

VATTENINSUGNING I BETONG

Laboratorieundersökningar, fältmätningar, beräkningar och modeller

Peter Johansson och Lars-Olof Nilsson, Avd. Byggnadsmaterial, LTH

BAKGRUND

Regn på en färdiggjuten betong uppfattas av många som något positivt eftersom det bidrar till att förbättra betongens härdning. En nedblötning av betongkonstruktionen kan medföra en avsevärt längre uttorkningstid och byggtid. Som följd av detta kan applicering av golvbeläggningar bli avsevärt försenad.

Insugning av regn i ”nygjuten” betong är ofta en orsak till att betongen inte nått den relativa fuktigheten RF vid golvläggningen som man har förväntat. Hur ofta det regnar, när det regnar och regnens varaktighet har stor betydelse för RF i betongen. Andra viktiga parametrar är betongens vattencementtal (vct), hydratationsgrad och innehåll av kiselstoff.



Figur 1 Exempel på nödvändig observation för att beräkningar av vatteninsugning skall bli tillförlitliga: Var har det stått vatten och hur länge? Foto: L-O Nilsson.

Det har saknats tillräcklig kunskap om dessa parametrars inbördes sammanhang för att kunna beräkna och modellera vatteninsugning i betong. Hittills har man använt starkt förenklade samband. Det är inte enbart regn eller hög luftfuktighet som uppfuktar betong utan också avjämning, inklusive primning, limning med vattenbaserade mattlim och vattenläckage.

Vatteninsugningsegenskaperna varierar inom mycket vida gränser. Därför behövs kunskap som är baserad på betongens strukturutveckling för att på ett verklighetstroget sätt kunna matematiskt behandla insugning av vatten i betong.

Vid avdelningen för Byggnadsmaterial vid LTH har en mängd basdata tagits fram för betongs uttorkning under mångårig forskning inom området. Med hjälp av dels dessa basdata och dels modellarbete har man vid avdelningen kunnat beskriva själva uttorkningsprocessen i betong. Denna teori har utgjort en väsentlig del i uttorkningsprogrammet TorkaS. I TorkaS har dock vatteninsugning från regn behandlats på ett förenklat sätt, i brist på bättre kunskap och data..

SYFTE

Projektet har syftat till att ta fram sådan kunskap om vatteninsugning i betongytor att den kan beräknas på ett mer teoretiskt riktigt sätt än idag. På så sätt kan flera olika typer av vatteninsugning (regn, avjämningsmassor, limfukt) i betong hanteras i dagens och morgondagens uttorkningsprogram. Syftet är också att ta fram en mätmetod för bedömning av en betongytas fuktupptagningsförmåga.

GENOMFÖRANDE

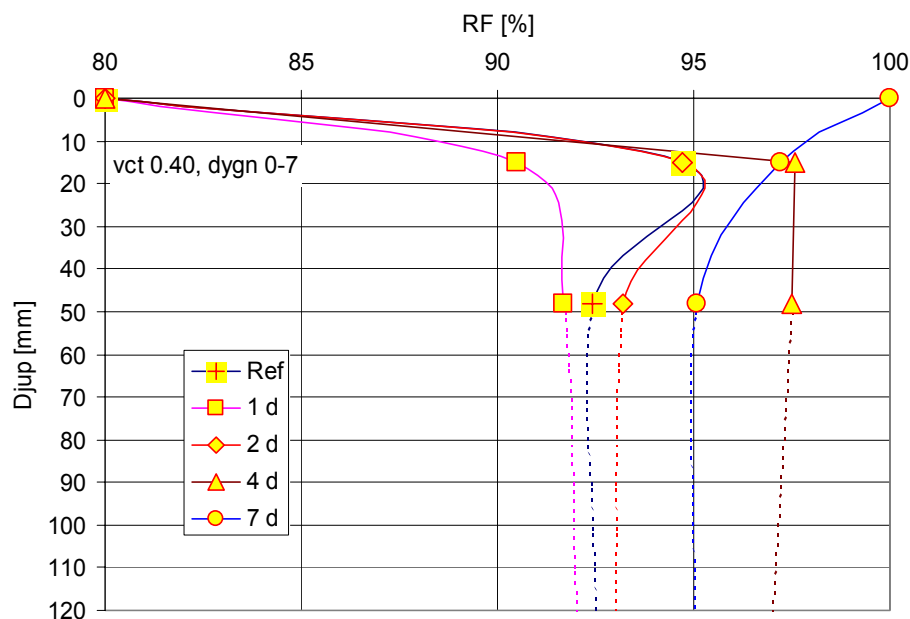
Det experimentella arbetet har genomförts i ett antal försöksserier under 2002 och 2003. I dessa har olika typer av vatteninsugning simulerats, från regn respektive från avjämningsmassa. Insugen vattenmängd och fuktprofilerna före och efter insugningen har uppmätts. Dessa data har sedan använts för att pröva modeller för beräkning av vatteninsugning.

