

Svårigheter med att mäta fukt i betong

Det är svårt att mäta relativ fuktighet, RF, i betong. Speciellt svårt är det att göra rättvisande avläsningar med hög noggrannhet på byggarbetsplatsen, i fält, där många olika faktorer påverkar resultatet. Det är nu sedan en tid tillbaka möjligt att utföra loggade mätningar av RF i betong enligt RBK-systemet. Loggade mätningar visar sig ge mycket mer information om uttorkningsförlopp och kvalitet på mätresultat än avläsningar utförda manuellt.

Skanska har utvecklat ett mätsystem för fältmätningar som ger nya möjligheter att utvärdera uttorkningen på ett byggprojekt, systemet heter Betongdatorn Fukt 5.0. Systemet loggar samtidigt både RF och temperatur från kvarsittande Humi-Guard-givare. Resultatet redovisas i ett diagram som visar relativa fuktigheten, som successivt ändras, och tillhörande temperaturkurva.

Rådet för byggkompetens, RBK, har i samarbete med branschen upprättat råd och föreskrifter för fuktmätning i betong både i laboratorium på "uttaget prov" och i fält i färdig konstruktion. Fältmätningar utförda enligt RBK:s anvisningar går kortfattat till på följande sätt.

I konstruktionen borrar ett hål, hålet fordras sedan med ett rör som sluter tätt mot betongen. I botten på röret finns en gummipackning som pressar mot hålets väggar. I gummipackningen finns ett hål så att betongytan står i direkt kontakt med luften i mätroret. Därefter monteras antingen en temporär eller kvarsittande givare i nedre delen av mätroret. Humi-Guard-givaren sitter monterad på en gummikork och stänger in en liten luftmängd i botten på mätroret. Slutligen förseglas röret i toppen så att fukttransport till och från mätpunkt minimeras. Mätningen bygger på antagandet att jämvikt råder



Figur 1: Isoleringen täcker mätpunkten och temperatursvängningarna reduceras.

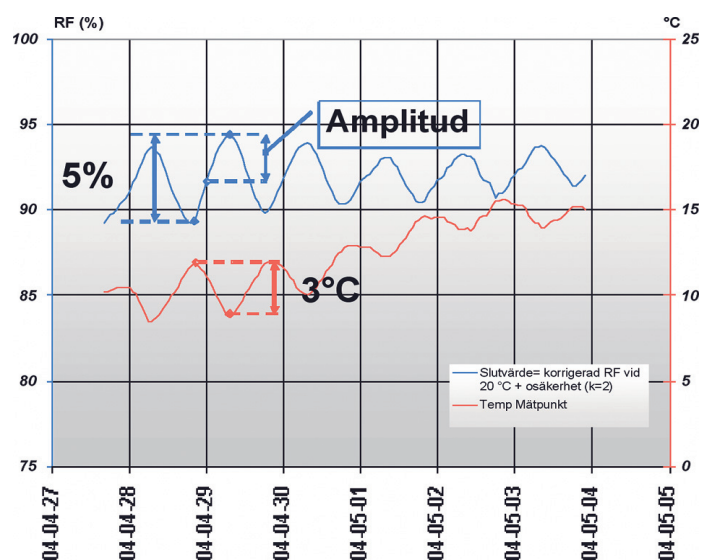
mellan den inestängda luftens RF och betongens RF. Givaren mäter således fukten i luften som står i direkt kontakt med fukten i betongen. Första avläsning sker efter några dagar genom att ansluta ett instrument till givaren. Avläsningen som sker manuellt ger ett ögonblicksvärde av RF men säger inte något om konstruktionen är på väg att torka ut eller fuktas upp.

Avslöjande elektronisk avläsning

En loggad mätning är en utveckling av den manuella mätningen där avläsningen

sköts elektroniskt av tillkopplade instrument. En avläsningsenhet kopplas till givaren som skickar data i intervall till en datalogger. Data sparas i en datafil som laddas ner och behandlas i en dator. För att reducera temperaturens inverkan på mätningarna läggs dessutom en isoleringsskiva på mätpunkten, se figur 1. Den loggade mätningen ger en överlägsen bild av uttorkningsförloppet.

