

RF I BETONG

Hur svårt kan det vara?



I denna fjärde artikel i Husbyggaren under året om relativ fuktighet i betong redovisar Anders Selander och Kent Bergström resultat från **mätningar med två olika metoder där samma givare använts för att bestämma RF**. Författarna skriver att först när dessa metoder används tillsammans kan man se och försöka förklara vad alla dessa diskussioner om RF i betonggolv faktiskt handlar om.

TEXT: ANDERS SELANDER & KENT BERGSTRÖM

tre tidigare artiklar här i Husbyggaren har vi berättat om hur förändringar av mätteknik och mätmetoder påverkat det avlästa värdet på relativ fuktighet (RF) i betong. Vi har också visat hur lite valet av bindemedel betyder och sist men inte minst exemplifierat med BRF Viva hur RF i betong med en hög andel mineraliska tillsatsmaterial förändras över tid. Vid några tillfällen har vi dessutom nosat på vad det avlästa värdet av RF kan berätta för oss om betongens egenskaper och dolda färdigheter. I denna artikel redovisar vi resultat med två olika metoder där samma givare använts för att bestämma RF. Det är

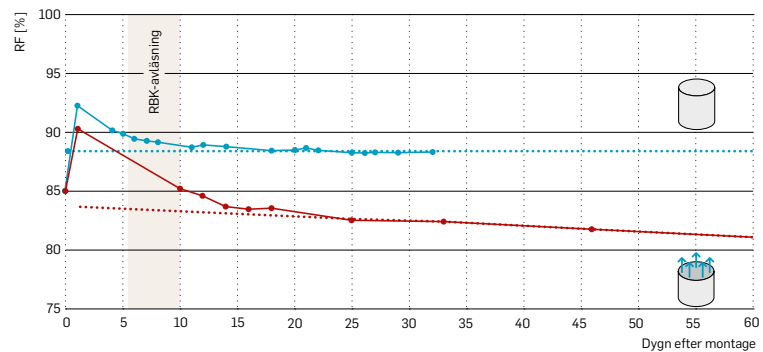
nämligen först när metoderna används tillsammans som vi kan se och försöka förklara vad alla dessa diskussioner om RF i betongolv faktiskt handlar om.

Genom att följa RBKs manual för hur en fuktmätning i betong skall genomföras får vi ett rapporterat resultat som ger oss indata till en fuktsäkerhetsbedömning. Men värdet säger inte vad som kommer hända framöver, inte ens om vi känner vår betong väl. Här finns i stället ett antal intressanta frågor att ställa:

- Är rapporterat RF ett slutvärde för vårt betongolv eller kommer det fortsätta att sjunka?
- Är det "rätt" RF som står i protokollet och vet vi ens vad som är "rätt" RF?
- Är "rätt" RF per automatik samma sak som "relevant" RF för en fuktsäkerhetsbedömning?

MED BORRHÅLSMETODEN KAN VI BESTÄMMA "RÄTT" RF

Låt oss börja med en borrhålsmätning där vi förutsätter att montage blivit tillräckligt tätt. Med en tidig avläsning (6 dygn efter borrhning) spelar tillverkningen av hålet en avgörande roll för hur långt från betongens RF vi befinner oss i luftvolymen där givaren är placerad. I en lite äldre betong, såg ett år gammal, och i en förseglad provkropp förändras i praktiken inte RF längre. När ett över tid stabilt RF i borrhålet kan vi därför utgå från att det avlästa värdet är det RF som betongen håller. Den övre kurvan i figur 1 visar ett sådant exempel. Det är dock endast ett teoretiskt exempel från labb eftersom betongen i ett golv aldrig är förseglad och därmed nästan aldrig håller ett fixt RF. I själva verket förändras RF och hur skall vi då kunna avgöra när "rätt" RF nås? Två på varandra efterföljande avläsningar i samma håll som ger samma värde betyder inte att vi läser av vid rätt tillfälle när en RF-sänkning pågår utan att vi läser av för tidigt. I det verkliga fallet måste vi utvärdera givaren mot en sned asymptot (förutsatt RF-



