives med en passende

margin, således forstået, at konkrete måleværdier skal være på højst  $82 \pm 3$  % RF. Når dette niveau er nået, er betonen tør nok til videre belægning/behandling. Anvendes kriteriet i andre situationer, skal relevansen heraf dokumenteres.

Det er vigtigt hér at bemærke, at producenter af trægulve kræver, at trægulvet tidligst må udlægges, når den relative luftfugtighed i rummet, hvori gulvet skal lægges, højst er 65 % RF. Dette krav må ikke forveksles med ovennævnte kriterium. Kravet til rumfugten ved lægning af trægulve har relation til selve udlægningen og er opstillet af hensyn til trægulvets fugtbetingede bevægelser i brugssituationen.

Hvis den nystøbte betons fugtighed er nået ned på 85 % RF vil luftskiftet i rummet som regel være så stort, at det er uproblematisk at holde luftigheden på højst 65 % RF i et tæt hus – enten ved affugtning (om sommeren) eller ved opvarmning (om vinteren).

## Dokumentation

Det kræver langvarige og omfattende forsøg at studere udtørningsforløb i beton. I Sverige, på Lunds Tekniske Højskole er der udført omfattende forskning over en lang årrække, jf. <sup>[1]</sup>. Resultatet af denne forskning er udmøntet i et beregningsprogram, TorkaS 3.2:2012<sup>[1]</sup>, der frit kan hentes på Internettet.

Beregningsprogrammet, der beregner betons udtørningsforløb fra støbning og frem til en fastsat dato, er brugervenligt, og kan benyttes til at studere forskellige parametres og udstøbnings-scenariers betydning. Programmet og dermed de svenske forsøg danner grundlag for anbefalingerne i nærværende publikation. Der er ikke under praktiske forhold udført systematisk kontrol af simuleringer foretaget med TorkaS på danske cement- og betontyper, men der findes indikationer på, at simuleringer foretaget med TorkaS giver resultater på den sikre side.

### Cements reaktion med vand – hydratisering

Betons (cements) hærkning begynder så snart, vand og cement blandes. Cementen reagerer kemisk med vandet og danner gradvist en fast struktur, som binder sand og sten sammen i løbet af de første timer efter blandingen. Vand bindes hhv. kemisk og fysisk til cementen. En vandmængde svarende til 25 % af cementmassen kan bindes kemisk og en vandmængde svarende til 15 % af cementmassen kan bindes fysisk. Blandevand, der herefter er til overs, hvis v/c-forholdet er over 0,40, vil findes i betonens poresystem og kan fordampe. Dette vand vil bestemme den fugtighed som måles inde i betonen.

**Figur 2** viser, hvordan blandevandet ved reaktion med cement omsættes. Det vigtige i denne sammenhæng er at bemærke, at vandet forbruges alt imens cementen hydratiserer og får styrkeegenskaber. Det er blandingsforholdet mellem vand og cement (v/c-forholdet), der bestemmer betons styrke. Jo lavere v/c-forhold, jo større styrke. Men det gælder også, at jo lavere v/c-forhold jo mindre fordampeligt vand er der tilbage i betonen.

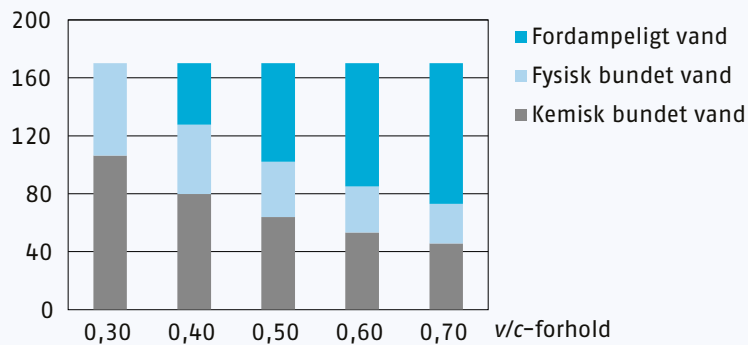
Ved at benytte beton med et tilpas lavt v/c-forhold er det muligt at opnå selvudtørring (**se Figur 2**). Selvudtørringen foregår således som en kemisk reaktion overalt i betontværsnittet og ikke ved transport og fordampning af vand gennem overfladen. Dette er en stor fordel, idet udtørningsforløbet derved er stort set uafhængigt af klimaet på byggepladsen (**se Figur 5**).