Projektet har även utnyttjat data från ett antal fältstudier av effekten av vatteninsugning. I dessa har fukt mätts både före och efter vattenbelastningen, som i många fall dokumenterats på ett tillfredsställande sätt. De fältstudier som innehåller bra data på vatteninsugning har valts ut för noggrannare analys.

I de första kapitlena i rapporten beskrivs de olika försöksserierna och de resultat dessa har gett. Här ingår både laboratorieundersökningar och fältstudier. Därefter beskrivs modeller för vatteninsugning och de materialegenskaper som erfordras för att kunna använda dem. Slutligen redovisas en serie beräkningar med jämförelser med mätdata.

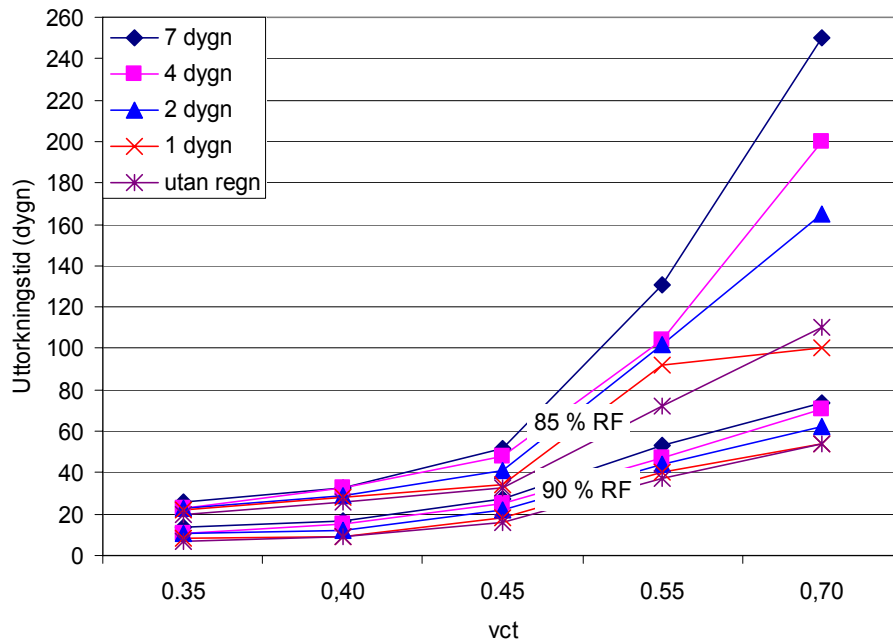
RESULTAT - mätningar

Uppmätta RF-profiler efter sju dygn för betongen med vct 0.40 som utsatts för regn med olika varaktighet under första veckan efter gjutning redovisas i figuren nedan. I så ung betong, även med så lågt vct, påverkas betongen till mer än 50 mm djup av regn under första veckan.