Det har visat sig att en loggad mätning avslöjar fenomen som en manuell avläsning helt missar. Den första anmärknings-



Figur 2: Loggad mätning med stora svängningar i RF och temperatur. Amplitud är halva avståndet mellan toppvärde och bottenvärde.

Artikelförfattare är civilingenjör **Magnus Ahs**, projektledare vid Betongtekniskt Centrum, Skanska, och industri-doktorand vid Avdelningen för byggnadsmaterial, Lunds tekniska högskola, Lund.



värda observationen var att temperaturen pendlade upp och ner med flera grader under ett dygn och den svängningen följdes åt av RF som också pendlade upp och ner med flera procentenheter, se figur 2.

En andra observation var att när temperaturen sjönk steg RF vilket inte heller iakttagits innan i fältmätningar utförda på sedvanligt sätt. Dessutom observerades att hastigheten på en temperatursvängning påverkade RF olika mycket. Det såg ut som en långsam temperatursvängning minskade RF-svängningarnas amplitud, se figur 2, och en hastig temperatursvängning ökade densamma.

Temperatursvängningar sker normalt i en byggnad och amplituden och hastigheten ändras beroende på var man mäter någontans. I senare mätningar konstaterades att amplituden och hastigheten minskade i grova konstruktioner, amplituden minskade också när mätningar utfördes centralt i en stor byggnad där det var långt till utomhusklimatet.

Diagrammet i figur 2 visar ett typiskt exempel på en oisolerad mät punkt där praktiska mätningar i fält inte stämmer överens med vedertagen teori för fuktme kanik i material. Enligt teorin betyder en temperaturhöjning i betong att RF stiger med ungefär 0,3 procentenheter/grad Celsius [1]. Relativa fuktighetens temperaturberoende är avhängigt av betongens vattencementtal, vct, dessutom påverkar också RF-nivån. När temperaturen sjunker i figur 2 stiger RF och tvärtom. Resultatet i det här specifika fallet visar att när temperaturen sjunker med cirka tre grader så stiger RF med cirka fem procentenheter. RF borde snarare ha sjunkit med ungefär en procentenhet i det här fallet.

Däremot är förhållandet det omvända enligt vedertagen fuktme kanik för luft. När temperaturen i luft sänks med 1 grad Celsius, stiger RF med cirka fem procentenheter om ånghalten är konstant. I luft hade alltså en temperatursänkning på cirka tre grader lett till att RF stigit med cirka 15 procentenheter.

Temperaturförändringen sker under cirka ett halvt dygn men detta ger upphov till en RF höjning på fem procentenheter RF. Denna höjning tyder på att fukten i betongen och luftvolymen aldrig hinner komma i jämvikt.

Mätningen beter sig alltså som om den mäter i ett mellanting mellan luft och betong. Humi-Guard-givaren omges av luft som står i direkt förbindelse med den fuktiga betongen med avsikten att mäta RF i betongen. Ett grundläggande krav för att mätningen ska ge trovärdiga resultat är dock att temperaturen är stabil. Exakt hur samspelet mellan betong och luft och givare påverkas av en instabil miljö är hittills inte utrett.

Möjliga förklaringar

Möjliga förklaringar till att RF varierar så mycket vid en temperaturförändring är att:

