LUND UNIVERSITY

Hög betongkvalitet ger kort och säker torktid även under ogynnsamma klimatförhållanden

Fagerlund, Göran

Published in:
Bygg & teknik

2010

Link to publication

Citation for published version (APA):
Fagerlund, G. (2010). Hög betongkvalitet ger kort och säker torktid även under ogynnsamma klimatförhållanden. *Bygg & teknik*, 72-78.

Total number of authors:
1

General rights
Unless other specific re-use rights are stated the following general rights apply:
Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.
• Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
• You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
• You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal

Read more about Creative commons licenses: https://creativecommons.org/licenses/

Take down policy
If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

LUND UNIVERSITY

PO Box 117
221 00 Lund
+46 46-222 00 00

Hög betongkvalitet ger kort och säker torktid även under ogynnsamma klimatförhållanden

Resultat från ett forskningsprojekt vid Lunds tekniska högskola (LTH) presenteras i artikeln. Det framgår att betong med vattencementtal 0,45 eller lägre får kort torktid även vid mycket ogynnsamma klimatförhållanden under byggtiden. Även om den nygjutna betongen skulle utsättas för regn direkt efter gjutning kommer den relativa fuktigheten i sådan högvärdig betong sannolikt inte att överstiga 85 á 90 procent inom normal byggtid. Detta gäller även tjockare konstruktioner. Osäkerhet i mätningen av den relativa fuktigheten påverkar inte den uppskattade (förväntade) uttorkningstiden särskilt mycket för sådan betong. Därför bör fuktmätning kunna utelämnas hos högvärdig betong, framförallt när uttorkningskravet är begränsat till 90 procent relativ fuktighet.

Klimatpåverkan visade sig däremot vara stor för betong med måttligt hög kvalitet (vattencementtal 0,55 och högre), samtidigt som *normal osäkerhet i fuktmätningen ger stora fel i uppskattad torktid hos sådan betong*.

Nedfuktning av en redan uttorkad betong till exempel genom regn på den oskyddade betongen visade sig ha liten påverkan på fuktnivån hos högvärdig betong (vattencementtal lägre än eller lika med 0,45). Redan efter någon vecka hade det insugna vattnet torkat ut. Betong av normalt använd kvalitetsnivå (vattencementtal högre än eller lika med 0,55) fick däremot en stark och långvarig ökning av fuktnivån.

Fuktmätning

Gradvis från cirka 1970 och framåt har mer och mer noggranna metoder att mäta fukt i betong utvecklats; *Nilsson* (1979), *Hedenblad* (1996). Detta har medfört att man i dag kan ställa krav på kontroll av att betong har en viss uttorkningsgrad innan den får beläggas med fuktkänsliga material. På grundval av erfarenheter från alla skadefall har man inom golvbranschen enats om högsta acceptabla fuktnivå för olika typer av golvmaterial. Dessa krav återges i Hus AMA. De kritiska fuktnivåerna anges som relativ fuktighet.

Under 1990-talet utvecklades ett nationellt system för fuktmätning i betong. Systemet omfattar utbildning av fuktkontrollanter och etablering av godkända laboratorier för kalibrering av fuktgivare. Systemet organiseras inom Rådet för Byggkompetens (RBK). I dag är fuktmätning i betonggolv en betydande verksamhet.

Att göra en riktig fuktmätning i betong är inte helt lätt. Det är många omständigheter som gör att man får ett felaktigt resultat:

