

INNEHÅLL FLIK 2

ALLMÄNT OM FUKTMÄTNING I BETONG

2.1	RF-mätning i betong	sida 2
2.2	Definition av mätdjup	sida 3
2.3	Ekvivalent mätdjup	sida 4
2.4	Beräkning av ekvivalent mätdjup	sida 9
2.5	Voter	sida 11
2.6	Prognos avseende uttorkningstid	sida 12
2.7	Borrhålsmätning	sida 13
2.8	Givare för borrhålsmätning	sida 15
2.9	Uttaget prov	sida 17
2.10	Kalibrering av givare – kalibreringskurva	sida 18
2.11	Drift och egenkontroll av RF-givare	sida 19
2.12	Fuktmätning under inverkan av golvvärme	sida 22
2.13	Fuktmätning i vakuumbehandlad betong	sida 24
2.14	Golvavjämning	sida 25
2.15	Mätosäkerhet vid fuktmätning i betong	sida 26
2.16	Definitioner	sida 29

2 ALLMÄNT OM FUKTMÄTNING I BETONG

För att kunna utföra fuktmätningar, granska fuktmättningsresultat samt mätmetoder krävs kunskap. I detta kapitel beskrivs grunderna avseende fuktmätning, mätdjup, mätmetoder, tillvägagångssätt för borring av mäthål, kalibrering av givare samt felkällor. Delar av materialet under denna flik är hämtat ur skriften ”Uttorkning av byggfukt i betong” av Göran Hedenblad /1/.

2.1 RF-mätning i betong

Syftet med att utföra en fuktmätning är att erhålla ett mätresultat som redovisar vilken fuktnivå som råder i materialet. Storheter som kan användas är fukthalt, fuktkvot, relativ fuktighet eller kapillär mättnadsgrad. Vilken storhet som bör användas beror i första hand på syftet med mätningen och vilket material som den ska utföras i men även vilken noggrannhet som önskas avseende uppmätt värde. Denna manual är i första hand tänkt att användas vid fuktmätning i betongkonstruktioner, bjälklag eller betonggolv, där syftet med mätningen är att avgöra om betongen är tillräckligt torr för att beläggas med ett ytskikt. RF, relativ fuktighet, är i detta fall en lämplig storhet. RF i betongen ligger ofta i intervallet 85 – 95% i det skede då ett ytskikt kan appliceras. Vilken RF som ska råda beror på vilket ytskikt som ska användas och dess kritiska RF. Kritisk RF är den högsta RF som materialet tål utan att det riskerar att fuktskadas. Kritisk RF kan skilja mellan olika material. Det är viktigt att det mätvärde som levereras är korrekt så att materialet inte utsätts för en högre RF än vad det tål.

RF-mätningen ska utföras i ett borrhål i betongen och inte på betongytan. Under uttorkning av nygjuten betong erhåller betongytan snabbt samma RF som omgivande luft. Längre in i materialet är RF högre. RF varierar således över betongens tvärsnitt. RF-fördelningen brukar redovisas med en så kallad fuktprofil. Vilket mätdjup som ska användas beror på konstruktionens utformning och betongens möjlighet att torka ut. Utifrån detta kan ett ekvivalent mätdjup bestämmas. RF på detta djup motsvarar den RF som maximalt kommer att erhållas under ett tätt ytskikt efter att det applicerats och en fullständig fuktomfördelning har skett. Detta beskrivs utförligare i avsnitt 2.2.

För att ett korrekt resultat ska kunna erhållas måste följande uppfyllas:

- Fukt- och temperaturjämvikt mellan givare och betong
- Stabil temperatur under mätningen
- Kalibrerad mätutrustning

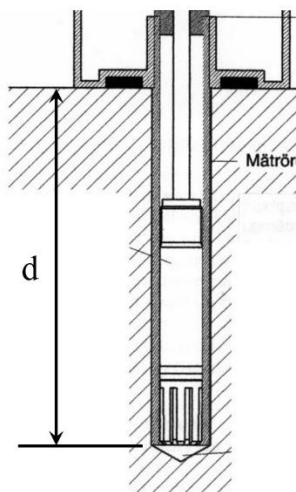
Kan inte ovanstående säkerställas så ska inte mätningen utföras. En mätning som utförs utan att ovanstående är uppfyllt riskerar att ge ett felaktigt resultat. Mätningen ger då ofta en lägre RF än vad som råder i betongen. Risken är stor att ytskiktet fuktskadas om tidpunkten för att montera ytskiktet baseras på detta mätresultat.

Det behövs även kunskap om materialet betong, byggteknik, byggritningar och hur det praktiskt går till på en byggarbetsplats för att kunna utföra RF-mätningar på ett tillförlitligt och korrekt sätt. Mer om materialet betong behandlas under flik 3 i denna manual.

Version:	Datum:	Gäller från:	Utfärdad av:	Sign. Revisionsledare RBK	Flik:	Sida:
6:1	2019-01-16	2019-02-01	Ted Rapp		2	2(30)

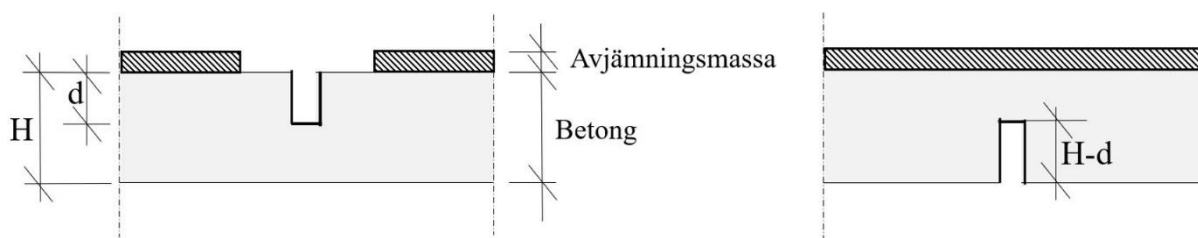
2.2 Definition av mätdjup

Mätdjupet är djupet från betongens yta till den nivå i betongen där RF ska bestämmas. Se figur 2.1. Efter att ett hål borrats i betongen ska djupet kontrolleras genom mätning med hjälp av ett skjutmått. Mätningen ska utföras utmed hålets mantelyta och inte till hålets centrum vilket ligger något djupare. Om överytan på betongen är ojämn, eller om borrhålet inte är helt lodrätt, så kommer uppmätt djup att variera beroende på var i hålet som mätningen utförs. I detta fall får ett medelvärde bestämmas utifrån största och minsta djup. I protokollet ska alltid mätdjupet anges i hela millimeter dvs utan decimaler.



Figur 2.1. Mätdjup, d , i ett borrarat hål anges i hela millimeter. Mätröret ger ett väl definierat mätdjup eftersom fukt endast kan avgå från borrhålets botten.

För att erhålla en jämn yta inför golvläggning används ofta avjämningsmassa mellan betong och ytskikt. Om en mätning ska utföras i en konstruktion som redan är belagd med avjämningsmassa så ska den först avlägsnas innan mät hålet borrar. Betongen friläggs på en yta som ska räcka till för att mätrör och skydd, tex skyddskon, ska få plats. Avjämningsmassans tjocklek ska inte ingå i mätdjupet, d , vilket anges i montageprotokollet som avståndet från betongytan till botten av mät hålet, se figur 2.2. Det ska däremot skrivas in i montageprotokollet att det finns avjämningsmassa vid mät punkten och skiktets tjocklek ska anges. Ekvivalent mätdjup beräknas enligt avsnitt 2.3, med avjämningsmassan borträknad.



Figur 2.2. Mätdjup, d , är avståndet från betongens överyta till botten av mät hålet. Tjockleken på skiktet med avjämningsmassa ska inte ingå men den ska anges i montageprotokollet. H är betongens tjocklek. Mätning kan även utföras underifrån, om det är praktiskt genomförbart. Mätdjupet ska i så fall vara $H-d$ från undersida betong, se till höger i figuren.

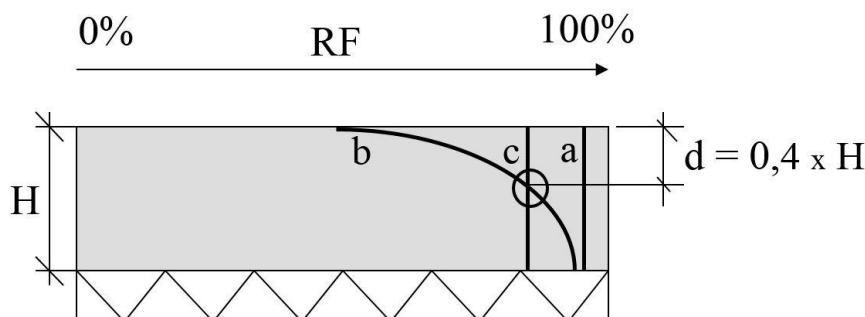
Om mätning ska utföras efter avjämning kan, om möjligt, området där mät punkten ska sitta skärmas av innan avjämningen utförs så att betongytan hålls fri inför kommande mätning. Alternativt kan mätningen utföras från undersidan. Tätning av mätrörets övre del ska alltid utföras direkt mot betongytan, inte mot något annat material tex avjämningsmassa.

Version:	Datum:	Gäller från:	Utfärdad av:	Sign. Revisionsledare RBK	Flik:	Sida:
6:1	2019-01-16	2019-02-01	Ted Rapp		2	3(30)

2.3 Ekvivalent mätdjup

Syftet med att utföra en fuktmätning är att säkerställa att betongen är tillräckligt torr för att ytskiktet som används inte ska utsättas för en högre fuktbelastning än vad materialet tål. När det gäller fukt i betong används oftast storheten relativa fuktigheten, RF. Fukttillståndet varierar genom betongtvärsnittet under uttorkningen vilket kan redovisas med en fuktprofil se figur 2.3. RF i ytan på betongen erhåller snabbt samma RF som den omgivande luften. Längre in i betongen är RF betydligt högre. En mätning i ytan ger inte ett resultat som motsvarar den fuktbelastning ytskiktet med tiden kommer att utsättas för. När ytskiktet appliceras på betongen tätas betongytan till vilket förhindrar ytterligare uttorkning. Den kvarvarande fukten kommer därefter att omfördelas i betongen vilket innebär att de torrare delarna under ytskiktet kommer att fuktas upp av den fuktigare botten. För att bedöma hur stor fuktbelastningen blir under ytskiktet måste mätningen utföras på ett relevant mätdjup. På detta djup ska fukttillståndet under uttorkning överensstämma med maximalt fukttillstånd under ytskiktet vilket uppstår efter fullständig omfördelning av fukten. Detta brukar benämnas ekvivalent mätdjup.

Det finns två principiellt skilda fall av uttorkning vilka styr valet av ekvivalent mätdjup, enkelsidig- och dubbelsidig uttorkning. Principen för enkelsidig uttorkning visas i figur 2.3. Där visas fuktprofiler för en bottenplatta gjuten på ett underlag av cellplast där uttorkningen endast kan ske uppåt dvs enkelsidig uttorkning. Om plattan är gjuten på underliggande mineralull erhålls en viss uttorkning nedåt, förutsatt att isoleringen är torr. Detta beaktas normalt inte vid bestämning av ekvivalent mätdjup. Även ett mellanbjälklag gjutet på kvarsittande plåtform behandlas som enkelsidig uttorkning.



Figur 2.3. Ekvivalent mätdjup, d , vid enkelsidig uttorkning. Figuren visar fuktprofiler avseende relativ fuktighet, RF, genom ett betongbjälklag vid olika tidpunkter. a = fuktprofil direkt efter gjutning, b = fuktprofil under uttorkning, c = fuktprofil efter golvläggning och fullständig omfördelning av fukt. H = bottenplattans tjocklek.

Vid enkelsidig uttorkning används ekvivalent mätdjup, $d = 0,4 \times H$.

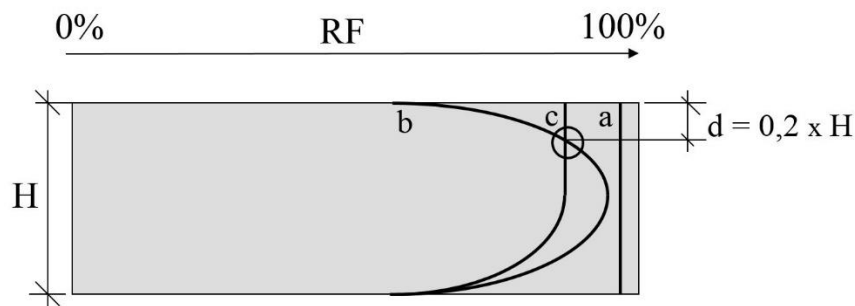
På detta djup, se figur 2.3, motsvarar uppmätt värde den RF som kommer att uppnås under golvbeläggningen efter fullständig omfördelning av fukten. Ekvivalent mätdjup varierar beroende på om betongen kan torka ut åt ett håll, två håll eller något mellanting.

Det ekvivalenta djupet är även beroende av golvmaterialets täthet. Högst RF under ytskiktet erhålls vid helt tätt golvmaterial och är det fall som generellt används för att bestämma mätdjupet.

Version:	Datum:	Gäller från:	Utfärdad av:	Sign. Revisionsledare RBK	Flik:	Sida:
6:1	2019-01-16	2019-02-01	Ted Rapp		2	4(30)

Dubbelsidig uttorkning är när konstruktionen kan torka åt två håll. Exempel på detta kan vara ett mellanbjälklag, eller en innervägg. Se figur 2.4.

Vid dubbelsidig uttorkning används ekvivalent mätdjup, $d = 0,2 \times H$.