Figur 1: Ca ett år gammal låg-vct-betong. Övre kurva är en förseglad hink med lock och nedre kurva är en hink som stått utan lock sedan gjutning. Givarna har monterats från sidan och sitter på ekvivalent mätdjup räknat från ovkant i den 170 mm tjocka betongen.

sänkning följer ett sådant förlopp) vilket illustreras i den nedre kurvan i figur 1. Knappt en månad efter borrhning krävs i de aktuella fallen för att hamna rätt i dessa labbhinkar när tätning mot plåt används. I kommande figurer är det slutvärde för borrhåls-RF som redovisas framtaget enligt just denna modell med tätning mot plåt. Om detta är rätt metod för ett fältmontage med tätning mot betong är inte lika självklart när så många fler felkällor adderas.

MED DET UTTAGNA PROVET KAN VI FÖRKLARA VAD SOM SKER I BETONGEN

RF-sänkning som de facto pågår i de allra flesta betongolv har av allt att döma tre bidragande komponenter. De två första, cement-kemi/hydratation (självuttorkning) och fuktavgång (diffusionsuttorkning), känner vi väl till men det räcker inte för att förklara det vi observerat. Vi behöver en tredje komponent som till storleken faktiskt är den allra viktigaste och den beaktas inte ens idag. Vi tar oss här friheten att ge den arbetsnamnet *fuktrelexation* eftersom ingen namngett den tidigare. Egentligen har vi kunnat se den länge men vi har valt att blunda och söka andra förklaringsmo-

deller när ett utfall inte stämte med tidigare erfarenheter. För att förstå RF i betong eller egentligen i alla cementbaserade material så krävs endast fyra väl planerade försök och därtill noggranna mätningar av RF. Vi har genomfört mätningarna med Humi-Guard-givare vilket underlättar men om du vet vad du skall leta efter så går det förmodligen att se med andra givare också även om det inte blir lika tydligt.

METOD

Försöken har genomförts på betong som gjutits i 5L-hinkar, med respektive utan lock på. Provkroppsgemetri har ingen betydelse i sig men däremot är det absolut nödvändigt att betongen kan förseglas så att ingen fukt kan lämna. RF-mätningarna genomförs på minst ett år gammal betong av två skäl. För det första jämnas eventuella skillnader kopplat till härdningstemperatur och bindemedel ut under det första året. För det andra är det nödvändigt att betongen som inte förseglas hinner påverkas tillräckligt av omgivningen på ett djup där det går att genomföra en borrhålsmätning. Följande steg ingår i proceduren, se även figur 2:

Figur 2: Foton på de fyra stegen.



1. Borrhålsmätning med tätning mot plåt.



2. Hinken spräcks kontrollerat i skivor genom att förborra.



3. HG-givare i provrör med krossad betong. Provrören placeras i en väska med isolering.



4. Efterkontroll av läckage i 100% RF.

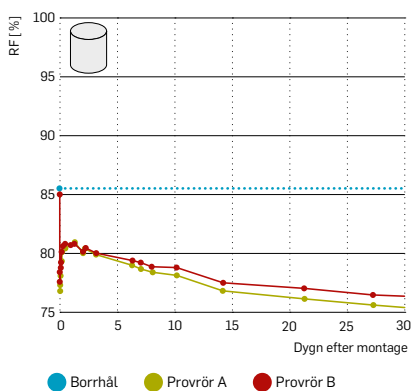
- ➔ 1. Borrhålmätningen följer RBKs manual med två undantag. Givaren som sätts från sidan tätas mot plåt och slutavläsningen görs i intervallet 20-30 dygn enligt den princip som visats i figur 1 i stället för av RBK rekommenderade 6-10 dygn.
2. Provkroppen spräcks och krossat material från samma djup som borrhålmätningen genomfördes på tas ut och placeras i provrör. Minst två provrör fylls och en givare placeras i varje.
3. Provrörerna isoleras och RF följs under minst en månad.
4. Vid misstänkt läckage (provrör 1 och 2 divergerar) placeras provrörerna i 100 % RF för kontroll.