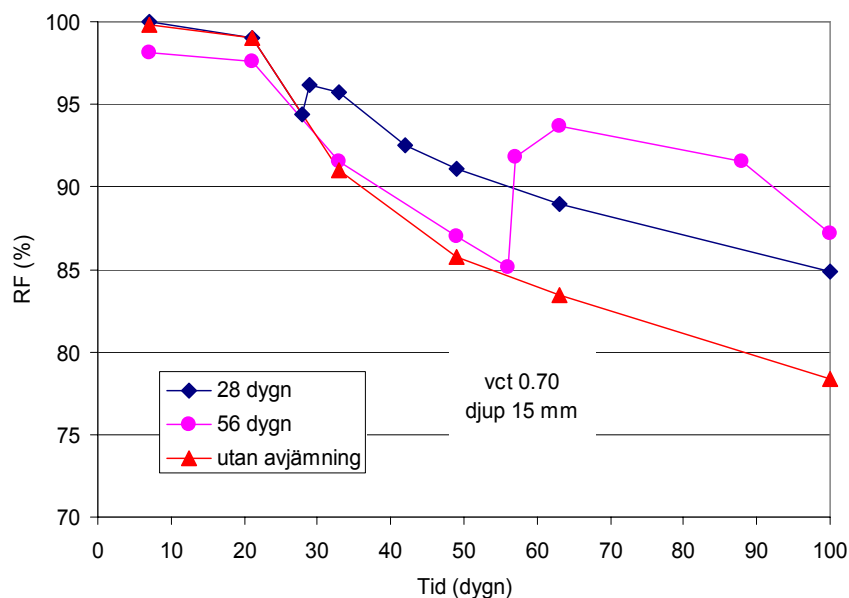
Figur 2 Uppmätta RF efter olika varaktigheter hos regn med start 3 timmar efter gjutning. RF-profiler efter sju dygn. Betongen med vct 0.40 vid +5°C och 80% RF

I figur 3 har erforderliga torktider sammanställts för de olika fallen. Effekten av regn är särskilt stor för höga vct och för torkning till 85 % RF.



Figur 3 Erforderliga torktider för att nå 90 respektive 85 % RF på ekvivalent djup, dels utan regnbelastning och dels med de olika varaktigheterna hos tidigt regn.

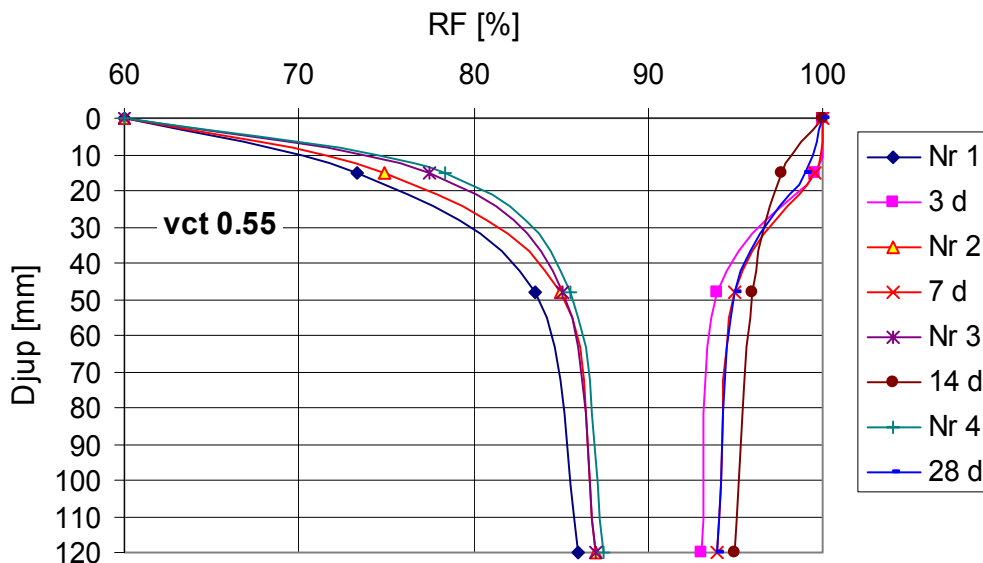
I figur 4 visas effekten av vatteninsugning från avjämningsmassa på RF på djupet 15 mm för betong med vct 0.70. Fallen som visas är med avjämnning efter en respektive två månader samt referensen utan avjämnning.