Figur 2.4. Ekvivalent mätdjup, d , vid dubbelsidig uttorkning. Figuren visar fuktprofiler avseende relativ fuktighet, RF, genom ett mellanbjälklag. a = fuktprofil direkt efter gjutning, b = fuktprofil under uttorkning, c = fuktprofil efter golvläggning och fullständig omfördelning av fukt. H = bjälklagets tjocklek.

Det är viktigt att beakta att ekvivalent mätdjup förutsätter att fuktprofilen överensstämmer med kurva b i figur 2.3 eller 2.4 under pågående uttorkning. Efter en vattenskada eller vid renovering av en gammal byggnad måste fuktprofilen fastställas innan mätdjupet kan bestämmas vilket kan vara komplicerat. En annan förutsättning som måste vara uppfylld är att temperaturen i betongkonstruktionen ska vara konstant över tvärsnittet. Är det stor temperaturskillnad mellan över- och underyta finns risk för stora mätfel. Det är därför lämpligt att kontrollera yttemperaturen på båda sidor av ett mellanbjälklag när en RF-mätning utförs.

När det gäller en platta på mark så är en förutsättning att det finns en underliggande isolering eller ett diffusionstätt material, tex plastfolie mellan mark och betong, för att ekvivalent mätdjup ska kunna användas. Om det saknas kommer betongen, efter fuktutjämning, att erhålla samma RF som marken, vanligen 100 % RF. En mätning under uttorkning på ekvivalent djup är i detta fall således missvisande avseende vilken RF som med tiden kommer att uppstå under ett ytskikt.

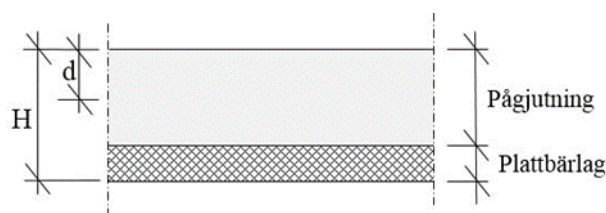
OBS! Om mätning utförs på ett annat djup än ekvivalent djup, eller om ekvivalent mätdjup inte är tillämpligt, så ska ekvivalent mätdjup inte anges i mätprotokollet. I rutan för denna uppgift görs en hänvisning till kommentarsfältet i montageprotokollet där en förklaring ska anges om varför ekvivalent djup inte anges. Det kan tex vara att en fuktprofil ska upprättas med RF på olika djup i betongen.

Plattbärlag och pågjuten underbetong

Ett bjälklag, eller en bottenplatta, behöver inte bestå av betong gjuten vid ett och samma tillfälle. Det kan vara en flerskiktsskonstruktion där en pågjutning utförs på ett tidigare gjutet bjälklag i ett eller flera skikt. Bjälklag som pågjuts kan vara platsgjutet eller prefabricerat, till exempel plattbärlag, varav det senare är vanligt förekommande. Bjälklag med plattbärlag är ett specialfall av dubbelsidig uttorkning. Mer om plattbärlag se flik 3.

Ekvivalent mätdjup styrs av vct i plattbärlaget respektive pågjutning. Se figur 2.5.

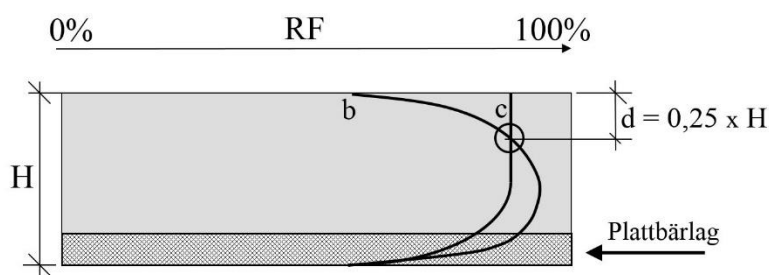
Version:	Datum:	Gäller från:	Utfärdad av:	Sign. Revisionsledare RBK	Flik:	Sida:
6:1	2019-01-16	2019-02-01	Ted Rapp		2	5(30)



Figur 2.5. Ekvivalent mättdjup, d, för ett bjälklag bestående av ett pågjutet plattbärlag.

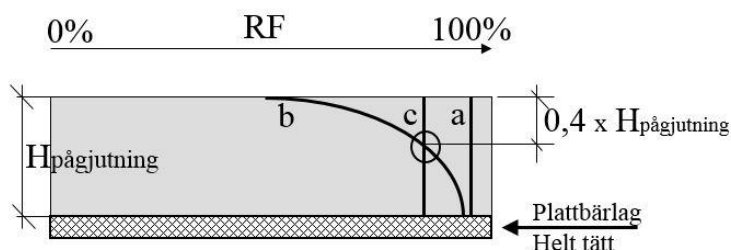
Om pågjutningen har samma, eller lägre, vct än plattbärlaget är mättdjupet: $d = 0,2 \times H$
 Om pågjutningens vct är högre, eller uppgift om vct saknas: $d = 0,25 \times H$

En förutsättning är att plattbärlagets tjocklek är avsevärt mindre än pågjutningen. Observera att höjden H avser hela bjälklaget dvs pågjutning inklusive plattbärlagets höjd. Orsaken till det större mättdjupet, $0,25 \times H$, är att uttorkningen nedåt går långsammare ju lägre vct plattbärlaget har. Lågt vct ger en tätare betong som försämrar uttorkningen nedåt och fuktprofilen förskjuts nedåt varvid ekvivalent mättdjup ökar. Se figur 2.6. Om plattbärlaget däremot är gjutet med samma vct som pågjutningen, eller högre, förutsätts uttorkningen ske symmetriskt dubbelsidigt motsvarande figur 2.4. I mättrapporten ska både plattbärlagets höjd och pågjutningens framgå. Om plattbärlaget tex är 50 mm och pågjutningen 200 mm anges 50+200 i rutan för betongtjocklek i montageprotokollet. Även respektive vct ska anges. Som alternativ kan kommentarsfältet i protokollet användas för att notera dessa uppgifter.



Figur 2.6. Ekvivalent mättdjup, d, är $0,25 \times H$ när plattbärlagets vct är lägre än pågjutningens. Kurva b är fuktprofil under uttorkning och kurva c fuktprofil efter golvläggning och fuktutjämning.

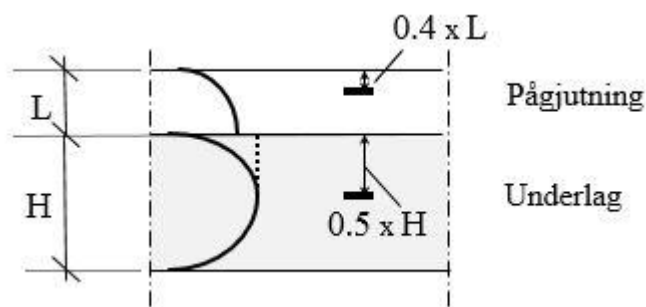
Om plattbärlaget skulle vara helt tätt erhålls samma fuktprofil och mättdjup som vid enkelsidig uttorkning. Se figur 2.7. Notera att höjden, H, i detta fall enbart avser pågjutningen vid bestämning av ekvivalent mättdjup, inte hela bjälklagshöjden. Om plattbärlaget är gjutet med betong som har lågt vct och innehåller mineraliskt tillsatsmaterial och pågjutningen utförs med betong som har betydligt högre vct utan tillsatsmaterial så är ett mättdjup som närmar sig det i figur 2.7 ingen omöjlighet.



Figur 2.7. Ekvivalent mättdjup, d, är $0,4 \times$ pågjutningens höjd om plattbärlaget förutsätts vara helt tätt. H är i detta fall således inte den totala bjälklagshöjden utan avser själva pågjutningen.

Version:	Datum:	Gäller från:	Utfärdad av:	Sign. Revisionsledare RBK	Flik:	Sida:
6:1	2019-01-16	2019-02-01	Ted Rapp		2	6(30)

Om plattbärlaget har en tjocklek som närmar sig pågjutningens, eller är större, eller när en pågjutning utförs på ett befintligt bjälklag är valet av ekvivalent mätdjup mer komplicerat och svårt att generalisera. Faktorer som spelar in är t.ex. vct, fuktprofil, RF och ålder avseende plattbärlag eller befintligt bjälklag i kombination med vct, fuktprofil, RF och ålder för pågjutningen vid den tidpunkt som mätningen ska utföras. Mätningen måste utföras i både underlag och pågjutning. Ett förslag till mätdjup som bör ge ett resultat på säkra sidan visas i figur 2.8.



Figur 2.8. Förslag avseende mätdjup vid en sammansatt betongkonstruktion. Underlaget förutsätts torka dubbelsidigt före pågjutning. Pågjutningen antas torka enkelsidigt.

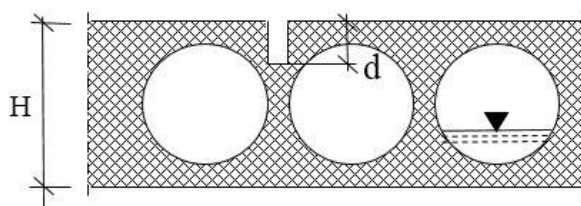
Mätning utförs i två punkter med mätdjupet enligt figur 2.8. Ytskiktets kritiska gränsvärde avseende RF ska understigas i båda mätpunkterna innan det kan appliceras. Att hantera mätdjupet enligt figur 2.8 kan medföra längre uttorkningstid än vad som egentligen skulle behövas. Det kan därför löna sig att låta utföra en beräkning av mätdjupet för det aktuella fallet. Detta ska göras av en person med erforderlig kompetens. Beräkningen kräver indata enligt ovan avseende ingående material och noggrannheten på resultatet blir inte bättre än de indata som används, se avsnitt 2.4.

I mätprotokollet ska det framgå att mätning utförs i en sammansatt konstruktion och både underlagets tjocklek samt pågjutningens tjocklek ska anges. Detta gäller även vct.

Håldäckselement

Ett håldäckselement är ett prefabricerat betongelement som tex används vid byggnation av bjälklag. Elementet är vanligen armerat i underkant med förspänd armering och betecknas då HD/F. Håldäckselement och håldäcksbjälklag beskrivs utförligare under flik 3.

När RF-mätning ska utföras i ett håldäckselement ska mätdjupet $0,2 \times H$ användas där H är elementets höjd. Mätpunkten placeras mitt mellan kanalerna enligt figur 2.9. Om håldäcket är pågjutet med överbetong så ska håldäckets och pågjutningens tjocklek anges i mätrapporten. För bjälklaget i figur 2.13 anges tex 320+100 i rutan för betongtjocklek i montageprotokollet. Även respektive vct ska framgå. Alternativt kan kommentarsfältet i protokollet användas.

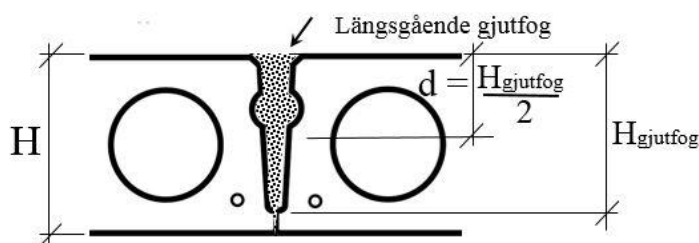


Figur 2.9. Mätdjup, d , i håldäckselement. H är håldäckets höjd.

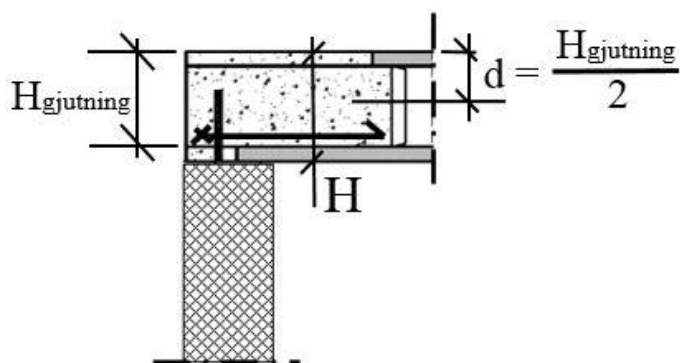
Version:	Datum:	Gäller från:	Utfärdad av:	Sign. Revisionsledare RBK	Flik:	Sida:
6:1	2019-01-16	2019-02-01	Ted Rapp		2	7(30)

Fritt vatten kan förekomma i håldäckselementets kanaler utan att det upptäcks vid RF-mätning i HD/F-element. Det är inte säkert att det vattnet som står i den högra kanalen i figur 2.9 upptäcks genom mätningen på redovisat mätdjup, d , även om mätpunkten skulle flyttas till höger bredvid denna kanal istället. Detta måste kontrolleras på annat sätt vilket tex skulle kunna utföras genom RF-mätning underifrån. Ett alternativ är att kontrollera de dräneringshål som är borrarade från undersidan in i kanalerna ute vid elementets kortsidor. Dräneringshålen är avsedda för att eventuellt vatten ska kunna ta sig ut. Ibland kan de vara tilltäppta av slam eller bruk och måste då rensas ur för att de ska uppfylla sin funktion och kvarstående vatten ska kunna ta sig ut. Nya hål kan borraras på andra platser där det misstänks kunna finnas vatten.

För att elementen ska bilda ett bjälklag så måste de gjutas ihop till en enhet. Efter montage på byggarbetsplatsen utförs en foggjutning utmed elementens långsidor. Vid upplagen utmed elementens kortsidor gjuts de ihop med upplagen, eller varandra, efter att erforderlig armering och infästning har utförts. Vid mätning i dessa punkter ska ett mätdjup på halva gjuthöjden användas vilket illustreras i figur 2.10 och 2.11.



Figur 2.10. Mätdjupet, d , är halva gjutfogens höjd i den långsgående gjutfogen mellan håldäckselementen. H är håldäckets höjd.



Figur 2.11. Mätdjupet, d , är halva gjuthöjden när mätning ska utföras i den platsgjutna betongen vid elementändan. H är håldäckets höjd.