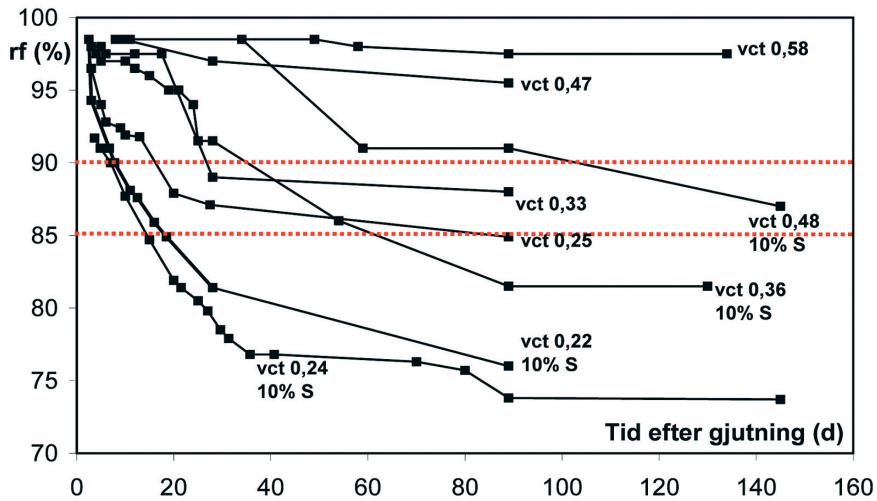
- Den nödvändiga mättiden underskattas, vilket ger för låg relativ fuktighet.
- Betongtemperaturen vid mätningen är inte relevant för konstruktionen när denna tas i bruk. För låg betongtemperatur ger för låg relativ fuktighet.
- Fuktgivarna påverkas av yttre temperatur. Felets storlek beror på givartypen.
- Betongtemperaturen är inte stabil under mätningen. Vissa givartyper tycks vara extra känsliga för temperaturvariationer.
- Mätningen görs på felaktigt djup i betongen. Alltför ytlig mätning ger normalt för låg relativ fuktighet. Det är dessutom inte självklart att nu tillämpade mätdjup är relevanta för nya betongtyper vilka ofta har lägre vattencementtal och innehåller tillsatsmaterial. De använda mätdjupen baseras på studier gjorda på sådan normalbetong som användes under 1970-talet; *Nilsson* (1977).
- Givarna är defekta eller felkalibrerade. Givare tenderar att driva med tiden, vilket gör att kalibrering måste göras ofta – helst efter varje ny mätning. Otillförlitliga givare måste kasseras, vilket kanske inte alltid görs. Mätarna har dessutom normalt så kallad hysteres, det vill säga utslaget beror på om givaren kommer från en högre fuktninvå än vad som gäller för betongen, eller om den kommer från en lägre fuktnivå.

Olika metoder för fuktmätning beskrivs i *Nilsson et al* (2006). Genomgång av säkerheten vid fuktmätning i betong har gjorts av *Hedenblad* (1995, 1999). Under ideala förhållanden kan felet förmodligen reduceras till som lägst cirka två procent i relativ fuktighet.

*Artikelförfattare är **Göran Fagerlund**, Avdelningen byggnadsmaterial, Lunds tekniska högskola (LTH).*

Betongkvalitetens betydelse för uttorkningsförloppet

Undersökningar av Ahlgren och Nilsson. Att *fuktisolerad* (membranhärdad)



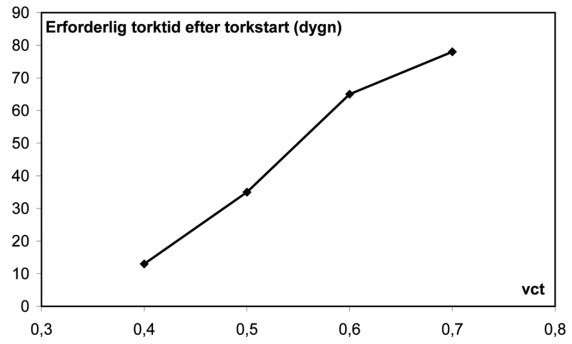
Figur 1: Självuttorkning hos betong av olika kvalitet. Persson (1992). (Anläggningscement. S är lika med silikastoft)

betong av hög kvalitet – lågt vattencementtal – torkar snabbare än normalbetong visades redan av *Ahlgren* (1973). Orsaken är att cementreaktionen ger en viss så kallad självuttorkning, vilken blir större ju lägre vattencementtalet är. *Nilsson* (1984) visade att inblandning av en viss mängd silikastoft förstärker självuttorkningseffekten hos fuktisolerad eller luftlagrad betong.

Undersökningar av Persson. I ett förprojekt vid Lunds tekniska högskola till det nationella projektet Högpresterande betong hade *Bertil Persson* till uppgift att undersöka om den förväntade självuttorkningen i det inre av tjocka konstruktioner med lågt vattencementtal kunde medföra att hållfasthetstillväxten avstannade så att den teoretiskt höga hållfastheten inte kunde uppnås. Därför tillverkades betongskivor med en meter diameter vilka tätades på de flata ytorna med ett tjockt lager av epoxi. Vattencementtalet varierades mellan 0,20 och 0,56. I vissa betonger inblandades tio procent silikastoft. Några dagar efter gjutning sänktes skivor helt och hållet ned i vatten, där de fick ligga under lång tid. Randen på skivorna var oförseglad, vilket gjorde att skivorna hade möjlighet att suga vatten från randen. Relativa fuktigheten bestämdes i skivorna efter olika lång vattenlagringstid.

