



## Udtørring af betongulve – en tilbagevendende problematik

Ved byggerier, hvori der indgår svind- og fugtfølsomme belægninger, er udtørring, svind og restfugt tilbagevendende temaer for diskussioner mellem entreprenør og bygherre.

Udtørring af hærdnet beton er en langsom og vanskelig forudsigelig proces.

Udtøringsprocessen kan godt formuleres rent matematisk, men kendskabet til den aktuelle beton og omgivelsernes aktuelle udtøringsforhold er som regel utilstrækkelig til at forudsige restfugt eller relativ porefugtighed med særlig god nøjagtighed. Derfor er svindforløb og restsvind også vanskeligt forudsigelige størrelser.

De ældre værktøjer, som f.eks. metoden side 197 i BetonBogen [1], kan derfor ofte give ligeså gode resultater til planlægningsfasen, som med mere avancerede værktøjer.

Metoden findes som et Excel regneark, som kan rekvireres på tlf. 99 33 77 54 eller bestilles på Aalborg Portlands hjemmeside [www.aalborgportland.dk](http://www.aalborgportland.dk).

### Måling af restfugt

I praksis kan dokumentation kun baseres på målinger, men rent måleteknisk er det også vanskeligt at måle den relative fugtighed i betonen – ikke mindst i praksis.

Med de fleste udstyr placeres en føler i et boret hul eller i et indstøbt rør i betonen, og efter nogen tid opnår føleren fugtligevægt med beto-

nen, og betonens relative fugtighed kan aflæses/beregnes.

I de uger eller måneder efter støbningen, hvor det er interessant at måle restfugten, vil fugtprofilen variere ned gennem betonen, og med disse udstyr vil målingen derfor repræsentere en middelfugt i borehullets længde, eller i bunden af det indstøbte rør.

Med andre måleudstyr holdes en føler kortvarigt ned mod betonoverfladen, og her vil målingen repræsentere en middelfugt i de øverste cm af betonen.

Hvis operatøren ikke har tilstrækkelig erfaring med udstyret, indsigt i dets måleprincipper og kalibreringsprocedurer kan resultaterne være meget usikre.

Målinger behæftet med store fejl har ikke mere værdi end slet ingen målinger – ofte mindre, og under alle omstændigheder skal man være omhyggelig med forberedelserne til målingen, herunder kalibrering af udstyret.

### Restfugt og betonkvalitet

Stærke betoner er tætte, og udtørringen af det overskydende vand (restfugt) sker derfor kun langsomt. Svagere betoner er mindre tætte, men indeholder til gengæld mere overskydende vand, så selv om

fugten har lettere ved at undslippe, tager det lang tid pga. den større vandmængde.

Meget svage og porøse betoner vil sjældent være løsningen, da der af en række andre årsager ønskes gode og holdbare betoner. Det er derfor mere nærliggende, at interessere sig for den anden ende af skalaen, og tilstræbe mindst mulig eller slet ingen restfugt i den hærdnede beton. Selvudtørrende betoner har været på markedet i nogle år, og selv om erfaringerne er gode, har de aldrig opnået den store udbredelse.

Betydningen af betonsammensætningen – især vand/cementforholdet – er illustreret i det efterfølgende eksempel, idet vandets forskellige faser i betonen indledningsvis omtales.

Cementen binder under hydratiseringen ca. 25 % af sin vægt som kemisk bundet vand i hydratiseringsprodukterne. Dette vand er ikke-fordampeligt ved temperaturer under 100 °C.

Herudover adsorberes der på hydratiseringsprodukternes overflader en vandmængde svarende til ca. 15 % af cementens vægt. Dette vand er principielt fordampeligt, men først ved lave damptryk i betonens poresystem, eller ved stigende temperatur – op til ca. 100 °C.

Cementen vil altså binde ca. 40 % af sin vægt som kemisk og fysisk bundet vand, der ikke vil være til gene for f.eks. trægulve eller andre fugtfølsomme belægninger.

Den samlede tilsatte vandmængde minus disse 40 % af cementmængden vil derimod findes som kapillarvand, og vil opføre sig som vand normalt gør. Det vil således opretholde en relativ luftfugtighed i betonens poresystem på tæt ved 100 %, indtil det er udtørret til omgivelserne.

### Eksempel 1

En beton med 150 l vand og 215 kg cement pr. m<sup>3</sup> (v/c 0,70, svarende til styrklasse 20) vil – når cementen er reageret – indeholde (150-215 x 0,40=) 64 liter frit vand pr. m<sup>3</sup>, som skal fjernes ved udtørring til omgivelserne.