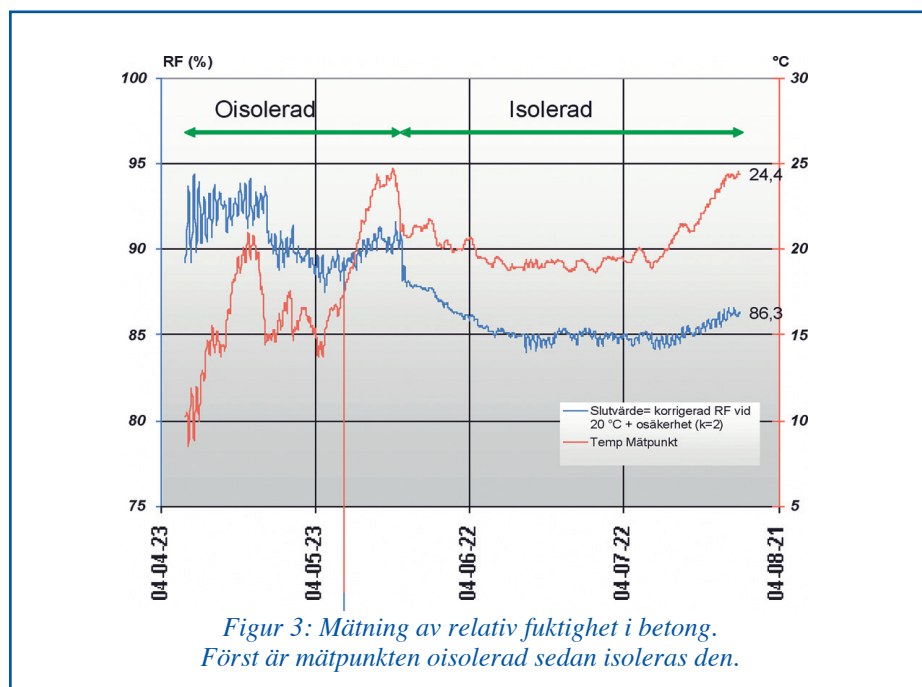
- fukten i luften till en viss del "tas om hand av", diffunderar in eller ut ur betongen men inte tillräckligt snabbt. Naturen strävar efter att utjämna skillnader i relativ fuktighet. Drivkraften minskar ju mindre skillnaden är. I det här fallet är skillnaden väldigt liten bara någon enstaka procentenhet och drivkraften är därmed väldigt liten. Detta är en bidragande orsak till att utjämningen tar tid.

- betong, luftvolym, temperaturgivare och fuktgivaren inte har samma temperatur och ändrar temperatur olika snabbt. Mätningen påverkas av flera olika värmekällor som till exempel värme fläktar, solinstrålning och flänsverkan i betongen. Till detta kan läggas utetemperaturen som ständigt växlar och uppvärmningssystem som slås av och på under byggskedet.

Förstudie om "felaktiga" RF-omslag

Det har utförts en studie [2] för att försöka komma tillrätta med de stora "felaktiga" RF-omslagen genom att isolera mät punkten med en mineralullsskiva av varierande

I diagrammet noteras bland annat att RF-kurvan pendlar upp och ner med flera procentenheter. Denna störning beror på att temperatursvängningar samvarierar på ett teoretiskt "felaktigt" sätt med RF. Avläsningarna inleds när temperaturen är låg, mellan sju och tio grader, och slutar när temperaturen är ganska hög 24 grader. Isoleringen som anordnats på mät punkten påverkar mätresultatet radikalt. Störningen reduceras och RF slutar i det närmaste helt att pendla upp och ner. Isoleringen påverkar också avläsningarna så att temperatursvängningar samvarierar på ett teoretiskt "korrekt" sätt med RF. En stigande temperatur åtföljs nu, med isolering anordnad, av en ökande RF. Resultatet harmonierar nu med vedertagen teori för fuktme kanik i material och tidigare undersökningar utförda i laboratorium. I laboratorium har uppmätts att RF stiger ungefär 0,1–0,5 procentenheter per grad Celsius beroende på vct och RF-nivå. Det skulle i fältmätningen ovan motsvara en variation på $\pm 0,3$ –1,5 procentenheter RF.



Figur 3: Mätning av relativ fuktighet i betong. Först är mät punkten oisolerad sedan isoleras den.