Ett stort antal försök har genomförts enligt denna modell och allt eftersom resultaten tickat in och arbetsgången finjusterats har mönstren blivit tydligare. Nedan visas ett exempel på vardera av de fyra renodlade utfall som kan fås, samt ett resonemang kring när dessa uppstår i fält.

UTFALL 1 – FÖRSEGLAD LÅG-VCT-BETONG

Ett riktigt betonggolvs står i kontakt med omgivningens RF men på det djup där givaren sitter och vid den ålder då mätningen normalt genomförs kan vi nästan betrakta betongen som förseglad. Har en så kallad torkbetong använts är ett vattencementtal (vct) på 0,36 som i figur 3 dessutom vanligt.

HumiGuard-givaren är förkonditionerad i 85 % RF och det är det första värdet vi läser av i provröret. Därefter sjunker avläst RF snabbt eftersom rumsluften som fyller provröret i de flesta fall håller ett lägre RF än givaren. Den krossade betongen hinner inte fukta upp luftvolymen lika snabbt utan detta är ett förlopp som kräver längre tid.



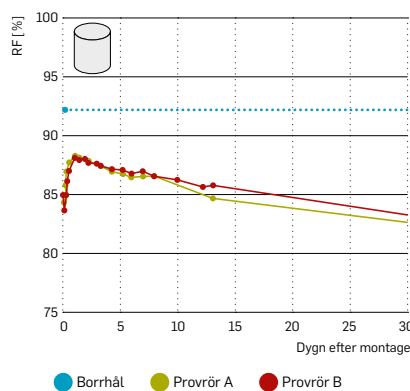
Figur 3: Streckad linje markerar sista avlästa borrhåls-RF innan betongen krossas. Provrör A och B visar två provrör med krossad betong från samma område i hinken. A och B divergerar något och efter en månad skiljer drygt 1 % i RF. Efter några dygns placering i 100 % RF konstateras att inget läckage fanns. (Drygt ett år gammal bascementbetong med vct=0,36. Förseglad hink sedan gjutning.)

Efter 1-2 dygn når RF som högst i provröret för att därefter börja falla. Hade detta varit en fältprovtagning så hade avläsningen förmodligen gjorts i labb efter 5-7 dygn. Under denna period kan RF-värdet mycket väl uppfattas som stabilt. I verkligheten är dock värdet allt annat än stabilt av två skäl, cementhydratation och fuktrelexation.

2015 togs provningsmetoden med krossat material i provrör bort av RBK bland annat på grund av resultat som liknar de i figur 3. Inte nog med att vi hamnar på markant olika nivåer med de två metoderna dessutom visar provröret inte ett stabilt värde ens om det följs över längre tid.

UTFALL 2 – FÖRSEGLAD HÖG-VCT-BETONG

Hur kan vi då veta att det inte bara är cementhydratation som sänker RF i provröret? Enklast är att genomföra samma experiment med en betong som har ett högt vct eller i alla fall så högt att vi har ett överskott på vatten i stället för cement, i detta fall vct=0,50. Både borrhålmätning och provrörmätning hamnar högre i figur 4 men följer i övrigt samma mönster som i figur 3 med låg-vct-betong. Skillnaden i nivå mellan de två mätmetoderna är ungefär densamma. Vi kan ännu inte utesluta cementhydratationens påverkan men den kan knappast stå för hela RF-sänkningen när vi tittar på proportionerna mellan vatten och cement i denna betong. Beaktar vi dessutom att RF mätt med borrhålsmetoden hade gett i princip samma RF ett halvår tidigare precis som ett halvår senare så står det klart att det är något annat som sänker RF snabbt när väl betongen hamnar i provröret. Betongen vill helt enkelt berätta något för oss när den förflyttas från hink till provrör.