Tilsvarende vil en beton med 150 liter vand og 300 kg cement pr. m<sup>3</sup> (v/c=0,50, styrkeklasse 30-35) indeholde (150-300 x 0,40=) 30 liter frit vand pr. m<sup>3</sup>, svarende til ca. 55 % mindre frit vand, som skal udtørre til omgivelserne.

Det absorberede vand i tilslaget vil også være fordampeligt, og kan udgøre et væsentligt bidrag til den restfugt, der skal udtørre til omgivelserne, og man bør derfor tilstræbe materialer med lav absorption.

En forskel i absorption på klasse A materialer og klasse P materialer på f.eks. 2 %, vil med 1800 kg tilslag pr. m<sup>3</sup> medføre en forskel på 36 kg vand, som også skal transporteres ud af betonen før fugtigheden falder væsentligt under 100 %.

For konstruktioner, hvor lav restfugt er afgørende, bør man, jf. eksemplet anvende tilslag med lav absorption – typisk klasse A materialer.

Endelig skal man være opmærksom på risikoen for at der kan tilføres fugt udefra i byggeperioden.

Det kan "koste" mange uger senere i byggeriet, hvis man overser dette.

### Udtørring til omgivelserne

Udtøringsprocessen til omgivelserne er for så vidt velbeskrevet, men kendskabet til den aktuelle betons permeabilitet og omgivelsernes aktuelle udtøringsforhold er som regel utilstrækkelig til at forudsige restfugten med særlig god nøjagtighed.

Når betonkvaliteten er valgt og betonen er udstøbt, er der ikke så meget der kan gøres for at fremskynde fugttransporten i betonen, men man kan sørge for, at den fugt, som når op til overfladen kan fjernes løbende.

Udtørring sker til luften, og en helt grundlæggende forudsætning for at få fugten væk fra betonen, er at den omgivende luft kan optage fugten, og at den opfugtede luft erstattes af ny tør luft, som kan optage ny fugt etc. Dette kan sikres ved passende højt luftskifte, evt. med opvarmning af luften eller ved hjælp af affugtere.

### Eksempel 2

Luftens evne til at optage fugt er stærk temperaturafhængig, og i de 6 kolde måneder har luften stort set ingen evne til at optage fugt, med mindre den opvarmes.

Med en temperatur på f.eks. 6 °C og en relativ fugtighed på 85 % RF, vil 1 m<sup>3</sup> luft f.eks. kunne optage ca. 1 g vanddamp.

Hvis der skal fjernes noget der ligner 10 kg vand /m<sup>2</sup> (10 cm gulv med 20 MPa, klasse P tilslag), vil det f.eks. kræve 10.000 m<sup>3</sup> luft. Hvis luftskiftet i rummet (3 m loft-højde) er 5 gange i timen, vil det således vare op mod 300 døgn, før betonens porefugtighed vil være under 100 %. I praksis vil det formentlig vare meget længere, og

man vil aldrig komme under luftens fugtighed.

Hvis den samme luft opvarmes til 20 °C, vil luftens relative fugtighed falde til ca. 35 % RF. Luftens evne til at optage fugt øges derved til godt 12 g vanddamp/m<sup>3</sup> luft, og teoretisk vil den opvarmede luft med det forudsatte luftskifte kunne fjerne de 10 kg/m<sup>2</sup> i løbet af ca. 3 uger. I praksis vil der sandsynligvis ske det, at det nu vil være den indre fugttransport, som bliver det langsomste led i processen, så udtørringen vil vare noget længere.

I sommerperioden vil man også have fordel af højere temperaturer, dog vil luftfugtigheden være noget højere, typisk 60-70 % RF, og dermed luftens evne til at optage fugt væsentlig ringere.

Eksemplet illustrerer betydningen af luftens kapacitet til at optage den fugt, som når op til betonoverfladen, og hvis der for alvor skal fjernes fugt, skal lufttemperaturen være høj og der skal være et stort luftskifte.

Anvendelse af affugtere vil også være mest effektiv, hvis lufttemperaturen er høj – helst ikke under 15°C, og der vil derfor i de kolde måneder være behov for at opvarme luften – udover den opvarmning, som affugteren tilfører. Husk at der skal benyttes tør opvarmning – ikke gasbrændere, som vil tilføre fugt til luften.

Uanset valg af udtøringsmetode, skal der sikres, at der er en god luftcirkulation i hele rummet.

Principielt vil udtørringen forløbe hurtigere, jo varmere og jo tørrere luften er, men det vil øge udgifterne uforholdsmæssigt meget, hvis man overdimensionerer affugtningen.

Et uforpligtende – men forhåbentlig kvalificeret – gæt, kunne være, at et temperaturniveau på 20-25 °C, en luftfugtighed på 50-60 % RF og en lufthastighed på 1-2

## Udtørningstid for betongulve

m/sek vil være tilstrækkeligt, hvis målet er en restfugtighed i betonen på 85 % RF.