Det kom som en stor överraskning att den relativa fuktigheten på så kort avstånd som 5 cm från randen var låg i betong med lågt vattencementtal trots att betongen lagrats två månader i vatten. I betong med vattencementtal 0,33 uppmättes cirka 90 procent relativ fuktighet och i betong med vattencementtal 0,22 innehållande 10 procent silikastoft uppmättes 81 procent relativ fuktighet. Resultaten publicerades i *Fagerlund & Persson* (1990). De fick ett snabbt och stort genomslag, till stor del beroende på Perssons presentation av resultaten i form av föredrag och företagskontakter.

I en annan delstudie studerade Persson *självuttorkningen* hos ett antal betongtyper med olika vattencementtal med och utan inblandning av silikastoft. Betongerna göts i glasbehållare som förseglades. Betongen kunde alltså inte torka genom avdunstning av vatten. Trots detta sjönk den relativa fuktigheten i behållarna gradvis, vilket beror på cementreaktionens självuttorkande effekt. Resultatet visas i *figur 1*. Data har tagits från *Persson* (1992). Den relativ fuktighetsnivån 90 procent uppnås inom en månad hos betong med vattencementtal understigande cirka 0,35. Silikastoft förstärker självuttorkningen. Vid extremt låga vattencementtal, 0,22 á 0,24, kan en så låg relativ fuktighetsnivå som 85 procent nås inom två veckor.



Figur 2: Erforderlig uttorkningstid för att nå 90 procent relativ fuktighet på ekvivalent djup. Torkstart sker vid en månads ålder. Dessförinnan har betongen varit förhindrad att torka utåt. Data ur Hedenblad (1995). (Cement typ CEM I, Slite Std)

Undersökningar av Hedenblad. *Hedenblad* (1995) genomförde omfattande mätningar av uttorkning av betongplattor exponerade för olika torkklimat under de första månaderna. I *figur 2* visas exempel på dessa mätningar. Figuren visar erforderlig torktid för att nå 90 procent relativ fuktighet på ekvivalent djup (20 procent av plattjockleken) hos betong som förhindrats att torka under de första fyra veckorna och sedan torkat i ett klimat med 18 °C och 60 procent relativ fuktighet. Angiven tid räknas från torkstart vid en månads betongålder. Inverkan av sänkt vattencementtal är uppenbar. Mindre än två veckors torkning räcker vid vattencementtal 0,40 medan nästan tre månader krävs vid vattencementtal 0,70.

Hedenblad undersökte även uttorkningen hos betong vars överyta utsatts för fritt vatten under de första två månaderna. För betong med vattencementtal 0,38 (Anläggningscement och 10 procent silikastoft) nåddes 90 procent relativ fuktighet redan inom två månader från det torkningen påbörjades i klimatet 18 °C och 60 procent relativ fuktighet. 85 procent relativ fuktighet nåddes efter cirka en och en halv månader.

Undersökningar av Johansson. I sitt licentiatarbete presenterade *Johansson* (2005) systematiska undersökningar av uttorkning hos betong som utsätts för olika klimatpåfrestningar.

Betongvariabler var:

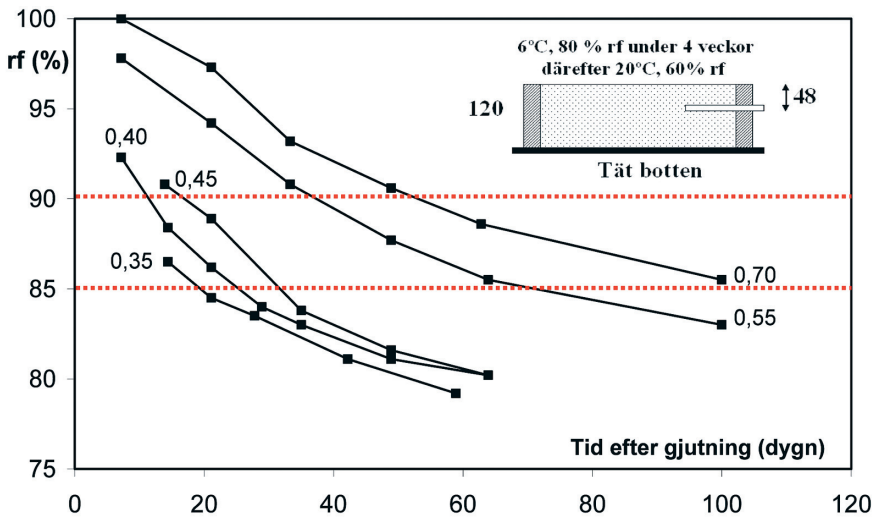
1. Cementtyp: Byggcement (CEM II/A-LL)
2. Vattencementtal: 0,35 till och med 0,70 (inget silikastoft).