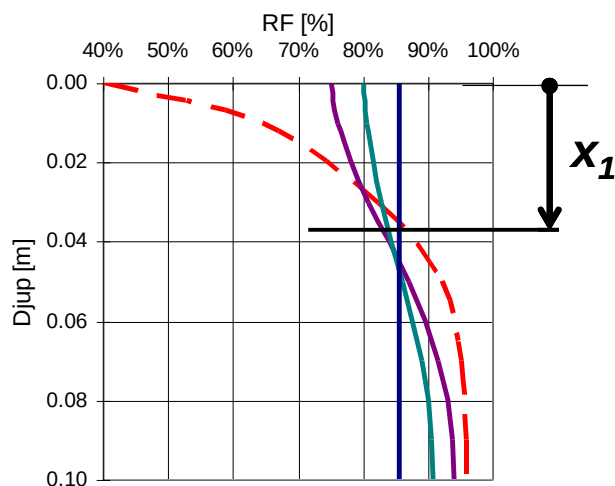
Mätning i homogena prefabricerade betongelement och igengjutna ursparningar, som är utförda genom hela elementets höjd, ska utföras på mätdjupet $0,2 \times H$. Det förutsätter att uttorkningen är dubbelsidig och H avser elementets respektive igjutningens höjd.

För mer information om fuktrisker i håldäcksbjälklag se /20/.

Version:	Datum:	Gäller från:	Utfärdad av:	Sign. Revisionsledare RBK	Flik:	Sida:
6:1	2019-01-16	2019-02-01	Ted Rapp		2	8(30)

2.4 Beräkning av ekvivalent mätdjup

Ekvivalent mätdjup för fuktmätning i betongplattor baseras på beräkningar gjorda av Nilsson (1979) /17/. Dessa gamla beräkningar har aldrig ifrågasatts eller upprepats, förrän under 2003. Senare utförda beräkningar har visat att erforderligt mätdjup ibland kan, och måste, nyanseras och lämpligen väljas annorlunda än det normalt rekommenderade.



Figur 2.12 Principiell fuktfördelning i en 100 mm tjock betongplatta och ekvivalent mätdjup, X_1 . Nilsson 1979/17/.

Den streckade kurvan i figur 2.12 visar RF-fördelningen vid mättillfället för en platta som torkar uppåt dvs enkelsidig uttorkning. Mätning utförs på djupet x_1 och därefter appliceras ett helt tätt ytskikt på betongytan. Kvarvarande fukt kan nu inte längre torka uppåt utan kommer att omfördelas enligt tidigare resonemang. RF stiger under ytskiktet. Den maximala fuktbelastningen under ytskiktet motsvarar den RF som uppmättes på djupet x_1 . Om mätningen utfördes på detta djup erhålls alltså en bedömning av vilken maximal fuktbelastning ytskiktet kommer att utsättas för.

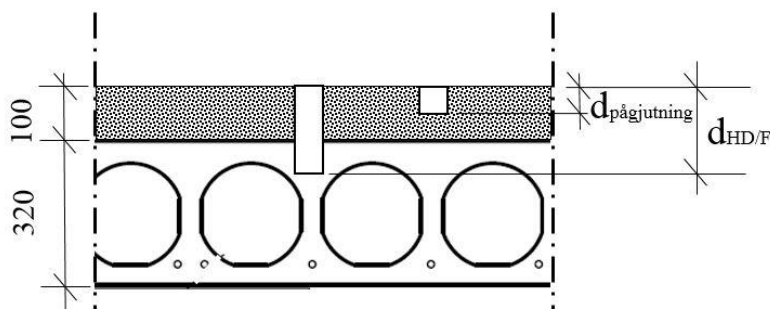
För enkelsidig uttorkning motsvarade djupet x_1 i beräkningen 30-42 % av plattjockleken beroende på bland annat hur långt uttorkningen skett, Nilsson (1979) /17/. Baserat på detta och tidigare rekommendationer i Hus AMA har RBK valt att föreskriva ett ekvivalent mätdjup på 40 % av plattjockleken vid enkelsidig uttorkning och 20 % vid dubbelsidig. Den beräkning som gjordes 1979 gjordes bara för en enda betongkvalitet, K25, och tog inte alls hänsyn till hysteres. Utvärderingen inriktades också på att acceptabel fuktnivå var 90 % RF, inte 85 % RF som ofta gäller som gränsvärde idag.

Senare års beräkningar har visat att erforderligt mätdjup kan nyanseras genom en mer fullständig och korrekt analys. Erforderligt mätdjup kan bli både betydligt större, Kumlin (2003) /18/, och betydligt mindre beroende på det aktuella materialets jämviktsfuktkurva och vilken fuktnivå som gäller vid mätningen, Nilsson (2003) /19/. Hänsyn måste då tas till hysteres, annars blir mätdjupet på osäkra sidan.

Det finns idag beräkningsverktyg med vilka det går att räkna mer detaljerat på fuktomfördelning och ekvivalent mätdjup. Det är viktigt att ha den kunskap som behövs för att utföra dessa beräkningar. Det behövs även relevanta, och aktuella fuktdata avseende de byggmaterial som används i byggprojekten, som indata till beräkningarna.

Version:	Datum:	Gäller från:	Utfärdad av:	Sign. Revisionsledare RBK	Flik:	Sida:
6:1	2019-01-16	2019-02-01	Ted Rapp		2	9(30)

I projekt med snäva tidsramar, och ekonomi att anlita en fuktkonsult, kan det vara av intresse att genomföra en noggrannare utredning av ekvivalent mätdjup för att i slutänden tjäna tid och pengar. Om ett grundare mätdjup kan användas, än de generella, så kan uttorkningstiden kortas. En förutsättning är naturligtvis att kritisk RF för ytskiktet inte riskerar att överskridas. Som ett exempel visas i figur 2.13 ett mellanbjälklag uppbyggt av håldäckselement pågjutna med överbetong. HD/F-elementen har tjockleken 320 mm och pågjutningen är 100 mm.



Figur 2.13 Två mätpunkter placerade i ett mellanbjälklag bestående av pågjutna håldäckselement, HD/F-element.

Ett förslag till hur fuktkontrollen skulle kunna utföras är att använda mätdjupet 40 mm i pågjutningen, $d_{\text{pågjutning}}$, och 64 mm i HD/F-elementet, dvs 164 mm från överyta pågjutning, $d_{\text{HD/F}}$. Detta baserat på antagandet att pågjutningen torkar enkelsidigt uppåt utan att fukt tillkommer från, eller avgår till, HD/F-elementet. Mätdjupet i pågjutningen blir i så fall 40% av pågjutningens höjd. Mätning i HD/F-elementet utförs mitt mellan hålskanalerna på 20% av håldäckets höjd. Om kritisk RF är 85% för ett ytskikt som ska placeras ovanpå pågjutningen så måste detta RF-värde, inklusive mätosäkerhet, erhållas i båda mätpunkterna innan ytskiktet appliceras.

Det är troligt att detta sätt att bestämma mätdjupet är på säkra sidan vilket medför att betongen torkas till en lägre RF än vad som egentligen behövs. En del av fukten i pågjutningen kommer troligen avgå till HD/F-elementet istället för att diffusionstorka uppåt. Detta förutsatt att HD/F-elementet är torrare än pågjutningen när den utförs. Efter att ytskiktet har applicerats och fukten omfördelats blir RF under ytskiktet, i så fall, lägre än vad som antagits.

Förutsatt att tillräcklig kunskap, lämpligt beräkningsverktyg och aktuella indata finns tillgängligt kan en beräkning av fuktomfördelningen efter applicering av ytskikt utföras. Problemet kan angripas på två sätt. Antingen utförs beräkningen för att bestämma vilken RF som kan tillåtas i de två mätpunkterna ovan utan att kritisk RF överstigs efter omfördelning. Det andra är att räkna på alternativa mätdjup dvs på vilka två djup mätning måste utföras med resultatet 85% utan att kritisk RF kommer att överskridas efter fuktomfördelning.

Resultaten ska sammanfattas i en tydlig instruktion till kontrollanten som ska utföra mätningen, innan den påbörjas. Det ska framgå var mätning ska utföras, på vilket djup, antal mätpunkter som behövs och vilket mätvärde som ska uppnås för att kritisk RF inte ska överskridas. Den som mäter kan därefter tillhandahålla uppmätt RF som indata till en ny beräkning med syfte att verifiera att kritisk RF inte kommer att överskridas efter fuktomfördelning. Om så inte är fallet måste uttorkningen fortgå.

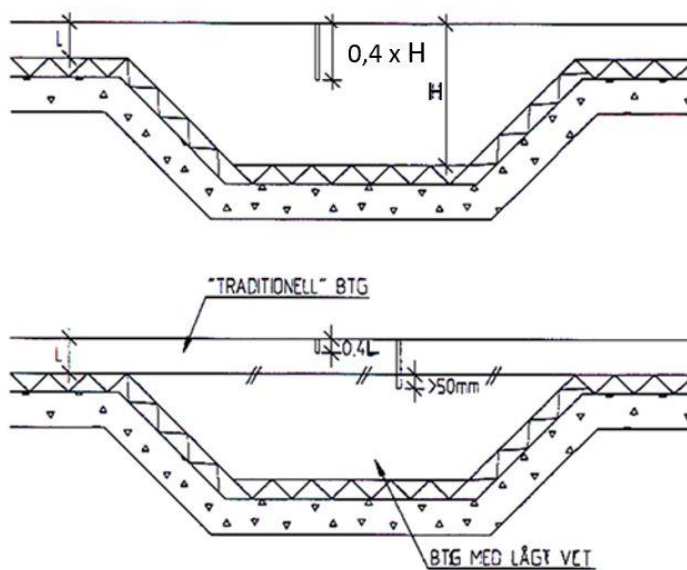
En rapport med ingångsdata, antal mätpunkter och mätdjup samt verifierande beräkningar baserade på aktuella mätdata ska bifogas som en bilaga till mätprotokollet.

Version:	Datum:	Gäller från:	Utfärdad av:	Sign. Revisionsledare RBK	Flik:	Sida:
6:1	2019-01-16	2019-02-01	Ted Rapp		2	10(30)

2.5 Voter

Voter är förstyrkningar i bottenplattor som används statiskt för att ta hand om laster från t.ex. väggar, pelare eller pålar. I en bottenplatta förekommer det ofta voter utmed ytterväggar och under bärande innerväggar.

Voter i en bottenplatta är ett stort problem i fukthänseende eftersom de innehåller stora mängder fukt som tar lång tid att torka ut. När voten gjuts mot en cellplastskena ska fukten mätas på $0,4 \times H$, enkelsidig uttorkning. H är i detta fall votens höjd inklusive bottenplatta, se övre skissen i figur 2.14. Eftersom tiden det tar att torka ut voten är mycket längre än för den tunnare plattan så är en alternativ lösning önskvärd om betongytan ska beläggas med ett fuktkänsligt ytskikt.



Figur 2.14 Mätdjup vid RF-mätning i voter.

Ett alternativt utförande visas i den nedre skissen i figur 2.14. Vot och platta delas med en horisontell gjutfog. Först gjuts själva voten med en betong som har en sammansättning som medför att voten självtorkar till önskad RF-nivå. Detta brukar innebära att ett mycket lågt vct krävs. Begreppet självtorkande betong förklaras under flik 3. Efter att betongen i voten hårdnat, så att en gjutfog erhålls, kan plattan gutas. En betong väljs som har en sammansättning anpassad till erforderlig torktid för den tunnare konstruktionen, i figur 2.14 benämnd "traditionell betong". Voten blir i detta fall så tät att plattan kan anses gjuten mot ett tätt material, enkelsidig uttorkning, utan något fuktutbyte med voten. Först när plattans underkant når en lägre RF än i voten börjar voten avge fukt till plattan. Fuktmätning över voten utförs i detta fall på djupet $0,4 \times L$ där L är plattans tjocklek dvs på samma mätdjup som för den del av plattan som inte ligger över voten. En kontroll av att voten självtorkat till önskad RF bör utföras. Ett mätdjup på minst fem centimeter ner under gjutfogen är lämpligt.

En självtorkande betong torkar mycket långsamt efter att cementreaktionen klingat av. En fortsatt RF-sänkning ska då ske genom diffusion vilket tar lång tid. Om voten ska utföras på ovanstående sätt måste först betongleverantören konsulteras för att säkerställa att de kan leverera en betongsammansättning som garanterat självtorkar till aktuell RF-nivå. Även konstruktören måste informeras. En gjutfog mellan voten och plattan kan medföra att det behövs extra armering, i statiskt hänseende, jämfört med om vot och platta gjuts samtidigt med samma betongkvalitet.

Version:	Datum:	Gäller från:	Utfärdad av:	Sign. Revisionsledare RBK	Flik:	Sida:
6:1	2019-01-16	2019-02-01	Ted Rapp		2	11(30)

2.6 Prognos avseende uttorkningstid

För att kunna planera ett projekt tidsmässigt bör en prognos av torktiden utföras. Uttorkningstiden beror bland annat på val av konstruktionsutförande, ytskikt, betong, gjutförhållande, torkinsats, och tidpunkt för applicering av ytskikt. Utförs denna prognos i tidigt skede finns möjlighet att korrigera tidsplanen, byta konstruktionslösning eller ytskikt för att möjliggöra att betongen ska hinna torka i tid. Utan en prognos finns risk att ett olämpligt val av konstruktionslösning eller produktionsmetod senare visar sig medföra att torktiden är otillräcklig. Uttorkning av betong är ofta den kritiska aktiviteten i ett byggprojekt dvs den aktivitet som styr den totala byggtiden.