Figur 4 RF på djupet 15 mm under betongytan vid applicering av 10 mm avjämningsmassa vid 28 respektive 56 dygns ålder. Betong med vct 0.70.

På 15 mm djup finns det en tydlig effekt för alla betongerna, alldeles särskilt om avjämnningen sker sent då betongen är relativt väl uttorkad. På ekvivalenta djupet 48 mm är effekten knappt mätbar, ens för vct 0.70. Det beror på att en 10 mm avjämningsmassa innehåller en begränsad mängd tillgängligt vatten och att betongytan primas före avjämnningen.

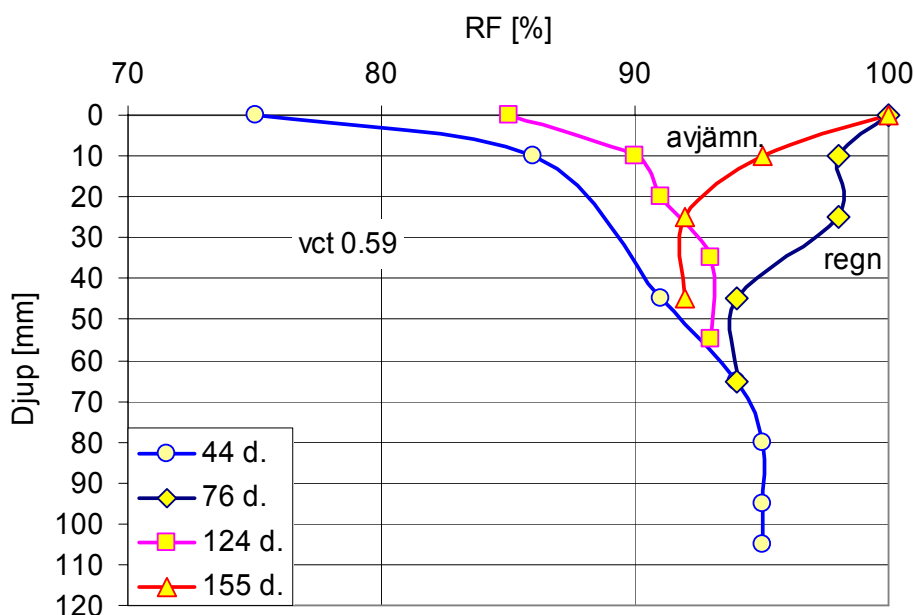
I nedanstående diagram visas effekten av vatteninsugning från simulerat regn i fem månader gammal betong i form av RF-profiler före och efter regnen med de olika varaktigheterna. Före regnet mättes RF-profilen på alla fyra provkropparna av varje betongkvalitet.



Figur 5 RF-profiler före och efter regn med olika varaktighet, i fem månader gammal betong med vct 0.55. RF på djupet 120 mm har uppskattats.

Först efter sju dygns regn märks vatteninsugningen på ekvivalenta djupet 48 mm i betongen med de låga vattencementtalen 0.35-0.45. Redan efter tre dygn har de båda betongerna med höga vct, 0.55-0.70, fått RF-ökningar från under 85 % RF till 95 % eller högre.

Vatteninsugning studerades också i fält i nio objekt med femton mätserier. Ett exempel för en normalbetong på plattbärlag visas i figur 6, dels före och efter 16 dygns regn och dels före och efter avjämnning av betongytan.



Figur 6 RF-profiler vid fyra mättillfällen, dels före och efter 16 dygns regn (44 & 76 d.) och dels före och efter avjämnning av betongytan (124 & 155d.). Plattjocklek 235 mm på plattbärlag.