Klimatvariabler under uttorkningen var:

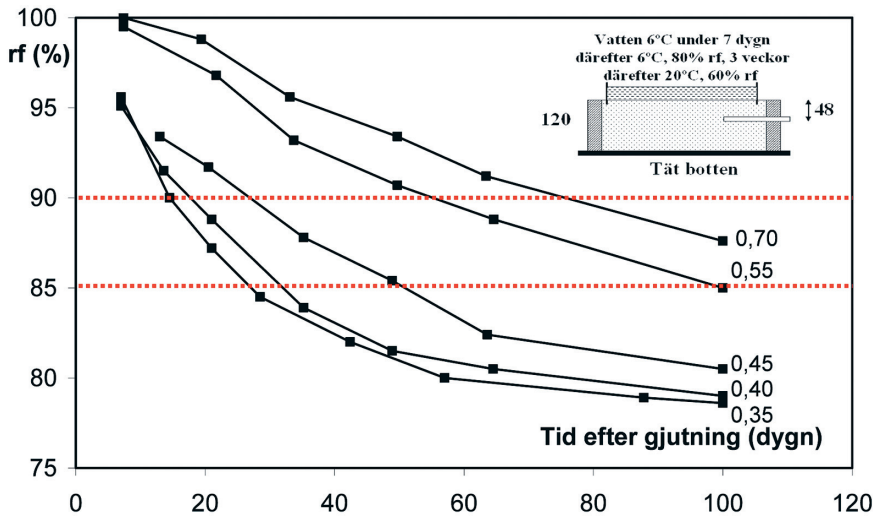
1. Uttorkning i luft från dagen efter gjutning
2. Regnlast under en, två, fyra eller sju dygn direkt efter gjutning. Därefter uttorkning i luft
3. Regnlast (återuppfuktning) under tre till tjugoåtta dygn hos fem månader torkad betong. Därefter torkning i luft.

Samtliga prover var 12 cm tjocka och var förhindrade att torka från undersidan. Den första torkningen efter gjutning motsvarar därför en tvåsidigt torkande 24 cm tjock betongplatta.

Resultat från mätningarna visas i *figur 3 och 4*. Samtliga mätningar har gjorts på djupet 48 mm från överytan, vilket är det ekvivalenta djupet enligt gängse definition. Mätningen gjordes i mätrör som monterats i gjutformen före gjutning. Givarna till mätarna av den relativa fuktigheten (typ Vaisala HMP 44) kalibrerades noggrant före, under och efter mätperioden. Proverna förvarades i klimatrum med konstant temperatur. De uppmätta värdena av den relativa fuktigheten bedöms därför vara så noggranna som man



Figur 3: Prover som under de första fyra veckorna torkar i cirka 80 procent relativ fuktighet. Uppmätt relativ fuktighet på ekvivalent djup. Siffrorna på kurvorna anger vattencementtal. Kurvorna anpassade till data i Johansson (2005).



Figur 4: Prover som exponerats för fritt vatten under sju dygn med början direkt efter gjutning. Därefter torkning i 80 procent relativ fuktighet under tre veckor. Uppmätt relativ fuktighet på ekvivalent djup. Siffrorna på kurvorna anger vattencementtal. Kurvorna anpassade till data i Johansson (2005).

över huvud taget kan uppnå i dag vid en mätning av relativ fuktighet i betong.

Figur 3 visar betong som haft *gynnsamma torkbetingelser*. Redan dagen efter gjutning har proverna placerats i cirka 80 procent relativ fuktighet och cirka 6 °C för att simulera uteklimat utan regn. Där har de fått ligga under en månad varefter temperaturen höjts till 20 °C och den relativa fuktigheten sänkts till 60 procent för att simulera klimatskydd på bygget.

Figur 4 visar betong som haft mycket *ogynnsamma torkbetingelser*. En plåtsarg göts in i överytan så att en ”bassäng” ovanpå denna skapades. Direkt efter gjutningen hälldes vatten i bassängen. Vattnet fick ligga kvar under sju dygn vid temperaturen cirka 6 °C. Detta ska motsvara ett verkligt byggfall, där den nygjutna betongen utsätts för regn redan under den första dagen och hela den första veckan. I princip kan därför ingen självuttorkning ske såvida inte betongen är mycket tät mot vattenabsorption. Efter sju dygn hälldes vattnet bort. Under de kommande tre veckorna förvarades proverna i 6 °C och cirka 80 procent relativ fuktighet. Därefter förvarades de i cirka 20 °C och 60 procent relativ fuktighet.