För den person som utför en fuktmätning är en prognos ett hjälpmedel vid en rimlighetsbedömning av mätresultat. Det ger en möjlighet att upptäcka eventuella grova fel som kan ha uppkommit vid mätning eller protokollföring. En uppskattning av torktiden för aktuellt projekt ska utföras med ett för ändamålet lämpligt beräkningshjälpmedel.

Största påverkan på torktiden har betongens vct, se flik 3. Andra faktorer som påverkar är:

- Cementtyp, specifik yta och sammansättning
- Tillsatsmaterial
- Ballastens sammansättning
- Temperaturen i betongen vid gjutningen och de efterföljande dagarna
- Fukthårdning
- Temperatur och RF i luften från gjutning till tätt hus
- Hur fort efter gjutning som uttorkningen påbörjas
- Temperatur och RF i luften under uttorkningen dvs uttorkningsklimatet
- Om betongen återuppfuktas under uttorkningen
- Konstruktionens tjocklek
- Om uttorkningen är enkel- eller dubbelsidig

Ett prognosverktyg för uttorkning av en betongkonstruktion är Produktionsplanering Betong (PPB). PPB kan laddas ner kostnadsfritt via Svenska Byggbranschens Utvecklingsfonds (SBUF) webbplats www.sbuf.se/ppb.

Programmet PPB, vars fuktmodul lanserades 2018, kan simulera hur betong med Bascement, ett cement innehållandes ca 14,4% flygaska, beter sig fuktmässigt för ett vct mellan 0.32 och 0.55. Det går att beräkna uttorkningstider för bjälklag på konventionell eller kvarsittande form och för platta på mark med eller utan isolering. Programmet tar hänsyn till:

- Självtuttorkning
- Diffusionsuttorkning
- Omfördelning och insugning från mark och regn
- Hysteres i sorption och transport vid växling mellan uttorkning och uppfuktning (så kallad skanning mellan desorption och absorption)
- Temperatureffekter i hydratation, fukttransport, sorption och materialegenskaper.

Ett äldre prognosverktyg är TorkaS som ursprungligen utvecklades för prognostisering av uttorkningstid för betongkonstruktioner gjutna med Slite Standardcement, vilket inte finns längre. I början av 2000-talet ersattes Slite Standardcement av Byggcement, vilket då istället infördes i programmet. Flera av de väsentliga fuktegenskaperna, se punkter ovan, beaktas endast delvis eller i vissa fall inte alls i TorkaS. Detta minskar skärpan i det prognosticerade resultatets noggrannhet. Beräknade RF-värden med TorkaS ska korrigeras, manuellt, om vct är lägre än 0,55. Ingen vidareutveckling sker idag av detta program.

En prognos avseende uttorkningstid, vilken har utförts för att uppskatta uttorkningstiden på en byggarbetsplats, ska alltid följas upp och verifieras med mätningar. Detta för att säkerställa att betongen innefattar nu gällande krav innan läggning av ytskikt påbörjas.

Version:	Datum:	Gäller från:	Utfärdad av:	Sign. Revisionsledare RBK	Flik:	Sida:
6:1	2019-01-16	2019-02-01	Ted Rapp		2	12(30)

2.7 Borrhålsmätning

Vid en borrhålsmätning borras ett hål i betongen som därefter fodras med ett mätrör för att mätning ska ske på ett väldefinierat mätdjup. En tid efter utförd borrhning monteras en RF-givare i mätthålet, se figur 2.1. HumiGuard-givare monteras dock i samband med borrhningen. Givaren ska sitta monterad i mätthålet till det att fuktjämvikt, och temperaturjämvikt, råder mellan botten på mätthålet och givaren. Först då får avläsning utföras. Efter att mätningen slutförts är borrhålet förbrukat. Ett nytt mätthål måste borras inför nästa mätning.

Borrhning av mätthål

Borrhningen ska utföras med ett borrhstål som har en diameter anpassad till vald mätmetod. Hålet borras till ekvivalent mätdjup, om inte annat anges, vilket bestäms enligt avsnitt 2.3. Kontroll av djupet utförs med ett skjutmått, utmed hålets sidor, enligt avsnitt 2.2. Toleransen på djupet är 0-2 mm, för djupt, vilket innebär att hålet inte får vara grundare än det mätdjup som eftersträvas men upp till två millimeter djupare.

Om hålet skulle bli för djupt kan det inte användas och således måste ett nytt borras. För att minska risken för mätfel får ett nytt mätthål inte placeras för nära det tidigare.

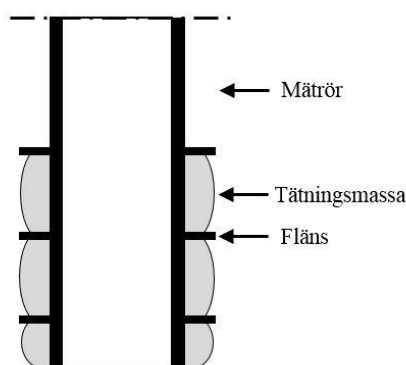
Centrumavståndet mellan två borrhål ska minst vara minst tre gånger borrhålets djup.

Det gamla borrhålet får i detta fall inte lämnas öppet utan måste tätas med ett mätrör, förslutet med en gummiplugg, och tätningsmassa ska vara applicerad mellan mätröret och betongytan.

Efter borrhningen måste hålet dammsugas, eller blåsas ur, ordentligt så att allt borrhkax avlägsnas. Finns det borrhkax kvar i mätthålet kan ett felaktigt RF-värde erhållas. En borste ska användas för att rensa mätthålet varvat med dammsugning vilket utförs ett antal gånger. Botten på hålet ska kontrolleras så att det inte finns synlig sten, armering eller annat som blockerar fuktavgången från betongytan i botten på hålet. Om tillräcklig fuktavgång inte kan säkerställas måste ett nytt mätthål borras.

Borrhålet fodras därefter med ett plaströr med syfte att säkerställa att fuktavgången från betongen till mätpunkten sker från botten av mätthålet och inte från hålets väggar. För att detta ska vara möjligt behövs en tätning mellan rör och betong i borrhålets botten. Tätningen utförs på olika sätt beroende på vilken mätmetod som används. Till givare av fabrikat HumiGuard används ett mätrör med en mjuk tätningsring i änden som tätar mot betongen. Se flik 12, figur 12.1.

För givare av fabrikatet Vaisala och Testo används ett annat mätrör med tre plastflänsar i kombination med tätningsmassa, se figur 2.15.



Figur 2.15. Nedre delen av ett mätrör. Tätningsmassa har applicerats mellan flänsarna och under den nedersta flänsen.

Version:	Datum:	Gäller från:	Utfärdad av:	Sign. Revisionsledare RBK	Flik:	Sida:
6:1	2019-01-16	2019-02-01	Ted Rapp		2	13(30)

Tätningssmassan appliceras runt röret, mellan flänsarna och under den nedersta flänsen, och bearbetas med fingrarna så att den inte sticker ut utanför flänsarna. Lämpligen används massa i den mängd att bara yttersta kanten på flänsarna syns. Tätningssmassa får inte tränga ut på botten av borrhålet efter att röret monterats. Den tätningssmassa som används ska vara en som föreskrivs för respektive mätmetod. Massan ska vara testad så att den inte avger eller tar upp fukt eller påverkar givarens sensor på något sätt. I respektive rutin framgår vilket fabrikat som ska användas.

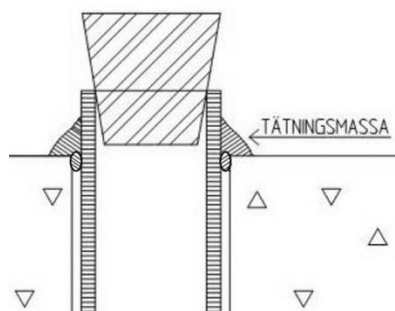
Därefter monteras röret i borrhålet genom att trycka, vrida eller försiktigt slå ner röret till det når botten av borrhålet. Vid montage av mätröret i figur 2.15. kan tex ett montagedon användas för att med handkraft trycka ner röret. Det är ofta mycket trögt i början men på slutet går det vanligen lättare. Då är det lämpligt att minska kraften på trycket, så att röret går ner mycket långsamt den sista biten, för att montaget ska bli tätt. Om plötsligt mothållet från röret släpper och det sjunker snabbt ner till botten brukar tätheten inte vara uppfylld. När röret väl är på plats kontrolleras att det inte trängt ut någon tätningssmassa i botten på hålet. Om det är massa i botten, och den inte går att avlägsna, så måste montaget göras om eller ett nytt mätthål borrar. Eventuell tätningssmassa som följt med upp till ytan, utmed rör och betong, under montaget ska inte bearbetas eller avlägsnas innan godkänd täthetskontroll är utförd.

Kontroll av tätningen utförs med en täthetsprovare i form av en gummiblåsa med pip. Blåsan pressas ihop, pipen monteras i överkant på mätröret och därefter släpps gummiblåsan. Om mätröret är tätt så kommer gummiblåsan att förbli ihoppressad och om det är otätt så kommer blåsan att återgå till sin ursprungliga form. Täthetskontrollen är godkänd förutsatt att ingen återgång av gummiblåsan kan noteras under minst 15 sekunder från att den släpps.

När kontrollen är godkänd ska mätröret dammsugs eller blåsas ur igen för att avlägsna eventuellt skräp som kan ha följt med ner i borrhålet vid montage av röret. Mätröret försluts sedan med en för metoden avsedd gummiplugg.

Därefter ska en tätning mellan mätröret och betongytan utföras med tätningssmassa. Se figur 2.16. Lägg en liten sträng med massa runt röret. Massan ska noggrant och metodiskt pressas fast mellan mätrör och betong, tex med en liten skruvmejsel, runt om mätröret. Slutligen bearbetas massan med fingrarna så att den fyller ut ordentligt runt om mätröret. Eventuellt behövs lite mer massa för att slutresultatet ska motsvara det i figur 2.16.

Innan borrhålet lämnas ska ett skydd, tex en plastkon, monteras över mätpunkten. Det är en fördel om skyddet sluter tätt mot betongytan för att minska risken för att mätningen påverkas negativt av temperatur och RF i omgivningen.



Figur 2.16. Tätning mellan mätrör och betongyta.

Version:	Datum:	Gäller från:	Utfärdad av:	Sign. Revisionsledare RBK	Flik:	Sida:
6:1	2019-01-16	2019-02-01	Ted Rapp		2	14(30)

Det är av största vikt att tätningarna mellan mätrör och betong utförs med omsorg. Ett litet läckage kan medföra att RF i mätthålet sjunker med tiden om fukt avgår från mätthålet till omgivningen, alternativt stiger om fukt tillförs mätthålet. Tätning ska finnas både upptill och nertill mellan betongen och plaströret för att förhindra läckage och fuktvandring mellan betong och luft på önskat sätt.

Ett nytt mätthål måste alltid borraras inför varje mätning för att minimera risken för påverkan av läckage. RF i mätthålet kan med tiden sjunka på grund av läckage om det används vid flera tillfällen eller får stå oanvänt under en längre tid. Detta kan felaktigt tolkas som att betongen torkar när det i själva verket beror på ett läckande mätthål. En rutin för borrning av mätthål återfinns under flik 6.

2.8 Givare för borrhålsmätning

Det finns ett antal olika givare som kan användas vid borrhålsmätning enligt denna manual. En rutinbeskrivning finns upprättad för varje givare, under respektive flik, vilken ska följas steg för steg när en mätning utförs. Borrhålsmätning i kombination med ett specifikt givarfabrikat kallas i denna manual för en egen mätmetod. Nedan beskrivs de olika givarna kortfattat.

HumiGuard

HumiGuard skiljer sig från övriga givare genom att den är en engångsgivare med tidsbegränsad användningstid. Den installeras bara en gång i en mätpunkt och är därefter förbrukad. Givaren levereras i en förpackning (en eller flera plastburkar), som innehåller det antal givare som beställts. Givarna i förpackningen bildar en lot, med ett unikt lot-nummer, vilket är centralt för denna mätmetod. Används före-datum anges på givarförpackningen.

Montering utförs i ett mätrör, anpassat speciellt för denna mätmetod, med hjälp av ett monteringsdon. Minsta mätdjup är 35 mm och största är som standard ca 140 mm respektive 340 mm beroende av vilken längd på mätrör och monteringsdon som används. Det längre mätröret gör metoden lämplig för mätning i voter där mätdjupet kan vara stort.

Givaren monteras i samband med att borrningen av mätthålet utförs. När givare och betong kommit i fukt- och temperaturjämvikt så kan avläsning utföras. Avläsning får tidigast utföras sex dygn efter givarmontage och bör inte avläsas senare än tio dygn efter givarmontage. Ett avläsningsinstrument ansluts till trådar som sticker upp ur mätröret vartefter avläsningen utförs direkt. Avlästa värden har enheten mikrosiemens, μS , och en webbplats används för att omvandla avlästa värden till RF och temperatur samt generera ett mätprotokoll. Givarna behöver inte sändas iväg på extern kalibrering vilket gäller för övriga givarfabrikat. I stället för gängse kalibrering (kalibrering av enskild givare) ska för varje lot två i fabrik utvalda givare (som är representativa för loten ifråga) monteras i ett referensblock. I samband med att avläsning utförs av givaren i ett borrhål ska även givarna i referensblocket läsas av. Avlästa värden från referensblocket behövs på webbplatsen för att RF avseende betongen ska kunna beräknas. Rutinbeskrivningen för HumiGuard med webbplats finns under flik 12.

Version:	Datum:	Gäller från:	Utfärdad av:	Sign. Revisionsledare RBK	Flik:	Sida:
6:1	2019-01-16	2019-02-01	Ted Rapp		2	15(30)

Vaisala HMP40S

Vaisala HMP40S är en givare som består av en probe med kabel som ansluts till ett mätinstrument vid avläsning. Kabeln går att avlägsna från proben tex för byte av en skadad kabel. Givaren tillsammans med avläsningsinstrumentet måste sändas på extern kalibrering. Därefter måste fortlöpande egenkontroller utföras av användaren.