### v/c-forholdets betydning

Som det er vist i **Figur 2** er det v/c-forholdet, der er bestemmende for, om der opstår selvudtørring i beton. Hvor hurtigt udtørring til det kritiske fugtniveau sker, bestemmes også af v/c-forholdet. Dette fremgår af **Figur 3**. Som nævnt kan selvudtørrende beton give betydelige tidsmæssige gevinster i byggeperioden. Effekten fremgår af **Figur 3**.

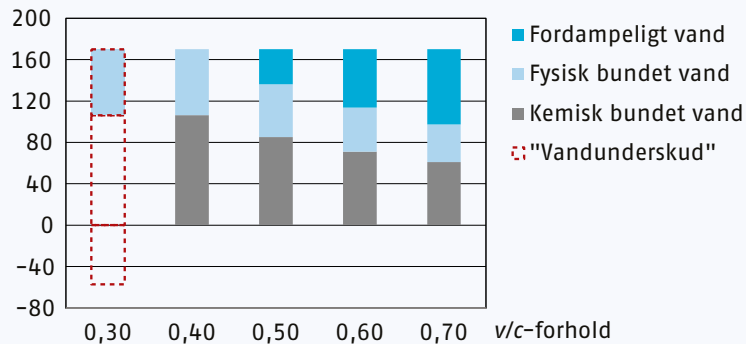
### Omsætning af vand ved hydratisering af cement, 75 % hydratisering (1- 2 ugers hærkning)

Mængde, kg/m<sup>3</sup>



### Omsætning af vand ved hydratisering af cement, 100 % hydratisering (mere end 1 måneds hærkning)

Mængde, kg/m<sup>3</sup>

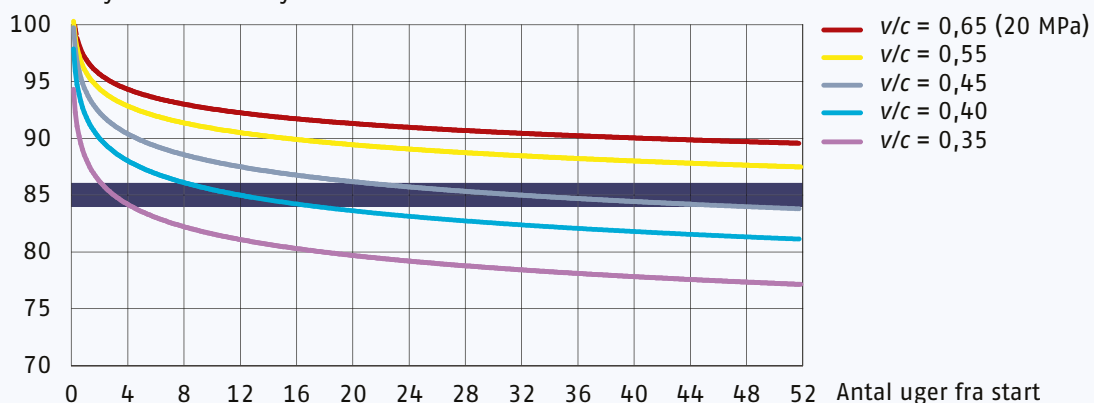


### Figur 2

Illustration af hvordan vand bindes i større grad jo lavere v/c-forhold betonen støbes med. Ved v/c=0,40 sker netop selvudtørring ved fuldstændig hærkning (100 % hydratisering) uden fugt-afgivelse. Hurtigt selvudtørrende beton er illustreret til venstre og konventionel gulvbeton er illustreret til højre i diagrammerne. Ved kun 75 % hydratisering (1-2 ugers hærkning) vil der være restfugt selv i beton med v/c=0,40. Beton med v/c= 0,30 vil derimod være tør. Denne effekt er reel og udnyttes i praksis til at opnå selvudtørring hurtigere. De store mængder fordampeligt vand ved v/c= 0,60 og 0,70 er det vand, der opretholder det høje fugtniveau i fx gulve støbt med konventionel gulvbeton til passiv miljøklasse.