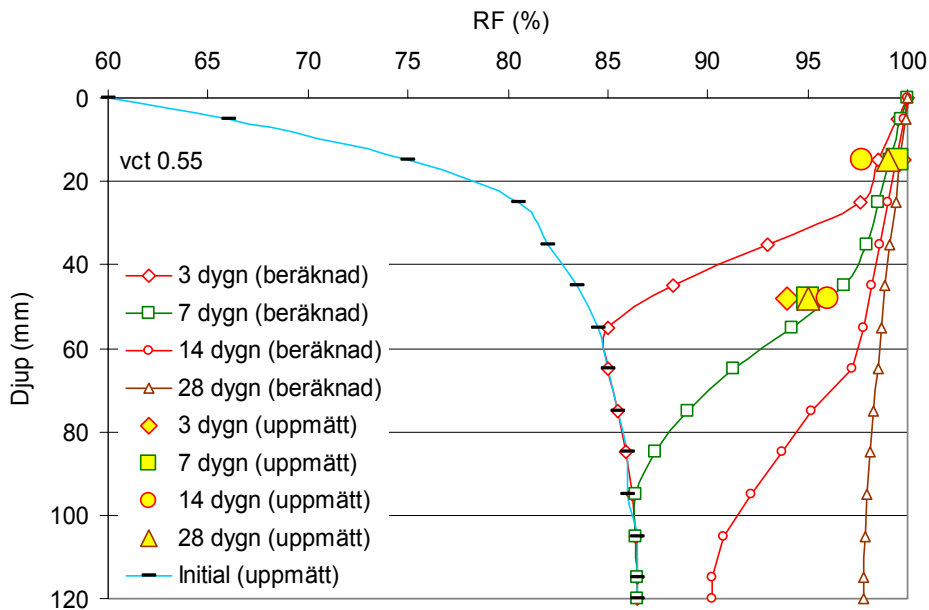
Det långvariga regnandet före det andra mättillfället höjde RF ända ner till ett djup av ca 60 mm; på ekvivalent djup dock bara från 91 till 94 %. En och en halv månad senare, vid det tredje mättillfället, är det fortfarande fuktigare än vid det första mättillfället.

Mellan det tredje och fjärde mättillfället avjämnades betongytan. I figuren ovan syns att vatteninsugningen från avjämnningen bara nådde ner till ett djup av ca 25 mm. Detta stämmer väl med laboratorieundersökningen.

RESULTAT - beräkningar

Mätningarna visade tydligt att den klassiska vatteninsugningsmodellen, med en vattenfront som tränger in, inte kan användas. Istället måste vatteninsugningen beskrivas som ”fukttransport”, med fukttransportegenskaper och med fuktbindningsegenskaper som både beror på fuktnivån och på betongens ålder. I ung betong måste också den kemiska bindningen av vatten till cementet tas med i beräkningarna. Vattnet på betongytan beskrivs som 100 % RF.

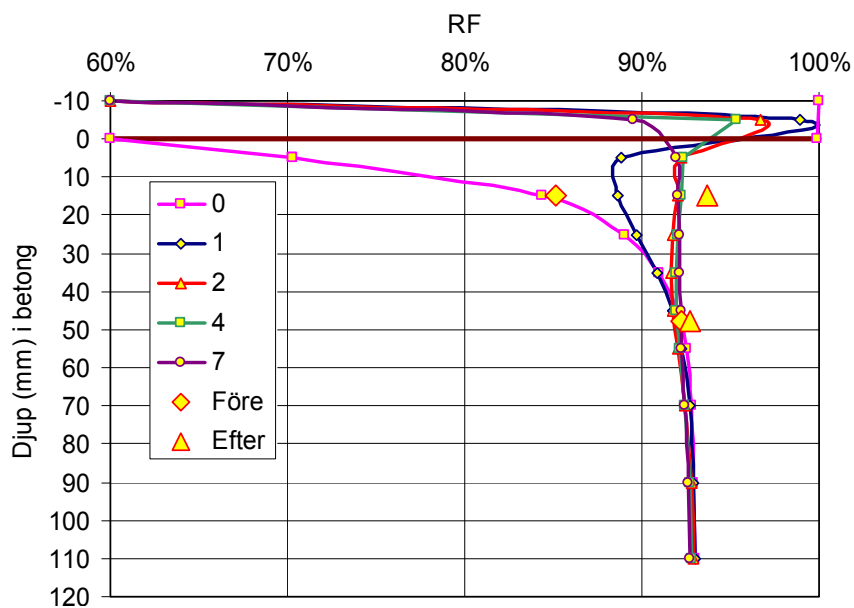
Med denna modell har beräkningar genomförts för en del av de olika fall som mätningar gjordes i. Några exempel visas i nedanstående figurer.