Givaren monteras tidigast tre dygn och senast fem dygn efter borring av mät hålet. Det är viktigt att givaren har samma temperatur som betongen, eller högre, när den monteras för att undvika kondens på givaren. Givaren ska då även ha lägre RF än betongen. Detta kontrolleras omedelbart före montage genom att göra en avläsning med avläsningsinstrumentet. Betongens temperatur kan t.ex. kontrolleras med en IR-temperaturmätare.

Avläsning av betongens RF och temperatur utförs när givare och betong kommit i fukt- och temperaturjämvikt. Avläsning får tidigast utföras tre dygn efter givarmontage och bör inte utföras senare än tio dygn efter att mät hålet borras. Det avläsningsinstrument som givaren kalibrerats ihop med ska användas. Avlästa värden vid mätning måste korrigeras med hjälp av givarens unika kalibreringskurva för att korrekt RF ska erhållas.

Minsta mätdjup är 35 mm. Det finns två olika längder avseende mätrör vilket medför ett maximalt mätdjup på ca 90 mm respektive 170 mm.

En skyddsburk monteras ovanpå mätröret mot betongytan där givarkabeln förvaras fram till avläsning. Efter slutförd mätning avlägsnas givaren från mät punkten.

Rutinbeskrivningen för Vaisala HMP40S finns under flik 11.

Testo 605-H1

Testo 605-H1 består av en kombination av probe och avläsningsinstrument. Överst på givaren sitter en display, vridbart monterad. Avläsning av RF och temperatur utförs direkt på displayen efter att givaren har aktiverats med strömknappen på displayen.

Givaren måste sändas på extern kalibrering. Därefter måste fortlöpande egenkontroller utföras av användaren.

Mätröret som används måste kapas till längden 100 mm innan det monteras. Anledningen till detta är att givaren efter montage ska nå ner till botten på mät hålet.

Givaren monteras tidigast tre dygn och senast fem dygn efter borring av mät hålet.

Det är viktigt att givaren har samma temperatur som betongen, eller högre, när den monteras för att undvika kondens på givaren. Givaren ska då även ha lägre RF än betongen. Detta kontrolleras omedelbart före montage genom att göra en avläsning på displayen. Betongens temperatur kan t.ex. kontrolleras med en IR-temperaturmätare.

Avläsning av betongens RF och temperatur utförs när givare och betong kommit i fukt- och temperaturjämvikt. Avläsning får tidigast utföras tre dygn efter givarmontage och bör inte utföras senare än tio dygn efter att mät hålet borras. Avlästa värden vid mätning måste korrigeras med hjälp av givarens unika kalibreringskurva för att korrekt RF ska erhållas.

Minsta mätdjup är 35 mm och maximalt mätdjup är 90 mm.

En skyddskon ska monteras över givaren under mätning. Efter slutförd mätning avlägsnas givaren från mät punkten.

Givaren används för mätmetoden Kapacitiv givare Testo. Rutinbeskrivningen finns under flik 10.

Version:	Datum:	Gäller från:	Utfärdad av:	Sign. Revisionsledare RBK	Flik:	Sida:
6:1	2019-01-16	2019-02-01	Ted Rapp		2	16(30)

2.9 Uttaget prov

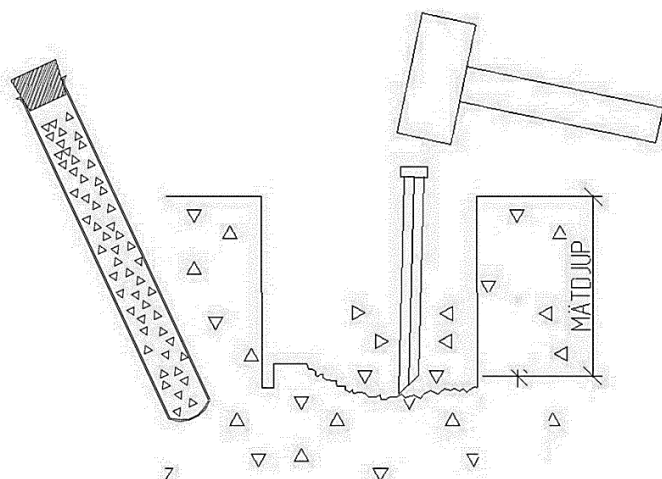
Mätmetoden uttaget prov innebär att ett betongprov bilas loss ur betongen, placeras i en provbehållare vartefter RF-mätningen utförs på en annan plats än på byggarbetsplatsen. Se figur 2.17.

Provet tas på ett ekvivalent mätdjup, motsvarande borrhålsmätning. På detta djup bilas betongbitar ut och placeras i ett provrör. Provröret försluts omedelbart för att transporteras till ett laboratorium för RF-bestämning. Det är viktigt att kondens inte uppstår i provröret. Om detta sker under provtagning eller transport så ska provet kasseras. Med laboratorium avses temperaturstabilt utrymme dvs ett utrymme där temperaturens variation i tiden kan minimeras. Variationen får inte överstiga några tiondels grader Celsius och kräver således specialåtgärder i form av klimatstyrning eller temperaturstabla skåp. Temperaturvariationen under RF-bestämningen kontrolleras genom att logga temperaturen. Det har visat sig att denna mätmetod inte lämpar sig för RF-mätning i den betong som används idag. Vid själva provtagningen finns risk att fukt avgår vilket kan ge betydande mätfel. Detta medför ett resultat som underskattar betongens RF. /28/

Faktorer som påverkar mätresultatet är:

- Vilken sammansättning betongen har, vct, tillsatsmaterial mm
- Tiden som provbitarna hanteras i omgivande luft
- Storleken hos de uttagna provbitarna
- Värme som tillförs provet på grund av borrhningen
- Andelen ballast hos betongen samt ballastens storlek

Av denna anledning används inte mätmetoden uttaget prov inom RBK-systemet.



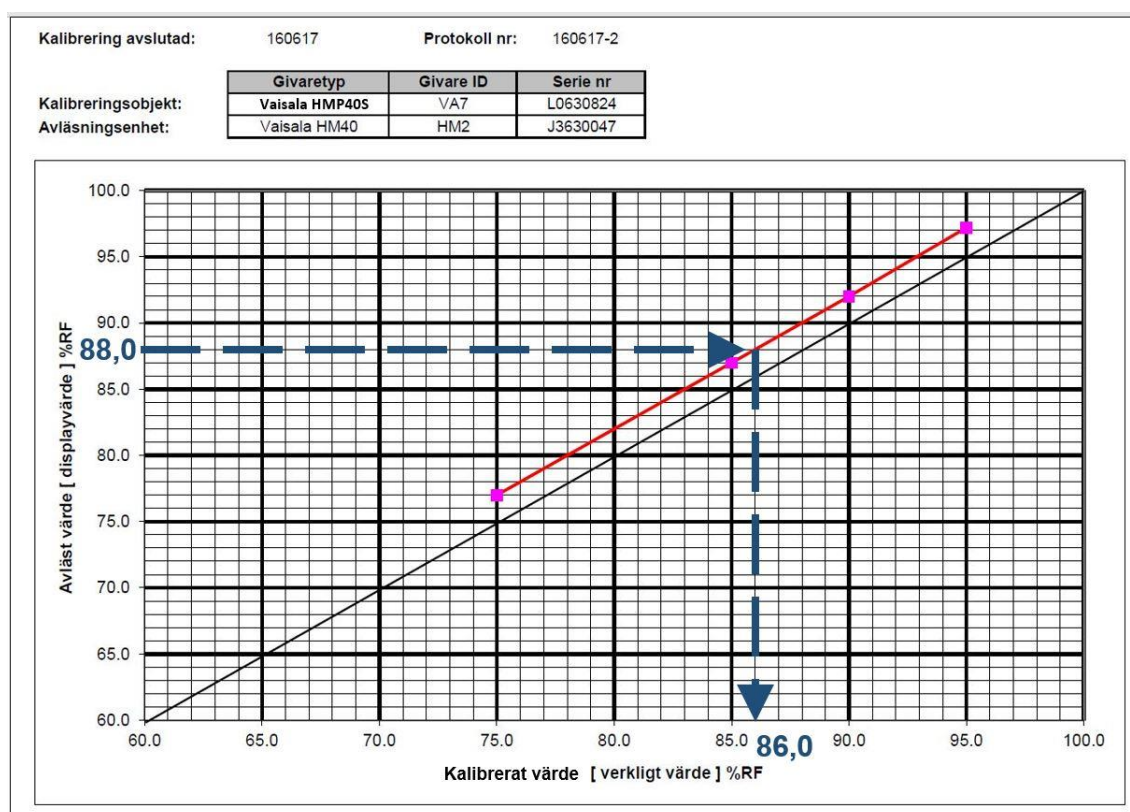
Figur 2.17 Uttaget prov för RF-bestämning i lab.

Version:	Datum:	Gäller från:	Utfärdad av:	Sign. Revisionsledare RBK	Flik:	Sida:
6:1	2019-01-16	2019-02-01	Ted Rapp		2	17(30)

2.10 Kalibrering av givare – kalibreringskurva

Avsikten med en kalibrering är att kontrollera och dokumentera avläst värde för en givare, med tillhörande avläsningsinstrument, vid mätning mot känd RF. Detta för att avläst RF vid mätning i betong ska kunna korrigeras till ”verkligt” värde, kalibrerat värde. Med kalibrering avses i denna manual, kalibrering av RF-givare med tillhörande avläsningsinstrument vid en mätplats där RF är spårbar till ett erkänt institut. Spårbarheten kan t.ex. vara till NIST i USA eller NPL i England. Kalibrering ska utföras minst en gång per år från föregående kalibrering eller när givarens drift överstiger tillåtet gränsvärde. Kalibreringen resulterar i en kalibreringsrapport med kalibreringskurva och tillhörande dokumentation avseende kalibreringens mätosäkerhet, spårbarhet och rådande temperatur vid kalibreringen. Kalibreringskurvan gäller enbart den givare i kombination med avläsningsinstrumentet som användes vid kalibreringen. Datum när senaste kalibreringen utförts ska framgå i mätprotokollet för använd givare.

Vid kalibreringen placeras givaren i en känd relativ fuktighet under konstant temperatur. Givarens utslag läses av och markeras som en punkt i ett diagram se figur 2.18. Diagrammet har det avlästa värdet på ena axeln och normalens RF, verkligt RF, på den andra axeln. Förfarandet upprepas med ett antal kända RF-värden. Mellan de punkter som erhålls dras rätta linjer vilket resulterar i givarens kalibreringskurva. Varje givare med tillhörande avläsningsinstrument har sin egen unika kalibreringskurva.



Figur 2.18 Exempel på en kalibreringskurva upprättad från 75% till 95% RF. Enligt de inritade pilarna i figuren ger en avläst RF på 88,0% en kalibrerad RF, verklig RF, på 86,0%.

Vid RF-mätning i betong är det oftast tillräckligt om givaren är kalibrerad i intervallet 75 – 95 % RF. Kalibrering för användning inom RBK-systemet utförs vid 75, 85, 90 och 95 % RF. Mellan dessa punkter dras rätta linjer och kalibreringskurvan erhålls, figur 2.18.

Om mätning ska utföras vid lägre eller högre RF måste kalibreringskurvan kompletteras med ytterligare RF-nivåer. Kalibreringskurvan gäller således endast mellan de RF-nivåer för vilken den är framtagen och kalibrerad RF får inte extrapoleras, d.v.s. uppskatta ett värde utanför kurvan.

Kalibreringskurvan används vid mätning som illustreras i figur 2.18 för att bestämma kalibrerad RF. Om avläst värde vid en mätning är 88,0% så erhålls en kalibrerad RF på 86,0%. Detta genom att gå in med avläst värde från avläsningsinstrumentet på den vertikala axeln "Avläst värde". Dra en linje horisontellt åt höger i diagrammet tills den når fram till givarens kalibreringskurva. Därifrån dras en linje rakt ner till den horisontella axeln "Kalibrerat värde" där 86,0% kan avläsas.

Det är svårt att kalibrera en givare vid en RF som överstiger 95%. Vid upprepade mätningar erhålls ofta varierande resultat trots ideala förhållanden. Detta medför i sin tur att resultat från en mätning vid en RF som överstiger 95% har större osäkerhet än mätningar vid lägre RF.

Temperaturen vid vilken givaren kalibreras bör överensstämma med den temperatur som givaren kommer att användas vid. Vid mätningar i temperaturintervallet 15 - 25°C ska kalibrering utföras vid 20°C, om kalibrering inte utförs vid flera temperaturnivåer. Givarna ska förvaras några timmar i det utrymme där kalibreringen ska utföras för att komma i temperatur- och fuktjämvikt med omgivningen innan kalibreringen påbörjas.

Kalibreringen ska utföras i samma ordning som mätningen kommer att ske, dvs från lägsta RF till högsta. Givaren ska således vara torrare än betongen vid givarmontage. I annat fall kan hysteres uppstå. Hysteres är ett fel orsakat av att jämviktsfuktkurvan för uppfuktning och uttorkning inte överensstämmer se figur 2.26.

Givare och avläsningsinstrument hör ihop. Elektroniken i avläsningsinstrument kan ge upphov till avvikelser mellan olika instrument varvid kalibrering ska ske av givare och avläsningsinstrument som en enhet. Den kalibreringskurva som erhålls gäller enbart för samma kombination av givare och avläsningsinstrument som använts vid kalibreringen. Kalibreringskurvan i figur 2.18 gäller således enbart för Vaisalagivaren märkt VA7 i kombination med avläsningsinstrument HM2.