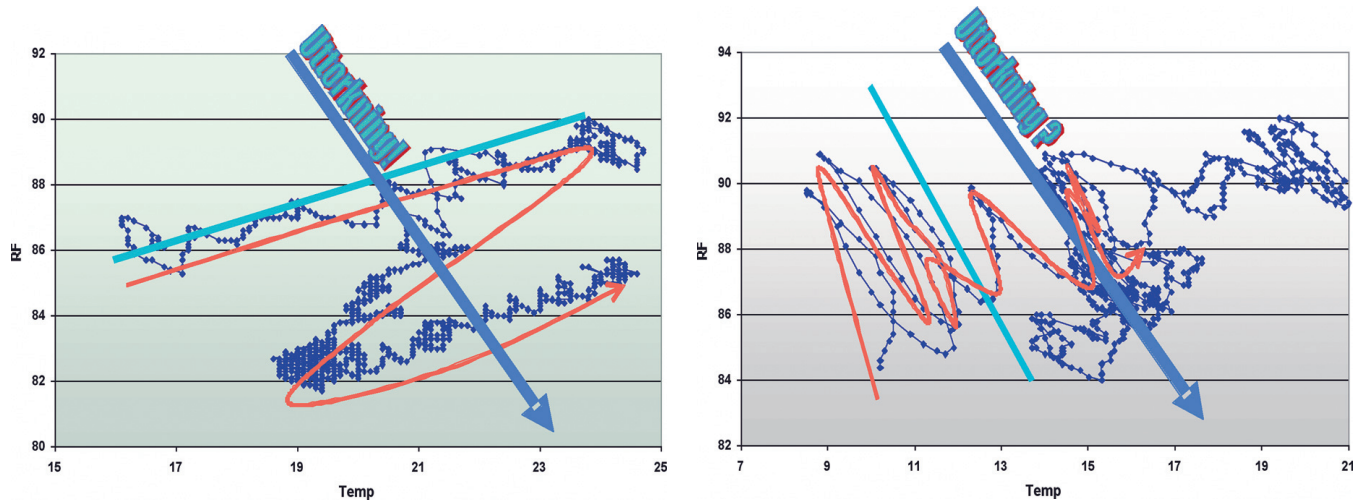
tjocklek och utbredning. En isoleringsskiva förhindrar uttorkningen marginellt, skivan motsvarar en förtjockning av konstruktionen med ungefär 2–3 mm betong. Studien gick till så att en mät punkt loggades under flera månader. Först var mät punkten oisolerad i några veckor därefter anordnades isolering ovanpå mät punkten.

I figur 3 visas resultatet av en mätning av RF som pågick under fyra månader från slutet av april till början av september 2004. Mätningen i figur 3 ingick inte i studien men visar ett likvärdigt försök. Den vänstra delen av diagrammet visar avläsningar när mät punkten är oisolerad och den högra delen när mät punkten är isolerad. RF-kurvan, blå, avläses på den vänstra y-axeln och temperaturkurvan, röd, på den högra y-axeln, x-axeln är en tidsaxel.

Isoleringsskivan på mät punkten minskade RF-svängningarna från $\pm 2,5$ procentenheter RF i det oisolerade fallet till $\pm 0,5$ procentenheter RF efter att mät punkten isolerats.

Klar dygnsrytm

I samtliga mätningar som utförts hittills med Betongdatorn, finns en klar dygnsrytm i temperatursvängningarna. Det har även hänt vid vissa mättillfällen att solinstrålning och värme fläktar har påverkat mätplatsen slumpvis. Sådana felavläsningar syns direkt i diagrammen som enstaka toppar/dalar i temperatur/RF-kurvor och det är lätt att åtgärda dessa genom att exempelvis ta bort fläkten eller skärma av solinstrålning. Loggning av mätdata bör, för att få med dygnsrytmen, ske med ett intervall på minst var tolfte timme gärna



Figur 4 (tv): Diagrammet visar hur RF beror av temperaturen när mätpunkten är isolerad. Den blåa pilen är riktad snett ned åt höger i diagrammet. Den symboliserar ett normalt uttorkningsförlopp för en konstruktion som befinner sig i en byggnad som värms upp i takt med att byggnaden blir färdig.
 Figur 5 (th): Diagrammet visa hur RF beror av temperaturen när mätpunkten inte är isolerad.

var sjätte. Loggas data mer sällan än var tolfte timme ökar andelen felavläsningar.

Det är möjligt att till viss del kontrollera resultatens "sanningshalt" från loggade mätningar genom att lägga in temperatur mot tillhörande RF i ett diagram med RF på y-axeln och temperatur på x-axeln. Diagrammet som skapas kan då se ut i princip enligt figur 4.