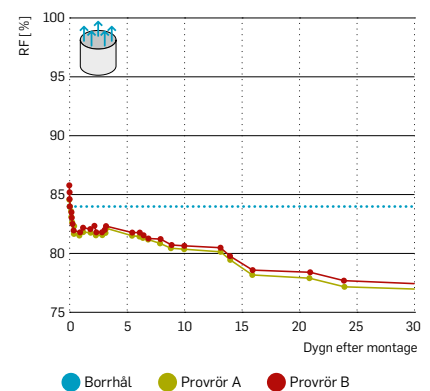
Figur 4: Streckad linje markerar sista avlästa borrhåls-RF innan betongen krossas. Provrör A och B visar två provrör med krossad betong från samma område i hinken. (Drygt ett år gammal bascementbetong med vct=0,50. Förseglad hink sedan gjutning.)

UTFALL 3 – ÖPPEN LÅG-VCT-BETONG

Det tredje försöket är utan tvekan det svåraste att lyckas med samtidigt som det förmodligen är det mest relevanta i dagens byggande ur ett fuktsäkerhetsperspektiv. Om vi går ut och mäter i några år gamla golv som haft krav på uttorkning är det detta material och beteende vi kommer möta, något som många fuktskadeutredare kan vittna om. Eventuellt emissioner från yttskiktet men låga RF i betongen. Varför ser det ut så?

Vår hypotes är att något annat än cementhydratationen står för hela eller i alla fall lejonparten av RF-sänkningen i figur 3 och 4 när betongen krossas och förflyttas till provröret. Detta något annat, som vi kallar för fuktrelexation, vill vi i denna uppställning skall ha spelat ut sin roll. Vi behöver inte krossa betongen utan samma process sker även i en sammanhållen betong i en öppen hink såväl som i ett riktigt betonggolv men det tar tid och vi behöver vänta minst ett år efter gjutning innan försöket genomförs, gärna längre.

I en låg-vct-betong kan vi dessutom aldrig bortse från all den oreagerade cement som finns kvar så det är utmanande att veta när mätningen skall genomföras plus att det kräver en givare som kan monteras direkt i provröret. Det senare är nödvändigt så att avläsningen hinner genomföras innan cementhydratationen sänker RF ytterligare. När alla stjärnor står rätt och ingen fukt har förlorats i provhanteringen kan vi under en kortare tidsperiod läsa av samma värde i den krossade betongen som i borrhålet. I något enstaka fall hamnar vi på exakt samma nivå men vanligare är någon procent under. Figur 5 visar ett representa-

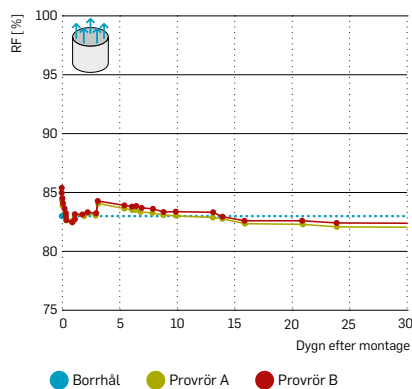


Figur 5: Streckad linje markerar sista avlästa borrhåls-RF innan betongen krossas. Provrör A och B visar två provrör med krossad betong från samma område i hinken. (Drygt ett år gammal bascementbetong med vct=0,36. Öppen hink sedan gjutning. Borrhålmätning är genomförd på 120 mm djup och krossat material är taget från 100-140 mm djup.)