2.11 Drift och egenkontroll av RF-givare

RF-givare åldras och påverkas av den miljö som de utsätts för. Detta medför att avläst värde ändras med tiden för samma RF-nivå. Detta brukar benämnas drift. Driften varierar för olika givarfabrikat, givarindivider, ålder och användningssätt. Driften kan med tiden medföra att vissa givare visar en RF som avviker med flera procentenheter från verklig RF. Trots detta kan givaren vara fullt funktionsduglig. Egenkontroll i detta avsnitt gäller inte HumiGuard.

Syftet med att utföra egenkontroll av RF-givare är att kontrollera:

- att givarens drift är inom angivna gränser
- att inget hänt med givaren under transport till och från den plats där kalibreringen utförts
- att inget gått fel under kalibreringen, eller egenkontrollen
- att kalibreringskurvan gäller för givaren eller om givaren behöver kalibreras om

Vid kalibrering av en givare erhålls ett dokument, en kalibreringskurva, som visar sambandet mellan avläst RF för givaren och verklig RF vid ett antal RF-nivåer.

Kalibreringskurvan används vid mätning för att korrigera avläst värde till kalibrerat värde. Användandet av kalibreringskurvan förutsätter att givaren är stabil dvs att den inte driver med tiden. Detta antagande är emellertid orimligt eftersom alla givare driver i någon omfattning.

Version:	Datum:	Gäller från:	Utfärdad av:	Sign. Revisionsledare RBK	Flik:	Sida:
6:1	2019-01-16	2019-02-01	Ted Rapp		2	19(30)

Problematiken hanteras genom att tillåta ett visst mått av drift, som då ökar mätosäkerheten. Med ökande drift stiger naturligtvis mätosäkerheten så det är en fördel om driften kan minimeras. När driften överstiger tillåtet värde är kalibreringskurvan inaktuell och en ny kalibrering måste utföras.

Givarens drift måste ligga inom intervallet $\pm 1,5$ % RF för att få användas vid borrhålsmätning. Egenkontrollen ska i första hand utföras vid RF-nivån 85 %. Denna RF-nivå har valts eftersom 85% RF ofta är gällande kritiskt gränsvärde för ytskikt på betong. Kontrollen ska utföras enligt "Rutin för egenkontroll av RF-givare", flik 5, och dokumenteras i Blankett F2, Egenkontroll av RF-givare, som finns under flik 28. Kontrollen ska utföras i temperaturintervallet 15,0 – 25,0°C och med fördel så nära 20,0°C som möjligt. Egenkontroll vid samma temperatur som kalibreringen medför att felkällorna minimeras.

Egenkontrollen utförs genom att givaren placeras över en mättad saltlösning. Alternativt kan en fuktgenerator eller annan fuktalstrande utrustning användas.

När jämvikt inträder utförs en avläsning av RF och temperatur. Avvikelsen dvs skillnaden mellan avläst RF för givaren och saltlösningens RF beräknas och jämförs med motsvarande avvikelse från tidigare avläsningar. Om avvikelsen ökar systematiskt med tiden, eller minskar, så driver givaren.

Temperatur °C	15,0	20,0	25,0
RF salt %	85,9	85,1	84,3

Figur 2.19. Temperaturens inverkan på RF avseende en mättad saltlösning med Kaliumklorid, KCl,

Det är viktigt att notera att saltets RF är beroende av temperaturen, se figur 2.19.

Vid jämförelse mellan avläsningar måste därför en korrektion av saltets RF utföras innan avvikelse och drift beräknas eftersom saltlösningens RF varierar med temperaturen.

Osäkerheten avseende saltets RF, Kaliumklorid, uppgår till ca $\pm 0,3$ % RF men den försummas vid kontrollen. Anledningen till detta är att driften beräknas som skillnaden mellan två avläsningar över samma saltlösning. Saltlösningen förutsätts ha samma "fel" vid varje avläsning varvid absolutvärdet avseende RF är av mindre intresse.

Egenkontrollen ska även utföras innan givaren skickas på kalibrering och direkt efter det att givaren kommer tillbaks från kalibreringen, det vill säga innan givaren tas i bruk igen. Erhålls samma avvikelse vid dessa två kontroller verifierar det att inget hänt med givaren under transporten. Vid egenkontrollen direkt efter kalibreringen ska även avvikelsen jämföras med den avvikelse som kan utläsas i kalibreringsprotokollet. För en perfekt givare, kontrollerad med ett förfarande utan mätosäkerhet, ska naturligtvis avvikelsen vara lika vid kalibreringen som vid egenkontrollen över saltlösningen. Skillnaden mellan avläst RF och "verklig" RF ska ju vara densamma oavsett fuktkälla, förutsatt att den alstrar 85 % RF. Men ju större felkällorna i egenkontrollen är, och mätosäkerheten vid utförd kalibrering, ju större skillnad erhålls. Gränsvärdet vid dessa två kontroller är $\pm 1,5$ % RF, dvs samma gränsvärde som för tillåten drift. Om resultatet ligger utanför angivna gränser kan det bero på:

- att något har hänt med givaren under transporten
- fel på saltlösningen
- ostabil temperatur vid egenkontrollen
- att lokalen där egenkontrollen utförs är olämplig för ändamålet
- att givaren inte har kommit i fuktjämvikt
- att kalibreringen är felaktig

Om detta inträffar ska i första hand en ny egenkontroll utföras vid samma RF-nivå. Om avvikelser kvarstår kan kontroll utföras mot en mättad saltlösning med 75 % RF vilken är stabilare i temperaturhänseende. Om avvikelse fortfarande föreligger måste vidare utredning vidtas innan givaren kan tas i bruk för mätning och en ny kalibrering utförs.

Mättade saltlösningar

För saltkontroll kan behållare med färdig saltlösning köpas, vilket är att rekommendera, i vilken givarna monteras vid egenkontroll. Alternativt kan salt köpas för egen blandning. Vid kontroll över saltlösningar ska saltet vara av kvalitet ”pro analysi” och vattnet till saltlösningen ska antingen vara destillerat eller avhärdat med jonbytarfilter. Råd avseende blandning se /1/.

Olika salter ger olika RF vilket redovisas i figur 2.20. De värden som anges med ± efter saltets RF är osäkerheten avseende saltlösningarna. Det ska tolkas som att det korrekta värdet avseende RF inte är helt känt. Under ideala förhållanden ligger saltlösningens jämvikts-RF mellan de angivna gränserna. Detta skapar inget problem vad gäller kontrollen av drift förutsatt att givaren hela tiden kontrolleras i samma behållare med samma saltlösning.

Salt	RF vid 20°C
Magnesiumklorid $MgCl_2$	33.1±0.2
Natriumklorid $NaCl$	75.5±0.1
Kaliumklorid KCl	85.1±0.3
Kaliumnitrat KNO_3	94.6±0.7
Kaliumsulfat K_2SO_4	97.6±0.6

Figur 2.20. RF för mättade saltlösningar vid temperaturen 20°C.

Givarna ska placeras i täta behållare med mättade saltlösningar. Behållarna ska stå i temperaturstabil klimat och lämpligen vid en temperatur runt 20°C.

Givarna ska sitta ca 12 timmar i behållaren för att jämvikt ska erhållas. Avläsning utförs avseende RF och temperatur och avlästa värden dokumenteras i ett protokoll.

Kontrollintervall

Egenkontroll ska utföras före kalibrering och direkt efter att givare och avläsningsinstrument returnerats från kalibreringen. Därefter ska kontroll utföras med tillräckligt täta intervall för att säkerställa att driften inte överskrider tillåtna gränsvärden, men minst en gång per månad. Datum när senaste egenkontroll utförts ska anges i mätprotokollet vid RF-mätning. Det är datum för senaste egenkontrollen som utförts omedelbart före en RF-mätning som ska anges.

Hos vissa leverantörer är det möjligt att köpa en RF-givare som är färdigkalibrerad vid leverans. I detta fall har användaren naturligtvis inte någon möjlighet att göra en egenkontroll före kalibrering utan kan enbart göra en egenkontroll efter att givaren levererats. Det är då extra viktigt att resultatet vid egenkontrollen har en god överensstämmelse med resultatet från kalibreringen. Om inte så måste kontakt tas med leverantören för en eventuell omkalibrering. Användaren måste förse givaren med en unik märkning direkt efter leverans som även ska noteras på kalibreringsdokumenten för att undvika förväxlingar vid mätning.

Vad som styr hur ofta egenkontrollen måste utföras är hur givaren används samt typ av givare. Driften är ofta mindre för en givare som aldrig flyttas från laboratoriet jämfört med en givare som används vid borrhålsmätningar på byggarbetsplatser. Risken för problem med drift är större om givaren används flitigt i mycket fuktig eller förorenad miljö.

En givare som används vid borrhålsmätningar i fält kan behöva kontrolleras oftare än en gång per månad. Nya givare kan ha en tendens att driva mer än när det använts en tid och behöver således kontrolleras med tätare intervall i början. Varje givare är en unik individ och driften kan skilja väsentligt mellan givare av samma fabrikat.

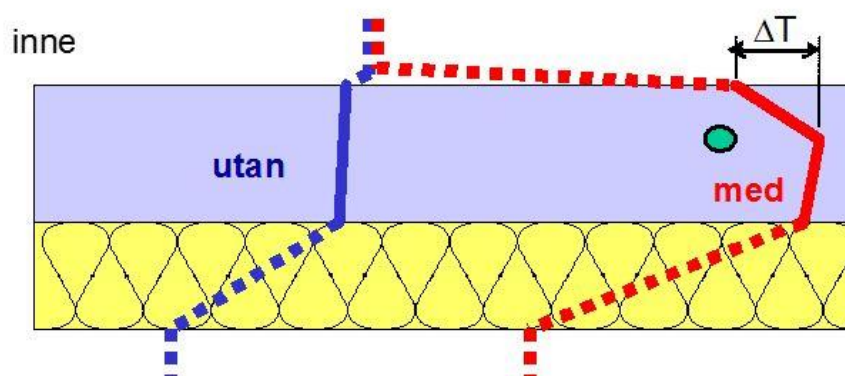
Om en givare inte använts för mätning på ett tag eller om misstanke uppstår om att något kan ha hänt med givaren under en mätning i betong bör en egenkontroll utföras innan givaren används igen. Det är en lämplig åtgärd för att kontrollera att det inte är givaren det beror på om ett avvikande mätresultat erhållits vid en mätning. Att utföra en egenkontroll är ett enkelt sätt att försäkra sig om givarens tillförlitlighet och att givarens kalibreringskurva fortfarande är aktuell.

2.12 Fuktmätning under inverkan av golvvärme

Fuktmätning under inverkan av golvvärme, beskrivet i följande avsnitt, förutsätter att golvvärmeslingorna är ingjutna i en bottenplatta av betong. Om golvvärmen är placerad mellan bottenplattan och ytskiktet, och således monteras efter att betongen torkats ut, gäller naturligtvis samma förutsättningar som för mätning i betong utan golvvärme. Det förutsätts också att värmen har varit, eller är, påslagen innan mätningen utförs.

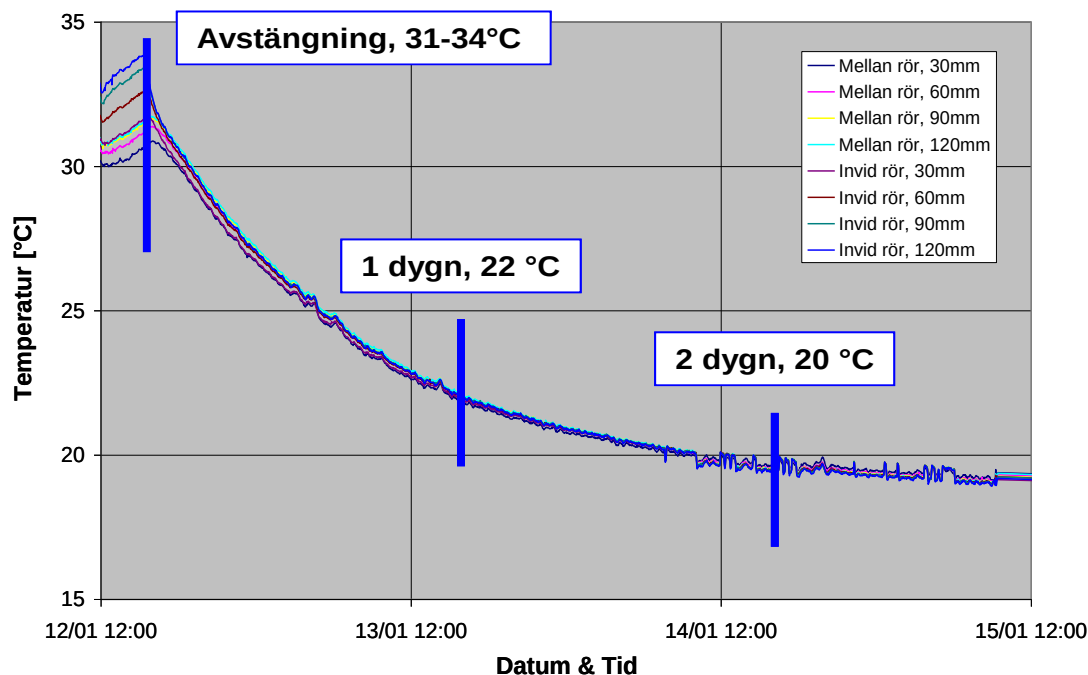
En borrhålsmätning ska inte utföras utan att plattan har kallnat först. Om borrhålsmätning utförs när golvvärmen är på finns stor risk att temperaturgradienter i plattan och temperaturskillnader mellan sensor och betong medför orimliga mätvärden. Temperaturen kan även ge upphov till kondens i mätröret eller på givare. Ett tidigare använt borrhål får inte användas igen, på grund av risk för kondens och hysteres, om golvvärmen varit på mellan mätningarna. Alltså måste ett nytt mätthål borras vid varje mättillfälle.