Lägg märke till hur den röda kurvan slingrar sig neråt i diagrammet. Det kan förklaras med att konstruktionen torkar ut där mätpunkten är placerad. Lägg också märke till att när temperaturen stiger ökar relativa fuktigheten och tvärtom utom i "vändpunkterna". Det betyder att lutningen på en tänkt linje, ljusblå i figur 4, som följer orienteringen hos de raka segmen-

ten i den röda kurvan, följer RF på ett korrekt sätt och lutar nerifrån vänster och upp åt höger i diagrammet. Storleksordningen på lutningen är ungefär 0,1–0,5 procentenheter/grad Celsius. Det bör särskilt uppmärksammas att en uttorkning hela tiden sker vilket sänker vatteninnehållet i betongen. Den sammanhängande linjen börjar i normalfallet från en hög

startposition till vänster (högt RF och låg temperatur) och slutar i en låg slutposition till höger. RF, i figur 4, stiger vid ett flertal tillfällen, men en uttorkning sker på sikt. I figur 4 har temperaturen till en början varit låg men ökar då byggnaden isoleras och värms upp.

En oisolerad mätpunkt ger ett virrvarr av mätdata orienterade på ett nästan slumpartat sätt. Den röda kurvan som till en början följer avläsningarna spårar snabbt ur. I diagrammet, *figur 5*, ses dessutom en tendens att lutningen hos en tänkt linje, ljusblå, som följer de raka segmenten i den röda kurvan lutar åt fel håll så att RF ökar vid en sänkt temperatur. Det är dessutom svårt att se en eventuell uttorkning i det här diagrammet, den röda kurvan blir här ett trassligt "garnnystan".

Svår utvärderig

Mot bakgrund av dessa resultat kan man säga att sedvanliga manuella avläsningar är mycket svåra att utvärdera av flera olika anledningar;

- risken för att en mätmetod/instrument mäter på ett felaktigt sätt är påtaglig. Det vill säga, det är inte praktiskt genomförbart att kontrollera om avläst temperatur och RF följer varandra så att RF stiger när temperaturen ökar.
- risken för en överdrivet låg eller hög avläsning är uppenbar. Risken för dessa båda avläsningsfel ökar med ökande am-

plitud i temperatursvängningar. Det är med en manuell avläsning omöjligt att avgöra om temperaturen är på väg att stiga eller sjunka eller om den är konstant vid mättillfället. För att avgöra detta krävs en loggad mätning.

- det är omöjligt att veta om förutsättningar för avläsning är bra eller inte. Den bästa förutsättningen för ett korrekt avläsningsresultat är när temperaturen är helt stabil i betongen flera dygn innan mätning. Det hjälper inte att kontrollera att temperaturen i luften inomhus vid mätpunkten är stabil eller inte. Betongen leder värme bra och påverkas av utomhusklimatet i varierande utsträckning. Dessutom gäller att ju längre tid och ju högre stabilitet i temperatur desto säkrare mätresultat.

- mätningen påverkas olika av temperaturväxlingar i luften och omgivningen om mätpunkten är ytligt eller djupt nedborrad. Detta är ytterligare en förklaring till varför det är otillräckligt att mäta lufttemperaturen i närheten av en mätpunkt.

- mätningen påverkas av placering i byggnad i högre utsträckning än vad som tidigare antagits. Det är extremt arbetskrävande att kontrollera om inneklimatet påverkar eller inte påverkar en speciell mätpunkt om avläsningen sker manuellt.

Logga på plats

För att komma tillrätta med ovanstående problem bör samtliga mätningar som ut-

förs på plats loggas. Loggas mätningen kan man hantera eller utvärdera samtliga ovanstående problem. Om mätmetoden mäter på ett "felaktigt" sätt kan detta utläsas med en relativt enkel analys av mätdata enligt principen som visas i figur 4 och 5. Risken för överdrivet höga respektive låga avläsningar minskar väsentligt och utvärderingen blir betydligt enklare att utföra om mätdata presenteras i ett diagram. Om temperatursvängningar uppträder i betongen och stör mätningen syns det direkt i diagrammet och åtgärder kan vidtas för att minimera dessa eller ändra placering på mätpunkt. ■

Referenser

[1] Sjöberg, A., Nilsson, L-O. och Rapp, T., *Fuktmätning i betonggolvet med golvvärme, Etapp I: Förstudie*, Publikation P-02:1, Chalmers tekniska högskola, 2002.

[2] Åhs M., *Fältnätning av RF i betong*, SBUF-rapport nr 11308, Skanska Asfalt och Betong, 2004.

**Välkommen till
Bygg & tekniks hemsida:
byggteknikforlaget.se**