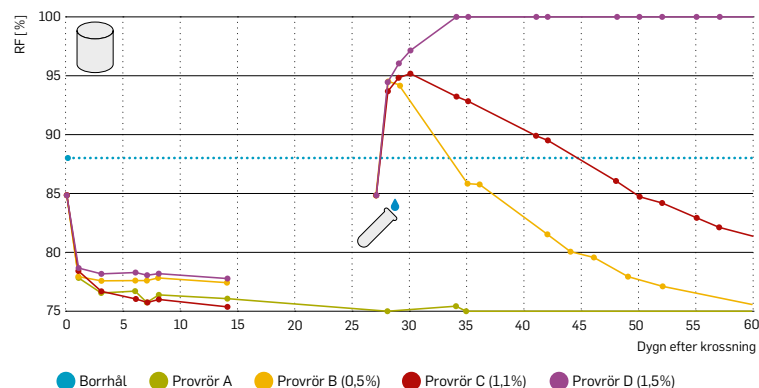
→ tivit resultat för denna uppställning. Erfarenhetsmässigt behöver RF ha sjunkit ned mot 80 % och eftersom HG-givaren egentligen inte kan användas under 75 % utan handpåläggning erbjuds ett ganska snävt fönster. Skillnaden som med tiden växer mellan borrhålmätning och provrör i figur 5 kan förmodligen tillskrivas den oreagerade cement som frigjorts vid krossning.

UTFALL 4 – ÖPPEN HÖG-VCT-BETONG

Utfall 1 med förseglad låg-vct-betong visade på en markant skillnad mellan slutavläsning i borrhålet och det krossade provet. Detta beror på både oreagerad cement och fuktrelaxation. Utfall 2 med förseglad hög-vct-betong har en högst begränsad förmåga att sänka RF med cementkemi. Här är det i princip endast fuktrelaxationen som gör jobbet. I utfall 3 bidrar fuktrelaxationen sannolikt inte längre utan nu är det den kvarvarande oreagerade cementen som sänker RF vilket också är en långsam process vid låga RF. Den vakne läsaren förstår nu hur det fjärde utfallet med öppen hög-vct-betong måste se ut för att slutföra resonemanget. Slutavläsningen i borrhålet och det uttagna provet skall visa samma vilket också är vad dom gör i figur 6. Tyvärr är det ett ovanligt scenario i dagens betongbyggingande på grund av att vi jagar uttorkningskravet i alldeles för tidig ålder och därför använder låg-vct-betong helt i onödan. Det borde vara betydligt intressantare att titta på vilket RF betongen på alldeles egen hand kommer att arbeta mot över tid. Jämförs nivån efter 30 dygn i figur 6 med utfall 2 i figur 4 ser vi att bascementbetong (vct=0,50) med lite tur kommer att klara 85-kravet även med föreskrivet påslag om vi bara ger det lite tid.



Figur 6: Streckad linje markerar sista avlästa borrhåls-RF innan betongen krossas. Provrör A och B visar två provrör med krossad betong från samma område i hinken. (Drygt ett år gammal bascementbetong med vct=0,50. Öppen hink sedan gjutning. Borrhålmätning är genomförd på 80 mm djup och krossat material är taget från 60–100 mm djup.)



Figur 7: Streckad linje markerar sista avlästa borrhåls-RF innan betongen krossas. Längst till vänster ses första avläsningarna i provrör efter betongen krossats. Efter en knapp månad öppnas tre av fyra provrör och en varierande mängd vatten tillförs. Tillförd fuktmängd motsvarar 0,3–1,5% av provvikten. (Drygt ett halvår gammal bascementbetong med vct=0,36. Förseglad hink sedan gjutning.)

FUKTRELAXATION?