Anledningen till att det är problematiskt att mäta RF i betonggolvet med golvvärme är den höga temperaturen och ojämna temperaturfördelning i golvet. Risken för att dessa problem uppstår minskas genom att golvvärmen stängs av två dygn innan mätningen påbörjas och är avstängd under hela mätförfarandet. Se figur 2.22.



Figur 2.21. Temperaturfördelning i en platta på mark med och utan golvvärme.
(Figur 1 i rapport TVBM-3140, LTH /25/)

Version:	Datum:	Gäller från:	Utfärdad av:	Sign. Revisionsledare RBK	Flik:	Sida:
6:1	2019-01-16	2019-02-01	Ted Rapp		2	22(30)



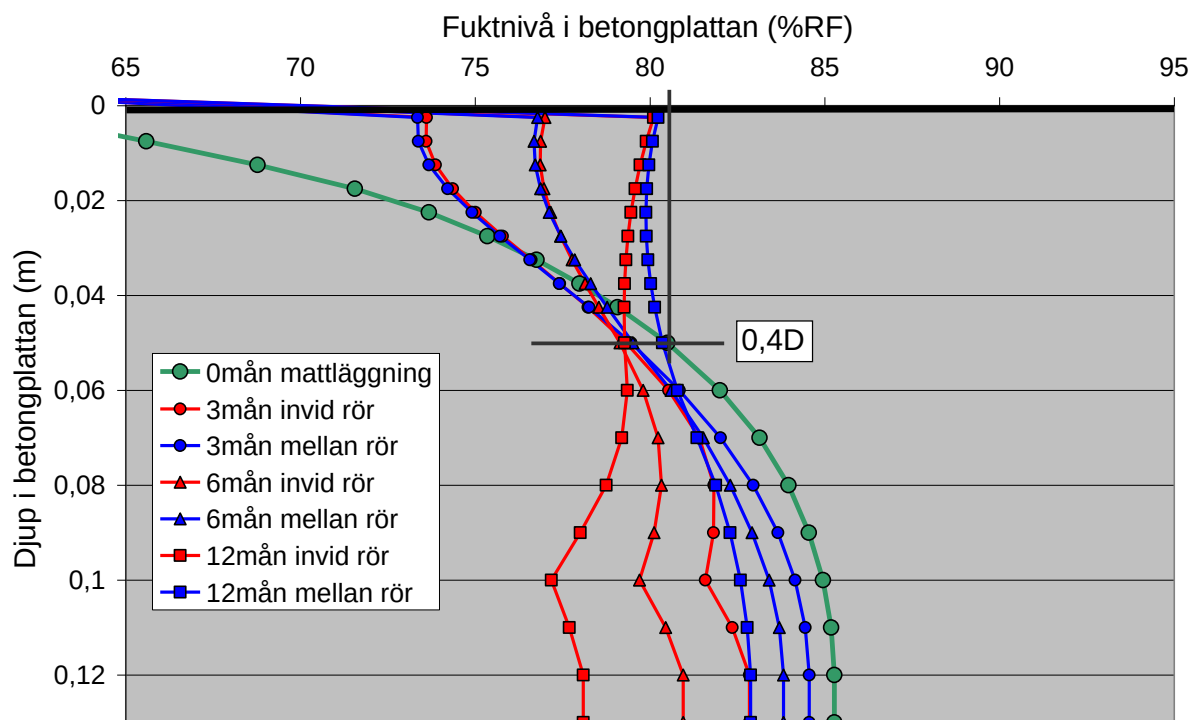
Figur 2.22. Avsvalningsförloppet, i en 120 mm tjock betongplatta på underliggande värmeisolering, efter avstängning av golvvärmen. (Figur 2.5.1 i rapport TVBM-3141, LTH /26/)

Av praktiska skäl utförs mätningen mitt mellan värmeslingorna. Lämpligt mätdjup är ca 40% av plattans tjocklek oavsett på vilken höjd värmeslingorna är placerade. Detta avser en bottenplatta med enkelsidig uttorkning. Mätdjupet är baserat på att antal försök och beräkningar utförda vid LTH, /25/, med olika förutsättningar som ingångsparametrar. Ett beräkningsexempel visas i figur 2.23.

Bottenplattan kommer under brukstiden att ha en högre temperatur än en bottenplatta utan golvvärme. Den RF som enligt praxis redovisas i mätprotokollet är trots detta RF vid 20°C. Med stigande temperatur ökar RF. Detta innebär att det ytskikt som finns ovanpå betongen kommer att påverkas av en högre RF under bruksskedet än vad som anges i mätprotokollet. Temperaturen kan uppgå till 30°C. Om RF vid 20°C skulle räknas om till denna temperatur skulle redovisad RF erhålla en orimligt stor osäkerhet. Det bör noteras att den kemiska nedbrytning av material går snabbare när temperaturen ökar. Kritiska värden avseende RF, för olika ytskikt, som redovisas i AMA Hus baseras på att temperaturen i betongen är 20°C. Det står uttryckligen att angivna värden inte gäller för golv med golvvärme eller vid en ojämn temperaturfördelning i bottenplattan. Kritiskt värde enligt AMA gäller således inte vid högre temperaturer än 20°C. Det är tillverkarna av avjämningsmassa, lim, och diverse ytskikt som måste ange vilket kritiskt gränsvärde som gäller för deras produkt. De borde lämpligen vara bäst beskaffade att ange vad deras material klarar av.

För att uppmärksamma beställaren av mätningen på detta måste det tydligt framgå i mätprotokollet att mätning utförts i en bottenplatta med ingjuten golvvärme. Mätresultatet anges på samma sätt som för mätning i golv utan golvvärme d.v.s. RF vid 20°C. Mätningen utförs enligt Rutin för RF-mätning i betongplatta med golvvärme, Flik 17.

Version:	Datum:	Gäller från:	Utfärdad av:	Sign. Revisionsledare RBK	Flik:	Sida:
6:1	2019-01-16	2019-02-01	Ted Rapp		2	23(30)



Figur 2.23. Beräknade RF-profiler, under fuktomfördelning efter matläggning, avseende en bottenplatta med ingjutna golvvärmerör. (Figur 32a. i rapport TVBM-3140, LTH /25/)

I figur 2.23. redovisas resultatet från en av de beräkningar som har utförts för att bestämma ekvivalent mätdjup för en bottenplatta med ingjutna värmeslingor. I denna beräkning har värmeslingorna placerats 100 mm från bottenplattans överkant. Bottenplattan är 120 mm tjock, gjuten på cellplast, med vct 0,60. Plattan torkades i 6 månader innan mattan lades och värmen sattes på. I figuren visar röda linjer RF 5 mm ifrån värmeröret vid olika tidpunkter. Blå är RF mitt mellan rören. Grön profil är RF vid tiden för matläggning och värmepåsläpp. Ekvivalent mätdjup är enligt denna beräkning $0,4 \times D$, ca 48 mm, där D är plattjockleken.

Mer information och underlaget till detta avsnitt återfinns i Publikation P-02:1 från Chalmers /24/ och rapporterna TVBM-3140 /25/ samt TBVM-3141 /26/ från Avd. Byggnadsmaterial vid LTH.

2.13 Fuktmätning i vakuumbehandlad betong

Vakuumbehandling är ett sätt att ta bort vatten ur färsk betong sedan den gjutits på vanligt sätt. Betongen utsätts för vakuum med hjälp av en sugmatta kopplad till en pump, varvid den komprimeras och vatten frigörs på ytan. Vattnet sugas bort under behandlingen. Detta gör att vct sänks och partiklarna packas ihop till en betong som är tätare än om vakuumbehandling inte utförts. Effekten är störst vid ytan och avtar med avståndet från denna.

Detta innebär att det inte är säkert att teorierna om ekvivalent mätdjup direkt kan appliceras på en vakuumbehandlad betong eftersom materialegenskaperna varierar i konstruktionens höjddled. Det är därför att rekommendera att fuktprofilen genom konstruktionen fastställs

Version:	Datum:	Gäller från:	Utfärdad av:	Sign. Revisionsledare RBK	Flik:	Sida:
6:1	2019-01-16	2019-02-01	Ted Rapp		2	24(30)

genom mätning på några olika djup för att därefter, om möjligt, utföra en beräkning av ekvivalent mätdjup från fall till fall. Se avsnitt 2.4. Fortsatt mätning i samma objekt kan sedan utföras på beräknat ekvivalent mätdjup. De är dock viktigt att beakta att vakuumbehandlingen kan ge olika resultat för varje etapp man behandlar beroende på hur väl man lyckas täta mellan sugmatta och betongyta och hur mycket vatten man lyckas suga bort. Vakuumbehandlad betong se /11/, /13/ och /14/.

2.14 Golvavjämning

Med avjämning avses justering av en betongyta med avjämningsmassa eller spackel vilket kan läggas ut med pump eller för hand. Om en RF-mätning i betongen ska påbörjas före avjämning och kommer att avslutas först efter att avjämning utförts, ska området närmast borrhålen skärmis av med en barriär, tex självhäftande list, så att avjämningsmassa inte riskerar att nå fram till mätpunkten

Om RF-mätning ska påbörjas efter att avjämning av betongytan har utförts så ska ett område runt platsen där mätpunkten borraras först friläggas från avjämningsmassa. Endast avjämningsmassan ska tas bort, inte underliggande betong. Området ska motsvara den yta som behövs för att mätpunkt och skyddskon, eller motsvarande, får plats med direktkontakt mot betongytan. Därefter kan mätthålet borraras och mätröret tätas mot betongytan. Det ekvivalenta mätdjupet beräknas utan att avjämningsmassans tjocklek tas med enligt avsnitt 2.2 och 2.3.

Om avjämningsmassa skulle komma i direktkontakt med mätpunkten under mätning eller mellan borrar och givarmontage så ska mätpunkten inte användas. Risk finns för att fukten i avjämningen påverkar mätresultatet.

Avjämningsmassa på betong kan ta lång tid att torka ut, speciellt om den läggs i tjocka skikt. Tjockleken kan variera från några millimeter upp till flera centimeter. Tillverkaren kan ge anvisningar om till vilken RF-nivå betongen bör ha torkat före avjämning. Det bör noteras att uttorkningen av betongen avstannar när den beläggs med avjämningsmassa. Först när avjämningsmassan är torrare än betongytan närmast under så fortgår uttorkningen av underliggande betong.

Vid användning av betong med lågt vct kan det vara nödvändigt med ett skikt avjämningsmassa mellan betong och matta. Detta eftersom betongen är så tät att limfukten inte tränger ner i betongen vid direktilimning mot ytan. Någon exakt gräns vad gäller vct finns inte och även tillsatsmaterial kan bidra till en tät betong. Detta kan leda till att limmet lägger sig som en vattenfilm mellan betong och matta. Fuktblastning under mattan blir då hög, även om betongen torkat så att RF understiger kritiskt gränsvärde. Risker för en fuktskada är då överhängande. För att undvika detta rekommenderas att en lågalkalisk avjämningsmassa med ett skikt på minst fem millimeter läggs ut på betongen. Syftet med detta är att limfukten ska kunna tas upp av avjämningsmassan men även att dess låga alkalitet ska hindra den alkaliska fukten som finns i den underliggande betongen att nå lim och matta.

Denna manual gäller enbart för RF-mätning i betong och inte i avjämningsmassa vilket är ett annat material. Mätosäkerhetsberäkningen för betong är inte heller direkt tillämplig vid mätningar i avjämningsmassa. Golvbranschen, GBR har utvecklat och står bakom en metod för fuktmätning i golvavjämningsprodukter, GBR branschstandard – bestämning av RF i normaltorkande golvavjämning, som återfinns på www.golvbranschen.se.

Version:	Datum:	Gäller från:	Utfärdad av:	Sign. Revisionsledare RBK	Flik:	Sida:
6:1	2019-01-16	2019-02-01	Ted Rapp		2	25(30)

2.15 Mätosäkerhet vid fuktmätning i betong

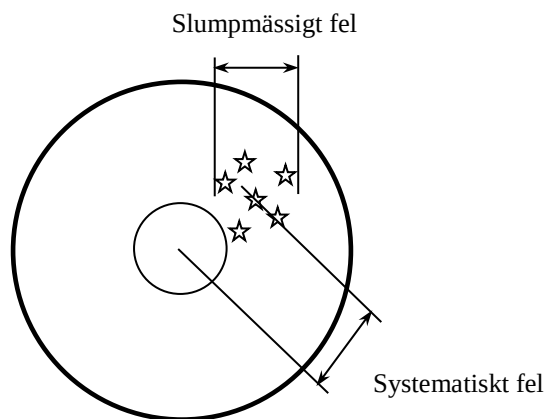
Vid RF-mätning i betong finns det flera olika felkällor som bidrar till den totala osäkerheten avseende fuktmätningen. Varje felkälla studeras först var för sig och dess storlek bestäms med ett siffervärde. När alla felkällor som kan tänkas påverka mätningen har behandlats ska de sammanfogas matematiskt till ett siffervärde som motsvarar den totala mätosäkerheten.

Mätosäkerheten adderas därefter alltid till mätvärdet som erhålls från mätningen.

Vid RF-mätning i borrhål, enligt denna manual, ska den totala mätosäkerheten högst uppgå till $\pm 3 \%$ RF. Det ska även visas hur osäkerheten har bestämts. Mätosäkerheten ska adderas till uppmätt värde innan jämförelse görs med kritisk RF för respektive material. Det innebär att om kritisk RF är 90 % och osäkerheten är bestämd till $\pm 2,5 \%$ RF ska uppmätt RF som högst vara 87,5 % för att säkerställa att RF i betongen inte överstiger 90 %.