Figurer 3 och 4 visar följande:

1. Uttorkningstiden förlängs alltid med ökat vattencementtal.
2. Uttorkningskurvorna är alltid flackare ju högre vattencementtalet är.
3. Figur 3 visar:

- Vid vattencementtal 0,40 eller lägre krävs mindre än två veckor för att nå 90 procent relativ fuktighet. Enbart cirka fyra veckors torkning behövs för att nå 85 procent relativ fuktighet.
- Vid vattencementtal 0,70 nås 90 procent relativ fuktighet först efter cirka åtta veckor. 85 procent relativ fuktighet nås inte ens efter tre á fyra månader.

4. Fig 4 visar:

- Regn under första dygnen förlänger uttorkningstiden; ju högre vattencementtal desto större fördröjning.
- Vid vattencementtal 0,40 och lägre fördröjs torkningen med enbart cirka en vecka, det vill säga ungefär lika lång tid som regnet varar.
- Vid vattencementtal 0,70 är fördröjningen för att nå 90 procent relativ fuktighet cirka en och en halv månader. 85 procent relativ fuktighet nås inte ens efter fyra månaders torkning.

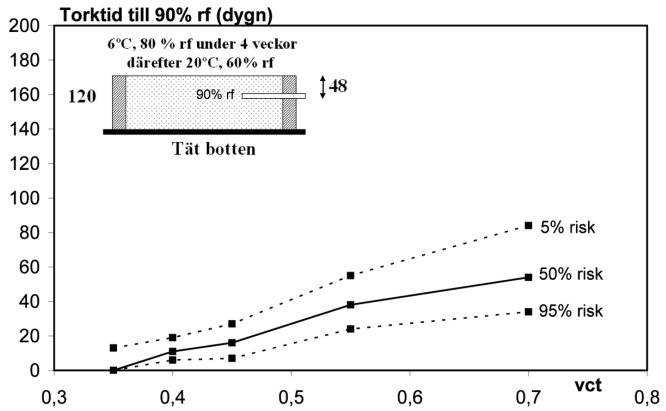
Försöken visar att betong med vattencementtal 0,45 eller lägre får kort torktid även under ogynnsamma klimatförhållanden under byggtiden. En relativ fuktighet av högst 85 procent relativ fuktighet på ekvivalent djup kan förväntas nås inom normal byggtid. Betongtorkning blir alltså inte kritisk för byggtiden. Detta gäller också tjocka konstruktionsdelar eftersom självuttorkningen ensam räcker för att ge cirka 90 procent relativ fuktighet.

Osäkerheten i förväntad torktid

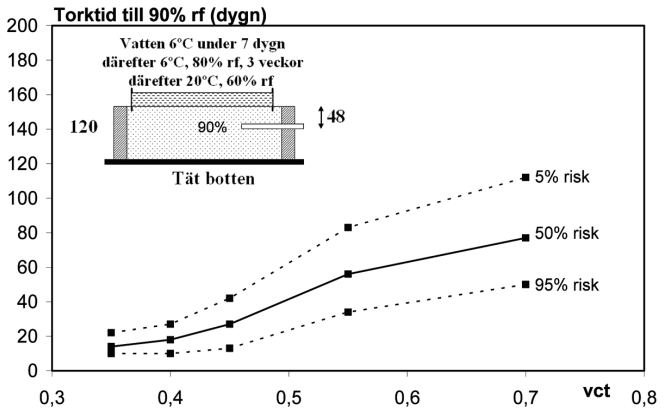
De osäkerheter som finns i en mätning av den relativa fuktigheten medför att man inte kan vara helt säker på att man verkligen nått den eftersträvade relativa fuktighetsnivån (till exempel 90 eller 85 procent) trots att mätningen indikerar detta. Det finns en risk att den uppmätta torktiden är för kort. Johanssons uttorkningskurvor i figur 3 och 4 kan användas för en bedömning av vilken spridning i uttorkningstid man får vid varierande vattencementtal. Det antas att de redovisade torkkurvorna är ”medelkurvor” som ger 50 procent sannolikhet att uppmätt torktid är korrekt.

Om man antar att spridningen (standardavvikelsen) i uppmätt relativ fuktighet är två procent, vilket är ett rimligt lägsta värde även under gynnsamma betingelser med välkalibrerade givare, får man den osäkerhet i torktid som visas i *figur 5 och 6* för kritisk relativ fuktighetsnivå 90 procent och i *figur 7 och 8* (på sidan 77) för 85 procent kritisk nivå.