Som nævnt indledningsvis i dette afsnit, er der ikke så meget, man kan gøre for at fremme fugttransporten inde i betonen, men hvis gulvet er forberedt til gulvarme, kan man udnytte denne til at fremskynde fugttransporten ud mod overfladen.

### Gulvvarme

Ved at hæve temperaturen i en fugtig beton fra f.eks. 15 °C til 30 °C, vil damptrykket i betonen øges 2½ gange, hvilket som udgangspunkt vil øge fugttransporten ud mod overfladen tilsvarende, og dermed også afkorte udtørningstiden tilsvarende.

Dette vil give en mere effektiv udnyttelse af energien, end ved opvarmning og affugtning af luften over betonen. Fugten skal naturligvis stadig kunne optages i luften, men en god ventilation kombineret med den opvarmning af luften, som sker fra den varme beton, vil i mange tilfælde være tilstrækkeligt.

Det løser endvidere de problemer, som kan opstå, hvis gulvvarmen først startes efter den færdige belægning er etableret.

På det tidspunkt er betonen (forhåbentlig) tilstrækkelig tør til at fugten ikke medfører problemer med belægningen, men betonen vil meget sjældent være så tør, at den er i ligevægt med de temperaturer og fugtigheder, som optræder for et "typisk dansk rumklima". Der vil som regel være en overskydende fugt, som med årene stille og roligt tørrer ud.

Hvis en sådan beton opvarmes af gulvvarmen fra f.eks. 20 til 30 °C vil en del af det vand, som ikke kunne fordampe ved 20 °C bidrage til et øget damptryk i betonen. Det vil øge fugttransporten mod overfladen og dermed risikoen for ophobning af fugt i belægningen og deraf følgende fugtskader.

Parameter	Værdi	Faktor
Betonkvalitet, v/c-forhold:	0,50 (m/luft)	0,30
Hærdningstid før udtørring:	1 uge, t < 150	0,70
Pladetykkelse:	100 mm	1,00
Udtørningsluftfugtighed:	60% RF	1,20
Udtørningstemperatur:	10 °C	1,35
Underlag:	Folie	1,00
Gennemsnitsporefugtighed:	90% RF	1,00
Estimeret udtørningstid:	20 døgn	

Figur 1. Excel program til vurdering af nødvendig udtørningstid.

Der kan også opstå problemer for ikke-fugtfølsomme belægninger som f.eks. klinker. Problemerne skyldes her det ekstra svind, som med tiden udvikles pga. den øgede udtørring. Så længe gulvet er varmt, vil det overlejres af den termiske udvidelse, men når gulvvarmen slukkes kan det samlede svind (efter klinkerne blev lagt) overskride klinkerbelægningens formåen og medføre opskydning af klinkerne.

Det vil derfor næsten altid være en fordel at planlægge byggeriet, så man i tilfælde af gulvvarme kan udnytte denne til at fremme betonens udtørring og svind. Man skal naturligvis sikre, at der de første dage er et højt fugtindhold i betonen af hensyn til hærdningen, men efter nogle dag kan gulvvarmen med fordel kobles til – gerne med en gradvis opvarmning over nogle dage – og temperaturen må gerne øges til lidt over normal driftstem-

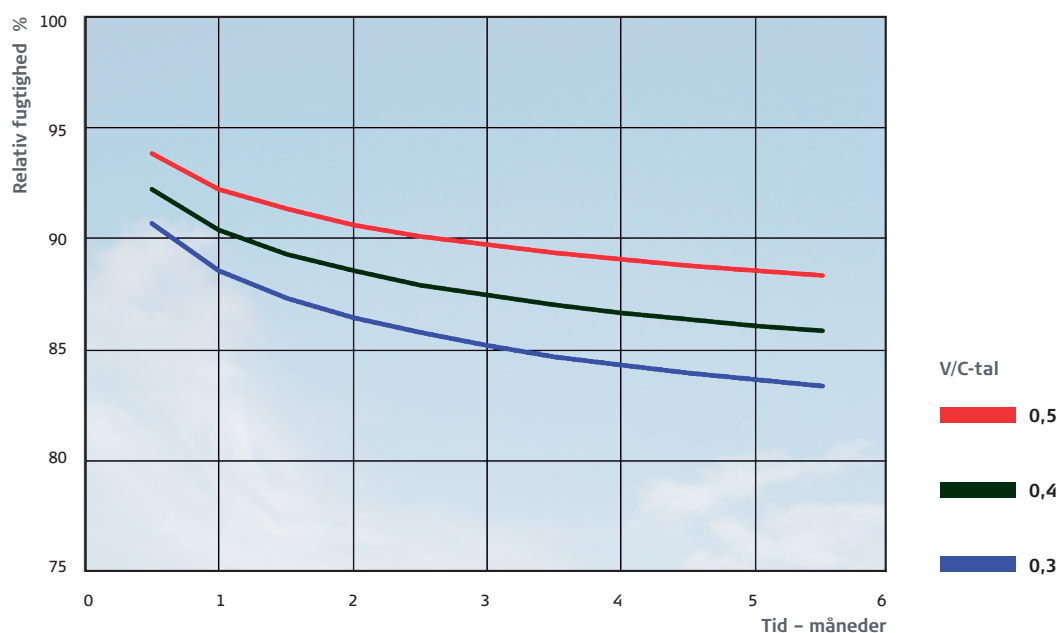
peratur, f.eks. 35–40 °C. Det er vigtigt, at betonen afkøles igen inden belægningen etableres.