### Effekt af v/c-forhold på udtørring ved 20 ° C og 60 % RF ved betontykkelsen 12 cm

% RF i dybden 40 % af tykkelsen

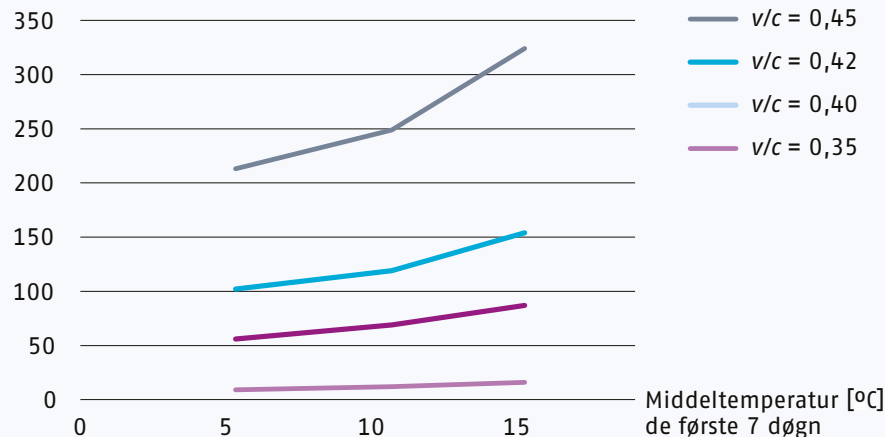


### Figur 3

Ved hjælp af [1] er en række scenarier med støbning med forskellige v/c-forhold, jf. angivelserne på figuren, gennemregnet. Bemærk, at udtørringstiden for ensidig udtørring ved 20 ° C og 60 % RF for at opnå 85 % RF i 40 % af tykkelsen falder med faldende v/c-forhold. Selv efter et års udtørring bliver 85 % RF ikke opnået i beton med v/c-forhold på 0,55 og derover. Resultaterne er ikke verificeret i praksis.

### Udtørringstid for 12 cm terrændæk i afhængighed af middeltemperaturen i den første uge efter støbning

Antal døgn til 85 % RF



**Figur 4**

Ved hjælp af<sup>[1]</sup> er en række scenarier med betonstøbning på forskellige tider af året gennemregnet for at vise effekten af betonens temperatur i de første døgn efter udstøbning. Udtørringsbetingelserne er hér udendørsklima, men beskyttet mod nedbør. Bemærk, at udtørringstiden stiger jo højere temperaturen er i de første 7 døgn efter støbningen. Effekten menes at skyldes, at hærdetemperaturen i de første døgn har indflydelse på betonens porestørrelsesfordeling og derved fugttransportegenskaber. Effekten får derfor større betydning, jo mindre selvudtørrende en beton er.

### Effekt af det omgivende klima

Nyere forsøg<sup>[1]</sup> har vist en overraskende temperatureffekt på betons udtørring. Effekten er, at beton, der i de første døgn har hærdet ved en relativ høj temperatur, udtørres langsommere end, hvis den i de første døgn har hærdet ved en relativ lav temperatur. Det viser sig, at udtørringstiden afhænger af betonens temperatur de første få dage, hvor betonens poresystem dannes. Effekten får derfor større betydning, jo mindre selvudtørrende en beton er.

Denne effekt er relevant at kende, hvis man planlægger at støbe med samme betontype året rundt. Beregningerne, der ligger til grund for **Figur 4** viser tendensen. Det må dog anbefales altid at udføre beregningen for hvert konkret tilfælde.

### Effekt af regnpåvirkning

Den sidste af de fremhævede tekniske fordele ved selvudtørrende beton er, at den selvudtørrende beton ikke opfugtes selvom den henstår uafdækket og udsat for regn. Dette er illustreret i **Figur 5**, der dels viser, hvordan temperatur og fugtighed er forudsat at variere over året, og dels viser den forudsatte hyppighed af nedbør, medmindre betonen henligger under tag. Figuren viser endelig fugtprofilernes udvikling i forskellige betoner som funktion af tiden for beton med v/c-forhold fra 0,35 til 0,65. Det ses, at de mest selvudtørrende betoner udtørres næsten upåvirket af et års udendørsklima med jævnlig regnpåvirkning.