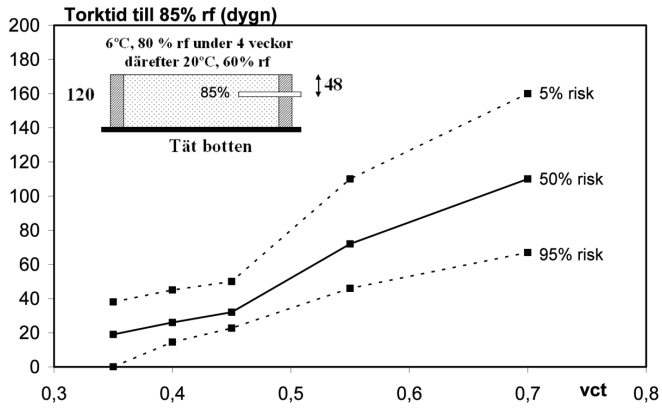
Osäkerheten i torktid ökar mycket kraftigt med ökat vattencementtal, vilket



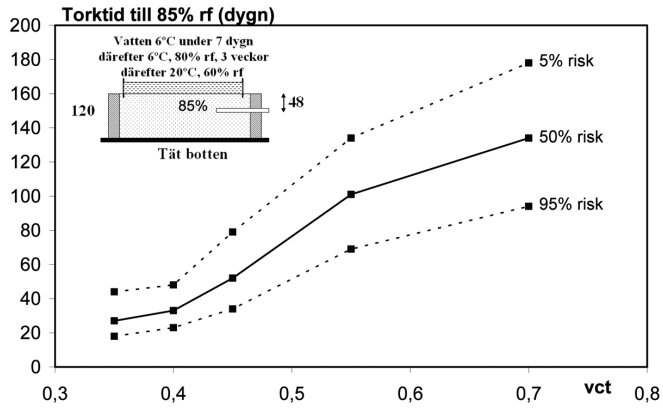
Figur 5: Erforderlig torktid vid olika risk att verklig torktid är längre än uppmätt. Betong som torkar direkt efter gjutning (figur 3).
Kritisk relativ fuktighetsnivå 90 procent.



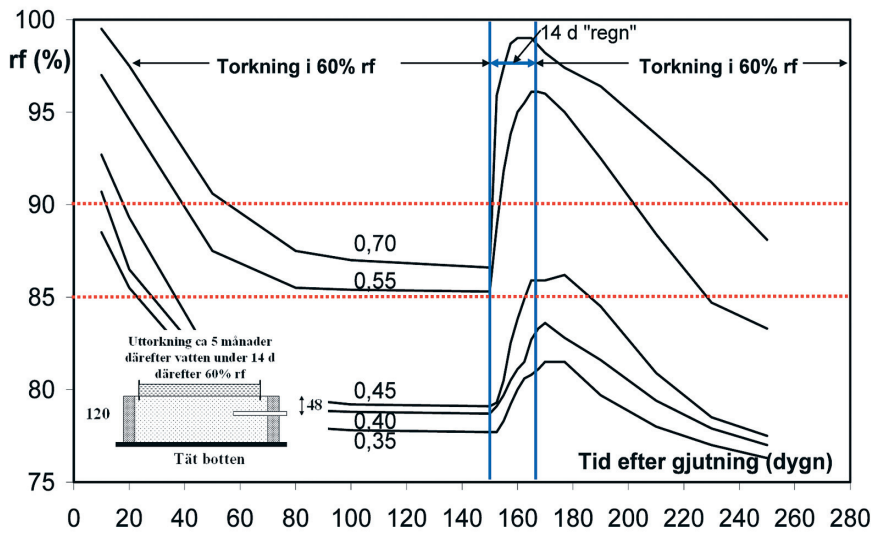
Figur 6: Erforderlig torktid vid olika risk att verklig torktid är längre än uppmätt. Betong som utsatts för en veckas regn direkt efter gjutning (figur 4).
Kritisk relativ fuktighetsnivå 90 procent.