Figur 7 Beräknade respektive mätta RF-profiler efter olika varaktighet hos regn för betongen med vct 0.55 vid fem månaders ålder vid regnexponeringens start.

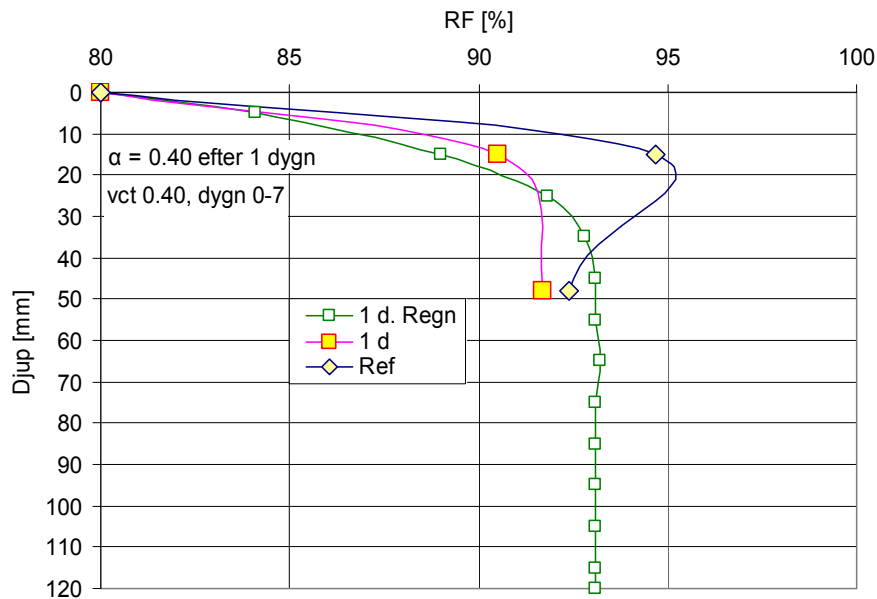
Vatteninsugning beskriven som ”fukttransport”, med sorptionskurvor och fukttransportkoefficienter beräknade från betongsammansättning och hydratationsgrad enligt kända samband, stämmer väldigt bra för betongerna med vct 0.35, 0.40 och 0.45, men det underskattar vatteninsugningen kraftigt för betongerna med vct 0.55 och 0.70. För dessa betonger krävs fukttransportkoefficienter som är mycket större vid höga RF. Detta har kalibrerats i beräkningarna. I samtliga fall måste betongens fuktbindningsegenskaper beskrivas med s k scanningkurvor, dvs övergångskurvor mellan uttorknings- och uppfuktningsskurvan.

I figur 8 visas ett exempel för vatteninsugning från 10 mm avjämningsmassa.



Figur 8 Beräknade RF-profiler 0-7 dygn efter avjämning med massa typ 2. Scanningkurvor för betongen. Uppmätta RF före och efter 7 dygns avjämning visas som punkter

I figur 9 visas beräkning av vatteninsugning i betong som utsatts för regn redan första veckan. Som jämförelse visas mätvärdena dels från provkroppen med ett dygns regn och dels referensprovkroppen utan regn.