Man kan ud fra **Figur 5** slutte, at hvis man ikke på forhånd ved, om betonen skal henligge uafdækket mod nedbør i byggeperioden, så bør man anvende beton med v/c-forhold på under 0,45 (fx 0,40). Vælger man at benytte beton med v/c-forhold over 0,45 skal man enten påregne, at holde den afdækket eller påregne udtørring, inden der kan udlægges/påføres en fugtfølsom belægning/behandling.

### Vurdering af udtørringstid

Som det fremgår af de viste figurer kan programmet TorkaS benyttes til planlægning af betonarbejdet (mht. valg af betonrecepter og udstøbningstidspunkter) under hensyntagen til udtørringsscenariet. TorkaS kan også benyttes til vurdering af udtørringstiden, hvis betonrecepten er fastlagt og udtørringsregimet er kendt.

Man kan fx fortsætte undersøgelsen af, hvordan man får betonen med v/c-forhold på 0,65 i **Figur 5** til at tørre, hvis den udstøbes den 1. februar. Gøres det, vil man konstatere, at man skal holde betonen beskyttet mod nedbør, lukke råhuset og etablere et relativt ekstremt indendørsklima på 30 °C og 35 % RF straks efter støbningen og fastholde dette udtørringsklima, for at nå ned på 85 % RF et år senere. Havde man i stedet anvendt en selvudtørrende betonkvalitet, ville man kunne undgå disse tiltag.

### Vurdering af omkostninger

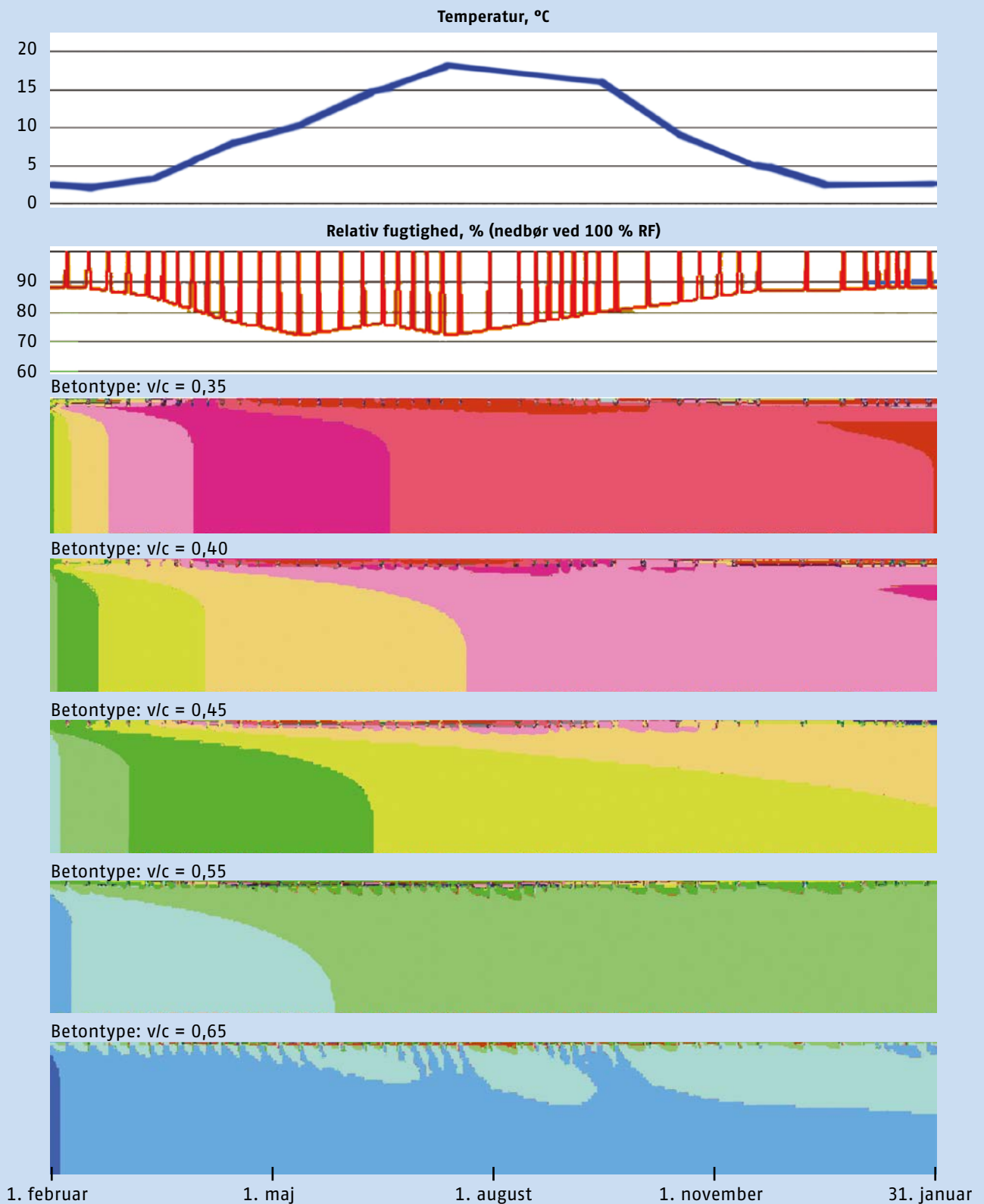
Merprisen for at udskifte en beton med v/c-forhold på 0,65 til en med v/c-forhold på 0,40 vil typisk være 200–300 kr. pr. m<sup>3</sup> beton. Ved en betontykkelse på fx 150 mm giver dette en merpris på 30–45 kr. pr. m<sup>2</sup> etageareal.