### Selvudtørrende beton

I eksempel 1 blev mængden af fordampeligt vand reduceret med mere end 50 % ved at sænke v/c-tallet fra 0,70 til 0,50. Der er dog fortsat en del vand inkl. absorptionsvand, som skal fjernes, og et naturligt spørgsmål vil være, om det er hurtigere at fjerne den reducerede vandmængde fra den tætte beton end at fjerne den oprindelige vandmængde fra den mere porøse beton.

Et såkaldt "godt spørgsmål", som jeg ikke umiddelbart har svaret på, men ved at sænke v/c-forholdet yderligere – til under 0,40, kan tilstedeværelsen af frit vand helt elimineres – betonen siges at være selvudtørrende. Jo lavere v/c-forhold, jo hurtigere vil det frie vand

## Selvudtørring



Figur 2. Eksempel på resultater ved selvudtørring, fra [2].

være opbrugt, og jo lavere fugtighed vil der være i betonen.

Tilsætning af mikrosilica har ved de fleste undersøgelser vist sig at have en gunstig indflydelse på dette forløb. For beton med mikrosilica og lavt v/c-tal (< 0,35-0,40), vil man som følge af selvudtørring kunne nå helt ned på 80-85 % RF i betonen.

I modsætning til udtørring til omgivelserne af overskydende vand, kan selvudtøringsforløbet forudsiges med større sikkerhed. Fugttransporten, som er det altdominerende bidrag til usikkerheden, er uden betydning ved selvudtørring.

Ved udtørring til omgivelserne kan man ved opvarmning og af-fugtning påvirke omgivelserne, men ved betontykkelse på 10-15 cm, er der en meget "lang" transportvej til overfladen. Selvudtørring sker derimod overalt i betonen, og afhænger for en given beton kun af modenhe-den – altså tid og temperatur.

På grund af de måletekniske besværligheder, bør resultater fra forskellige undersøgelser sammenlignes med varsomhed, men den relative fugtighed i betonen kunne f.eks. afhænge af v/c-tallet og tiden, som vist i figur 2, fra [2].

Ved at opvarme betonen med gulvvarme til f.eks. 35 °C, vil hærdehastigheden fordobles, og selvudtørringen derved ske dobbelt så hurtigt som vist i figur 2.

Med mere erfaring og tillid til princippet, behøver man måske slet ikke vente til der opnås en relativ fugtighed på f.eks. 85 %. Hvis man på traditionel vis udtørre de øverste par cm af betonen, kan belægningen muligvis godt påføres efter 14 dage, naturligvis med vished om at fugtigheden som følge af selvudtørring vil nå ned på 85 % i løbet af et par måneder, og at belægningen ikke vil tage skade i løbet af den tid.

Et andet plus ved de selvudtørrende og meget tætte betoner er, at en evt. restfugt vil afgives så lang-

somt, at det vil kræve minimal ventilation eller permeabilitet i belægningen for at den afgivne fugt kan slippe væk uden at fugten ophobes i belægningen. Dette kunne f.eks. udnyttes ved trægulve, hvor der stilles meget skrappe krav til betonens restfugt.

Selvudtørrende betoner vil rent materiale-mæssigt være dyrere end "traditionelle" betoner, men alternativet vil være omkostninger til traditionel udtørring, eller omkostninger som følge af de forsinkelser af byggeprocessen, eller – hvis man helt negligerer fugtproblematikken – omkostningerne som følge af fugtskader i byggeriet.

[1] BetonBogen, Aalborg Portland 1989.

[2] Effect of Age, Cementtype, Moderate Shift in Temperature and Water-cement Ratio on Self-desiccation in Silica Fume Concrete Persson, Bertil, Div. Building Materials, Lund University