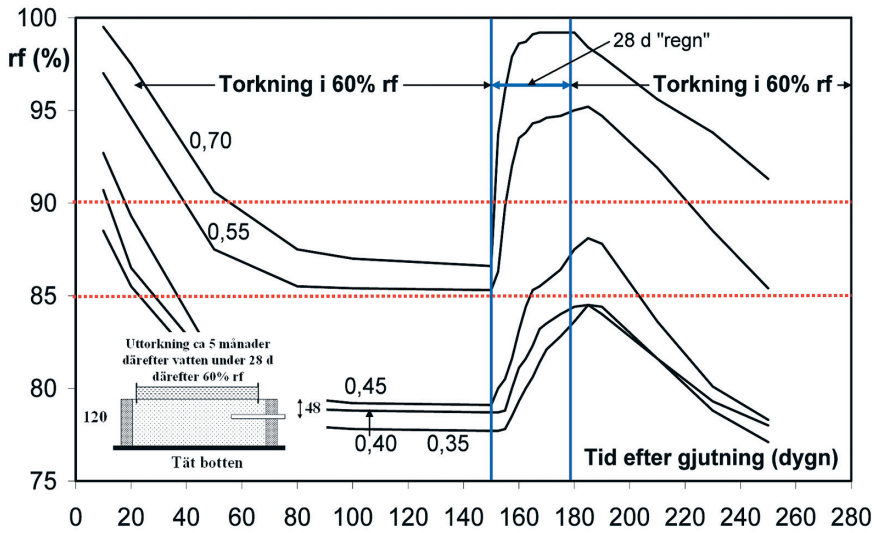
Figur 7: Erforderlig torktid vid olika risk att verklig torktid är längre än uppmätt. Betong som torkar direkt efter gjutning (figur 3).
Kritisk relativ fuktighetsnivå 85 procent.



Figur 8: Erforderlig torktid vid olika risk att verklig torktid är längre än uppmätt. Betong som utsatts för en veckas regn direkt efter gjutning (figur 4).
Kritisk relativ fuktighetsnivå 85 procent.



Figur 9: Den relativa fuktigheten på ekvivalent djup hos tidigare uttorkad betong som utsätts för 14 dygns regn.
Siffrorna på kurvorna avser vattencementtal.



Figur 10: Den relativa fuktigheten på ekvivalent djup hos tidigare uttorkad betong som utsätts för 28 dygns regn.
Siffrorna på kurvorna avser vattencementtal.

beror på de allt flackare uttorkningskurvorna. Vid vattencementtal 0,55 och 0,70 blir osäkerheten mycket stor. I värsta fall är den verkliga torktiden flera månader längre än den uppmätta om man enbart ska ha fem procent risk att kritisk relativ fuktighet överskrids. Osäkerheten ökar kraftigt om betongen utsätts för regn under byggtiden.

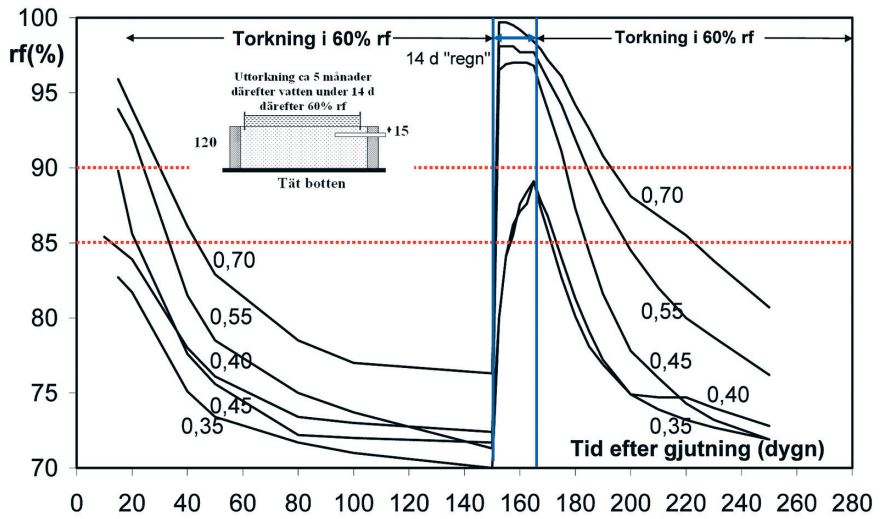
För betong med vattencementtal av nivå 0,45 och lägre är uttorkningstiden kort även om man önskar en låg risknivå. Torktiden är så kort hos sådan betong att fuktmätning knappast behöver göras. Man kan ändå vara tämligen säker på att vanliga kritiska fuktnivåer (85 à 90 procent relativ fuktighet) inte överskrids under normala byggnadsförhållanden. Dessa nivåer nås redan inom cirka två månader. Detta gäller även om betongen skulle utsättas för regn under byggtiden.

Uttorkning efter återuppfuktning

Ibland förekommer det att en tidigare uttorkad betong utsätts för en ny nedfuktning under byggtiden, till exempel genom regn eller genom slarv med vatten. Det kan även vara fråga om en vattenskada i en äldre konstruktion. Eftersom betongen nu är äldre och därmed mera tät än den unga betongen kan man förvänta sig att vatten som sugs in har svårt att torka ut. Detta kan fördröja bygget på ett oacceptabelt sätt. Resultatet av en undersökning av problemet redovisas i *Johansson* (2005).