Normal opvarmning af en bygning kan beløbe sig til 30–120 kr. pr. m<sup>2</sup> etageareal pr. år afhængig af isoleringsgrad og opvarmningsform (fjernvarme er billigst – elvarme er dyrest).

Etablering af fjernnævnte ekstreme udtørringsregime (30 °C og 35 % RF) skønnes at ville beløbe sig til mindst det dobbelte af et normalårsforbrug, svarende til 60–240 kr. pr. m<sup>2</sup> etageareal.

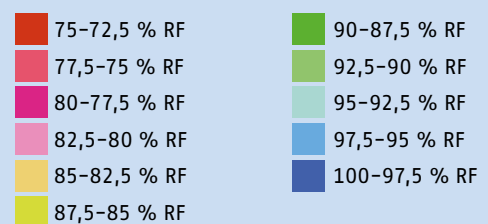
På denne baggrund ses det, at alene energibesparelsen ved at anvende selvudtørrende beton let kan betale merudgiften til betonen. Dertil kommer muligheden for at afkorte byggetiden mv.





### Figur 5

Betydning af nedbør på betonoverfladen for fugtprofilen i en 12 cm tyk betonplade støbt på plastfolie i afhængighed af betonkvaliteten ved et års eksponering fra 1/2 til 31/1. Beton med  $v/c$ -forhold på 0,40 og derunder udtørres til under 85 % RF, selvom det jævnligt regner. Beton med  $v/c$ -forhold over 0,55 opfugtes derimod af nedbøren og tørrer således ikke til et acceptabelt niveau under åben himmel.









## Referencer:

- 1 TorkaS 3.2:2012, program, manual og dokumentationsrapport. Lund Universitet, ([www.fuktcentrum.se](http://www.fuktcentrum.se)), 2012
- 2 Lars-Olof Nilsson: Fuktpåverkan på material - kritiska nivåer. TVBM-7178, Lund, 2004
- 3 Fuktmätning i betong, version. 5, ([www.rbk.nu/Fuktmatningsmanual.asp](http://www.rbk.nu/Fuktmatningsmanual.asp)), 2010
- 4 Nielsen, C.V. & Olsen, L.: Udtørring af beton i byggefasen, Arbejdsrapport nr. 37, Miljøstyrelsen, 2006
- 5 Gulvbranchen, Gulvfakta, [www.gulvbranchen.dk](http://www.gulvbranchen.dk)





Tekst og figurer er udarbejdet af ALECTIA, i samarbejde med Dansk Beton, Fabrikbetongruppen.

Dato: December 2013

Layout: Dansk Byggeri/Ditte Brøndum

Foto: Simon Ladefoged, Ulrik Samsøe Figen, Anders Bach, Ricky John Molloy

Tryk: KLS Grafisk Hus A/S

Oplag: 10.000



dansk  beton

Fabrikbetongruppen

1358 København K

Tlf. 72 16 00 00

[www.fabrikbetongruppen.dk](http://www.fabrikbetongruppen.dk)