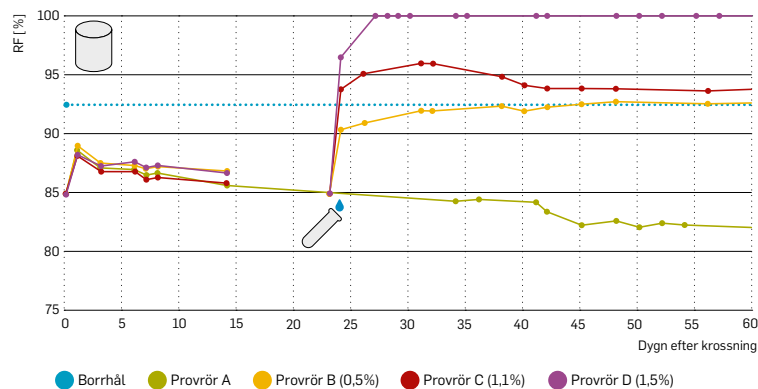
Allt är glasklart och nu kan vi börja gjuta med vct=0,50 i alla golv med uttorkningskrav, eller? Ja, det kan vi faktiskt göra men nej, det går inte att hänga upp allt på en tills nu okänd fuktrelaxation. Vid en utvärdering av fuktrisken i ett betonggolv (innan ett ytskikt läggs) antas vid mättilfället en RF-profil. Högre i botten/mitten och lägre vid ytan. Tanken är då att om ingen mer fukt slipper ut riskeras samma RF under ytskiktet som läses av på ekvivalent mätdjup genom en omfördelning av fukt. Men kan det verkligen ske om lejonparten av RF-sänkningen består av en fuktrelaxation?

Vi kan genomföra ännu ett ganska enkelt försök för att försöka svara på frågan om vandrande fukt inifrån betongen kan höja RF i ytan. I försöket tillförs vatten till krossad betong (från en förseglad hink) i provrör för att se hur RF-givaren/betongen rea-

gerar. Med låg-vct-betong blir effekten att det stora överskottet på oreagerad cement enkelt binder upp fukten och RF är snart tillbaka på samma nivå som borrhålmätningen visade och fortsätter därefter sjunka, se figur 7. Detta är i princip samma försök som vi i tidigare artikel redovisat i borrhål men nu kan vi dessutom sätta mängden vatten i relation till mängden betong och på så sätt få en siffra på överkapaciteten i betongen. I en låg-vct-betong finns en stor säkerhetsmarginal och risken att ett avläst högt RF från en borrhålmätning kan fortplantas uppåt får nog ses som obefintlig.

I en hög-vct-betong blir det lite annorlunda. Här finns inte någon överkapacitet att tala om så när vatten tillförs provröret stiger också RF och stannar där vilket kan ses i figur 8.

Slutsatsen blir att även en begränsad



Figur 8: Streckad linje markerar sista avlästa borrhåls-RF innan betongen krossas. Längst till vänster ses första avläsningarna i provrör efter betongen krossats. Efter en knapp månad öppnas tre av fyra provrör och en varierande mängd vatten tillförs. Tillförd fuktmängd motsvarar 0,5–1,5% av provvikten. (Drygt ett halvår gammal bascementbetong med vct=0,50. Hinken har varit förseglad sedan gjutning.)

→ mängd extern fukt kan höja RF till en för hög nivå vilket i sig inte är något nytt men hur blir det om fukten som förväntas höja RF är intern. Allt kokar ned till vad fuktrelaxation är för något och det vet vi faktiskt inte men vi har en hypotes.

Svaret ligger förmodligen i fuktjämviktskurvan. Det är sedan länge känt att betong precis som alla andra hydrofila porösa material för samma fuktinnehåll kan uppvisa olika RF. Detta beror på om materialet befinner sig i uppfuktning, uttorkning eller någonstans däremellan. När en RF-mätning genomförs i ett nyproducerat betonggolvet antas att materialet befinner sig på jämviktskurvan för uttorkning men det är inte självklart. Betongen krymper även när den inte släpper ifrån sig någon fukt och det vatten som finns kvar kan inte komprimeras. Om vi för ett ögonblick gör en tankelek och försöker visualisera hur det ser ut inuti betongens fina system av porer så kan det liknas vid en måttligt fylld tvättsvamp som legat på diskbänken en liten stund och torkat. Genom att försiktigt komprimera densamma utan att något vatten lämnar svampen kommer kanalerna pressas samman och utrymmen som inte varit fyllda av vatten tidigare fylls nu. I en fuktjämviktskurva innebär detta ett hopp från uttorkningskurvan till uppfuktningenskurvan utan att fukt vare sig lämnar eller tillförs svampen. Betongen kan liknas vid den lätt komprimerade tvättsvampen och kompressionen orsakas av något som kallas autogen krympning dvs. kemisk krympning. Om nu RF mäts i betongen med borrhålsmetoden kommer vi enligt detta resonemang fånga ett värde på uppfuktningenskurvan. När