Figur 9 Beräknade och uppmätta fuktprofiler vid sju dygns ålder efter ett dygns regn och sex dygns uttorkning, vct 0.40 med ökande hydratationsgrad med tiden, med start vid 0.4. Mätvärden som större punkter

Av jämförelserna mellan beräknade och mätta fuktprofiler vid sju dygns ålder, efter regn och uttorkning vid låg temperatur kan följande slutsatser dras:

- Fuktförhållandena efter vatteninsugning i så tidig ålder som redan efter några timmar är mycket svåra att beskriva korrekt. Här är två eller tre motstridande processer som måste alla kvantifieras exakt eftersom resulterande fuktprofiler är ”skillnaden” mellan dem:
 - o självtuttorkning, som blir mindre med lägre hydratationsgrad
 - o vatteninsugning, som blir större med lägre hydratationsgrad
 - o uttorkning, som blir snabbare vid lägre hydratationsgrad.
- För att verifiera dessa processer krävs att fördelningen av fukthalt och kemiskt bundet vatten, dvs hydratationsgrad, på olika djup mäts under själva insugnings- och uttorkningsförloppen.
- Angreppssättet med materialegenskaper som beror på hydratationsgraden på respektive djup bedöms som fullt rimlig att använda för att beskriva vatteninsugning i tidig ålder.
- Beräkningarna stämmer relativt väl med uppmätta fuktprofiler.

PRAKTISK TILLÄMPNING

Från jämförelserna mellan uppmätta och beräknade fuktprofiler i ett stort antal fall med högst skilda förutsättningar framgår det att vatteninsugning i betong kan beskrivas som en ”fukttransportprocess”, dvs. genom att beräkna fukttransport på olika djup med ånghalts- eller RF-gradienter. För att detta skall stämma är tre förutsättningar nödvändiga

- a) Varaktigheten hos regnet eller de blöta förhållandena på betongytan måste kunna kvantifieras ordentligt. Det räcker inte med att ha tillgång till väderdata som anger om det regnat eller inte eller hur mycket det regnat. Det måste också finnas säkra observationer av hur länge, och var, det stått vatten på ytan efter regn, också sedan taket är på och byggnaden är tät. Beräkningar av vatteninsugning blir inte noggrannare än hur väl man kan beskriva tidigare fukttillstånd på betongytan.
- b) Övergångskurvor, scanningkurvor, måste användas för betongen. Det räcker inte med desorptionsisotermer för betongen.
- c) Alla materialegenskaper måste beskrivas som funktion av betongens porstruktur, lämpligen genom olika hydratationsgrad på olika djup.
- d) Betongens hela fukthistoria måste vara känd och hänsyn till denna måste tas för kvantifiering av dess materialegenskaper. Så t ex har tidiga regn strax efter gjutning stor inverkan på vatteninsugningen många månader senare.
- e) Tjocklek och egenskaper hos en eventuell avjämningsmassa och torkklimatet efter avjämnning måste vara kända för att insugning i betongen skall kunna förutsägas.

Detta har formulerats matematiskt i rapporten.

LITTERATUR

Peter Johansson och Lars-Olof Nilsson (2006) *Vatteninsugning i betong - Laboratorieundersökningar, fältmätningar, beräkningar och modeller*. Rapport TVBM-3134, Avd Byggnadsmaterial, LTH.

Kan beställas från britt.andersson@byggtek.lth.se, tel. 046-222 7415, fax 046-222 4427.

Ytterligare information

Kontaktpersoner:

Peter Johansson, Avd. Byggnadsmaterial, Lunds Tekniska Högskola, tel 046-222 7362, e-post: peter.johansson@byggtek.lth.se.

Lars-Olof Nilsson, Avd. Byggnadsmaterial, Lunds Tekniska Högskola, tel 046-222 7408, e-post: lars-olof.nilsson@byggtek.lth.se.

Internet:

www.byggnadsmaterial.lth.se (webbadress där man kan läsa mer i detta ämne)