Samma prover som tidigare använts för tidig uttorkning (figur 4) och som sedan fått torka i laboratorieluft till dess de var cirka fem månader gamla användes. Vatten hälldes i behållaren på provernas överyta. Vattnet fick ligga kvar under tre, sju, fjorton eller tjugoåtta dygn. Därefter fick proverna torka i 20 °C, 60 procent relativ fuktighet.

I *figur 9 och 10* visas den relativa fuktighetsutvecklingen på ekvivalent djup (48 mm) för två respektive fyra veckors



Figur 11: Den relativa fuktigheten på 15 mm djup hos tidigare uttorkad betong som utsätts för 14 dygns regn. Siffrorna på kurvorna avser vattencementtal.

”regn”. I *figur 11* visas den relativa fuktighet på 15 mm djup från ytan för två veckors regn. Figurerna visar följande:

1. Vid vattencementtal 0,40 eller lägre kommer inte ens fyra veckors ”regn” att höja den relativa fuktigheten på ekvivalent djup till nivån 85 procent.

2. Vid vattencementtal 0,45 nås maxnivån 86 à 88 procent relativ fuktighet efter två respektive fyra veckors regn, men redan inom ett par veckor efter avslutat regn understiger den relativa fuktighet återigen 85 procentnivån.

3. Vid vattencementtal 0,55 och högre stiger den relativa fuktigheten på ekvivalent djup till mer än 95 procent redan efter två veckors ”regn”. Att sedan återigen sänka den relativa fuktigheten till 90 procent relativ fuktighet kan ta ett par månader. Att nå 85 procent relativ fuktighet för betong med vattencementtal 0,70 är en fråga om ett halvt år eller mer.

4. Den relativa fuktigheten på 15 mm djup från ytan blir cirka 89 procent för vattencementtal 0,40 och 97 procent för vattencementtal 0,45. Redan inom någon vecka efter avslutat regn har emellertid den relativa fuktigheten sjunkit till 85 procent relativ fuktighet för alla dessa betonger. För vattencementtal 0,55 och 0,70 överskrider den relativa fuktighetsnivån 85 procent under ett par månader.

Resultatet visar alltså att betong av hög kvalitet (vattencementtal 0,45 eller lägre) är mycket tålig mot förnyad nedfuktning, medan betong med högre vattencementtal snabbt når oaccpetabel fuktnivå som sedan efter avslutad nedfuktning kvarstår under lång tid. ■

Referenser

Ahlgren, Lennart (1973): *Fukt i betonggolv med tät beläggning*. Byggmästaren 6, 1973.

Fagerlund, Göran & Persson, Bertil (1990): *Högpresterande betong utan byggfukt*. Cementa Nr 3, 1990.

Hedenblad, Göran (1995): *Uttorkning av byggfukt i betong. Torktider och fuktmätning*. Byggforskningsrådet. Rapport T12:1995.

Hedenblad, Göran (1996): *Fuktmätning i högpresterande betong. Projekt ”Högpresterande Betong”*. Rapport M8:4 (kan beställas från Avdelningen byggnadsmaterial, LTH).

Hedenblad, Göran (1999): *Kompendium i mätosäkerhetsberäkningar för relativ fuktighet i betong*. Avdelningen byggnadsmaterial, Rapport TVBM-7146.

Johansson, Niklas (2005): *Uttorkning av betong. Inverkan av cementtyp, betongkvalitet och omgivande fuktförhållanden*. Avdelningen byggnadsmaterial, LTH. Rapport TVBM-3124.

Nilsson, Lars-Olof (1977): *Fuktproblem vid betonggolv*. Avdelningen byggnadsmaterial, LTH. Rapport TVBM-3002.

Nilsson, Lars-Olof (1979): *Fuktmätning. Del 2 av ”byggfukt i betongplatta på mark, Torknings- och mätmetoder”*. Avdelningen byggnadsmaterial, LTH. Rapport TVBM-3008.

Nilsson, Lars-Olof (1984): *Desorption isotherms for silica-fume/cement mortars*. Institutet för fuktfrågor, Report IF8431, Trelleborg.

Nilsson, Lars-Olof, Anderberg, Anders & Togerö, Åse (2006): *Fuktmätning i byggnader*. Formas T8:2006.

Persson, Bertil (1992): *Högpresterande betongs hydratation, struktur och hållfasthet*. Avdelningen byggnadsmaterial, LTH. Rapport TVBM-1009.