betongen spräcks släpper kompressionen relativt snabbt och redan efter några dagar fås ett värde betydligt närmare uttorkningskurvan. När betonggolvet står i kontakt med omgivande luft pressas/torkar fukten ut men det tar tid och det kan dröja ett år eller mer beroende på geometri och omgivande klimat innan ett uttorkningsvärde kan fångas med en borrhålsmätning.

Var landar vi då när det gäller risken att borrhåls-RF på ekvivalent mätdjup kan spridas uppåt. Anta att vår förklaringsmodell är korrekt, då gäller följande: Precis som i tvättsvampens fall krävs extern fukt eller externt tryck. Ingetdera bör förekomma i ett betonggolvet och fuktrelaxationen kan därmed betraktas som irreversibel. Fuktrisken kopplad till betongen är enligt ovanstående resonemang obefintlig även i en hög-vct-betong om, och detta är ett superviktigt om, betongen har kapaciteten att sänka RF till önskat gränsvärde på egen hand. I vårt fall visar Figur 4 att bascementbetong med vct = 0,50 har kapaciteten att nå ett krav på 85 % RF. Dessutom finns en säkerhetsmarginal till inbyggd i golvsystemet som knappt berörts i denna artikel, nämligen diffusion. Över tid kommer fukt lämna golvet även genom limmade mattor och därmed ytterligare sänka RF.

DISKUSSION

I början av artikeln ställde vi tre frågor vars svar förhoppningsvis kan bidra till ett annorlunda sätt att hantera fuktfrågan i betonggolvet. Följande resonemang baseras främst på resultat som presenterats ovan men också tidigare publicerade artiklar från våren 2022.

Är rapporterat RF ett slutvärde för vårt betonggolvet eller kommer det fortsätta att sjunka?

Under förutsättningen att ingen extern fukt tillförs kommer Borrhåls-RF i de allra flesta fall att sjunka även om vi lägger på ett tätt ytskikt. Det finns alltid undantag och dessa fås om fuktrelaxation och cementhydrationspelat ut sin del vid måttillfället. Med förutsättningarna i dagens nyproduktion (låg-vct-betong och korta byggtider) är dock svaret att värdet kommer att sjunka många procent.

Är det "rätt" RF som står i protokollet och vet vi ens vad som är "rätt" RF?

Ja det kan faktiskt vara rätt RF som står i protokollet men det finns felkällor på både plus- och minus-sidan. Viktigast på plus är att tidiga avläsningar riskerar att ge för höga värden medan läckage är den stora minusposten. Det krävs en hel del erfarenhet för att skilja på mätfel och naturligt beteende hos betongen.

Är "rätt" RF per automatik samma sak som "relevant" RF för en fuktsäkerhetsbedömning?

Nej det är det inte. Borrhåls-RF kan förvisso visa betongens RF här och nu men säger inget om resan framåt. Relevant RF kan fås med ett noggrant uttaget prov som då i stället ger en fingervisning om vilken kapacitet betongen har att sänka RF på egen hand. Det uttagna provet ger dock ingen information om vilket RF vare sig betonggolvet eller avjämnningen faktiskt håller här och nu om det inte kombineras med en borrhålsmätning.

Lösningen framåt borde vara att funktionsprova/förprova betongens förmåga att sänka RF precis som det redan görs för så många andra egenskaper som kravställs (tryckhållfasthet, frostbeständighet, brandmotstånd m.fl.) Utöver detta skulle stickprov kunna tas för att säkerställa att betongen i fält beter sig på samma sätt som den gjort i labb. ■



ANDERS SELANDER
Tekn Dr
Specialist betong
Cementa



KENT BERGSTRÖM
Polygon Group