I skriften ”Uttorkning av byggfukt i betong” /1/ av Göran Hedenblad beskrivs kalibreringsfel och mätfel vid fuktmätning. Skriften ligger även till grund för rapporten ”Mätosäkerhet vid fuktmätning i betong med kapacitiva fuktgivare – en bedömning av faktorer som påverkar osäkerheten samt hur de kan minskas” /15/ av Anders Sjöberg. Innehållet i detta avsnitt är till stor del hämtat ur dessa båda skrifter.

Osäkerheten i en mätning kan definieras som den ”oskärpa” ett mätvärde har. Avvikelsen från det ”sanna” värdet är ett fel som uppstår vid mätningen. Felet består både av systematiska och slumpmässiga fel. Skillnaden mellan dessa fel kan beskrivas med hjälp av en träffbild på en måltavla enligt figur 2.24. Systematiska fel återkommer vid varje mätning medan slumpmässiga fel utgörs av oförutsägbara variationer mellan mätvärdena.



Figur 2.24. Illustration av slumpmässiga och systematiska fel med hjälp av träffbild på en måltavla.

Utöver de systematiska och slumpmässiga felen förekommer även grova fel. Exempel på grova fel är att borrhålet inte är tätat mot omgivande luft, vilket medför att mätområdet torkas ut och ett för lågt RF-värde erhålls. Andra exempel är att ett avläsningsinstrument används som inte är kalibrerat ihop med den aktuella givaren, användning av fel kalibreringskurva eller avläsningsfel. De grova felen är inte matematiskt hanterbara och får inte förekomma. Beroende på val av mätmetod och mätinstrument finns det olika faktorer som inverkar på mätosäkerheten. Det finns bland annat egenskaper hos materialen, i mätinstrumenten och faktorer vid kalibreringen som bidrar till osäkerheten. Dessutom kan osäkerheten i mätningen bli stor om handhavandet inte är korrekt.

Version:	Datum:	Gäller från:	Utfärdad av:	Sign. Revisionsledare RBK	Flik:	Sida:
6:1	2019-01-16	2019-02-01	Ted Rapp		2	26(30)

I detta avsnitt beskrivs kortfattat några faktorer som inverkar på mätosäkerheten. För de mätmetoder som beskrivs i denna manual finns även anvisningar om hur mätosäkerhet ska bestämmas och beräknas under flik 27.

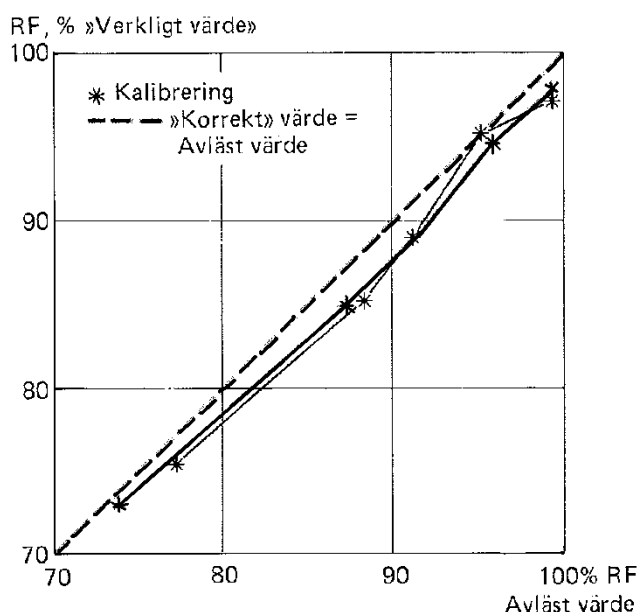
I första hand ska man försöka undvika de systematiska felen. Om inte det går får man korrigera mätresultatet och ta hänsyn till osäkerheten i korrigeringen. I de fall det finns systematiska fel vet man i regel inte felets exakta storlek. Därför delar man upp felet i en systematisk del och en slumpmässig del. Den systematiska delen är den troliga korrigeringstermen för felet och den slumpmässiga delen "tar hand" om osäkerheten i uppskattningen av det systematiska felet.

När storleken på de systematiska och slumpmässiga faktorerna är bedömda kan en korrigering utföras, för de systematiska felen, och den utvidgade mätosäkerheten beräknas för de slumpmässiga. Om osäkerheten är för stor kan man upprepa mätningarna, genom att mäta i fler borrhål bredvid varandra, och därmed reducera en del av de slumpmässiga faktorerna. De systematiska faktorerna reduceras inte genom upprepade mätningar.

Exempel på systematiska och slumpmässiga faktorer

Ickelinearitet hos givare är en systematisk faktor och innebär att RF-givaren inte är linjär över hela intervallet 0 till 100% RF. För att minska linearitetsfelet kalibreras givare med tillhörande avläsningsinstrument vid flera RF-nivåer. Det mest intressanta RF-intervallet för betong är 75 till 95 %. Fyra stycken RF-nivåer brukar användas, 75, 85, 90 och 95 %. Inom detta område upprättas en kalibreringskurva, för varje mätinstrument, som avlästa värden sedan korrigeras efter vid mätning. Kurvan upprättas genom att dra rätta linjer mellan kalibreringspunkterna. Men även detta är en uppskattning med ett litet fel. Om kalibreringen i figur 2.25 skulle utföras även vid 80% RF är det inte troligt att avläst värde från givarna skulle hamna exakt på linjen mellan de två närliggande RF-nivåerna. Således minskar felet på grund av icckelinearitet ju fler RF-nivåer som används vid kalibreringen.

Mätning får endast utföras inom det RF-intervall som givaren kalibrerats i. Om nedanstående kalibreringskurvor ska kunna användas vid mätning ner till tex 70% så måste kalibrering av givarna utföras vid ytterligare en RF-nivå, 70% RF.

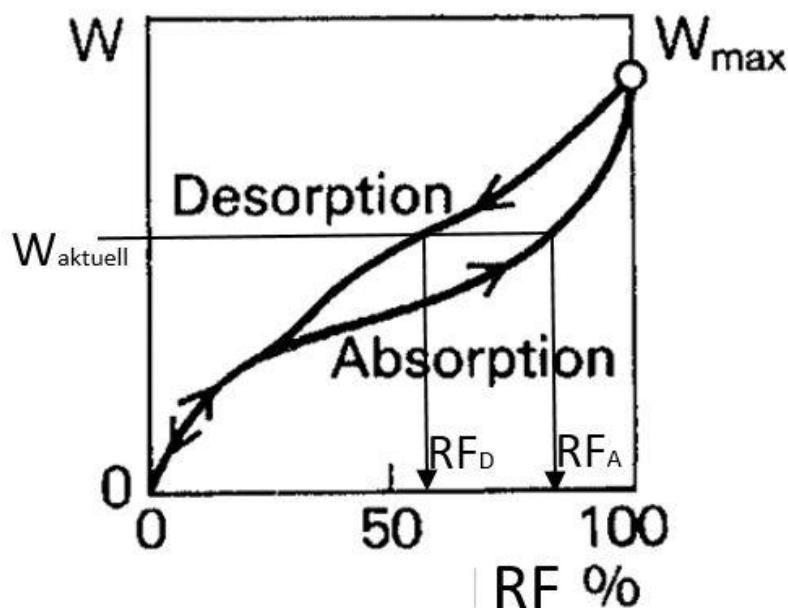


Figur 2.25. Exempel på icckelinearitet hos två olika RF-givare /1/.

Version:	Datum:	Gäller från:	Utfärdad av:	Sign. Revisionsledare RBK	Flik:	Sida:
6:1	2019-01-16	2019-02-01	Ted Rapp		2	27(30)

Hysteres hos RF-givare innebär att givaren följer olika jämviktsfuktkurvor vid uppfuktning respektive uttorkning. För samma RF-nivå kan således avläst RF skilja sig åt beroende på om givaren vid montaget har lägre RF, och fuktas upp, eller högre RF, torkar ut, än den RF-nivå som mätningen utförs vid. Effekten av hysteres gällande RF-givaren undviks genom att kalibrera givaren i samma ordning som mätningen därefter utförs i, oftast från lägre RF till högre.

Hysteres förekommer även för olika material dvs jämviktskurvorna är olika vid uppfuktning, absorption, och uttorkning, desorption. Se figur 2.26.



Figur 2.26. Principiellt förlopp avseende absorption och desorption för ett material / 7/.

Figur 2.26. visar att stor skillnad erhålls i RF vid en och samma fukthalt, W_{aktuell} , beroende på om materialet är under uppfuktning, absorption, eller uttorkning, desorption.

Felet vid en RF-mätning i betong kan således bero på hysteres i materialet, hysteres avseende givaren eller båda två samtidigt. För mätning i betong är oftast felet på grund av hysteres i materialet större än felet på grund av givarens hysteres.

Hysteres kan ge upphov till stora mätfel och betraktas som ett grovt fel som ska undvikas.

Temperaturvariationer under mätning måste reduceras till ett minimum. Mätosäkerhet orsakad av denna faktor kan reduceras genom att välja lämplig placering för borrhål, placera en skyddskon eller skyddsburk över givaren och anpassa mätperioden efter aktiviteten på bygget vid borrhålsmätning.

Fuktmätning utförd vid annan temperatur än i bruksskedet är en systematisk faktor som det går att korrigera för. De kritiska gränsvärden som anges för fuktkänsliga ytskikt gäller vanligtvis vid temperaturen 20°C. Av denna anledning korrigeras den RF som uppmäts vid annan temperatur till RF vid 20°C, vilket ska redovisas i protokollet. Till detta används kurvorna i figur 27.1 under flik 27. Om temperaturen är lägre än 20°C vid mättillfället är uppmätt RF för lågt och mätvärdet korrigeras uppåt. Efter korrigeringen kvarstår en slumpmässig osäkerhet vilken beror på osäkerheter vid framtagandet av kurvorna i figur 27.1. Denna osäkerhet ska tas med när den utvidgade mätosäkerheten beräknas.

Version:	Datum:	Gäller från:	Utfärdad av:	Sign. Revisionsledare RBK	Flik:	Sida:
6:1	2019-01-16	2019-02-01	Ted Rapp		2	28(30)

Fuktkapacitet hos RF-givaren bidrar till mätosäkerheten vid mätning i borrhål och kan variera för olika givartyper. En viss mängd av fukten i betongen går åt för att fukta upp RF-givaren. Detta medför att avläst värde blir något för lågt. Fuktkapacitet är ett systematiskt fel som korrigeras genom att lägga till en korrektionsfaktor till mätresultatet. Givarnas fuktkapacitet har bestämts genom ett antal mätförsök. I dessa försök finns naturligtvis även slumpmässiga variationer som ska tas med när den utvidgade mätosäkerheten beräknas.

Temperaturskillnad mellan RF-sensor och betong är ett grovt fel som inte kan hanteras matematiskt och således inte får förekomma. Temperaturskillnaden inträffar när sensorn inte har samma temperatur som betongen och luften i mät hålet. Med hjälp av en isolering, mätkon eller skyddsburk över RF-givaren minskas risken för detta fel. Felet kan även uppstå när det råder en temperaturgradient över betongtvärsnittet t.ex. när mätning utförs i ett mellanbjälklag där undersidan är betydligt kallare än översidan.

2.16 Definitioner

I det här avsnittet definieras ett antal termer som används i manualen. Definitioner på de flesta termer inom den byggnadstekniska fuktläran återfinns i Fukthandboken /16/.

relativ fuktighet – RF

kvot av verklig ånghalt, V , och mättnadsånghalt, V_m , vid samma temperatur.
Ånghalt och mättnadsånghalt anges vanligen i enheten g/m^3 , och RF i %.

$$RF = \frac{V}{V_m}$$

kritisk relativ fuktighet, RF_{krit}

kritisk RF är den högsta RF som ett material tål, utan att det riskerar att fuktskadas.

hygroskopisk sorptionskurva

är en kurva som visar samband mellan fukthalt, eller fuktkvot, i ett poröst material och den relativa fuktigheten i omgivande luft vid jämvikt och konstant temperatur. Ett annat namn för sorptionskurva är jämviktsfuktkurva eller sorptionsisoterm.

hysteres

jämviktsfuktkurvan ser olika ut beroende på om materialet, eller RF-givaren, fuktas upp eller torkas ut. Detta kallas hysteres. Se figur 2.26.

vattencementtal – vct

vct = vatten/cement (vatten och cement i kg/m^3 betong)

Version:	Datum:	Gäller från:	Utfärdad av:	Sign. Revisionsledare RBK	Flik:	Sida:
6:1	2019-01-16	2019-02-01	Ted Rapp		2	29(30)

ekvivalent vattencementtal – v_{ctekv}

$$v_{ctekv} = \text{vatten} / (\text{cement} + k \times \text{tillsatsmaterial})$$

(vatten, cement och tillsatsmaterial i kg/m³ betong)

effektivitetsfaktor, k

beskriver tillsatsmaterialiets effekt på hållfastheten och anger hur stor del av cementet som kan ersättas av tillsatsmaterialiet.

ekvivalent mätdjup

är det djup från betongytan där RF före golv- mattläggning är densamma som den RF som maximalt uppstår i betongytan, under ett helt tätt ytskikt, efter fullständig omfördelning av fukten.

kalibrering

kalibrering är en jämförande mätning vid vilken en kalibreringskurva upprättas. Avsikten med en kalibrering är att kontrollera och dokumentera avläst värde för en givare, med tillhörande avläsningsinstrument, vid mätning mot känd RF. Detta för att avläst RF vid mätning i betong ska kunna korrigeras till ”verkligt” värde, kalibrerat värde. Till detta används kalibreringskurvan som erhålls efter avslutad kalibrering. Kalibreringen ska utföras vid en mätplats där RF är spårbar till ett erkänt institut.

drift

RF-givare åldras och påverkas av den miljö som de utsätts för. Detta kan medföra att avläst värde ändras med tiden för samma RF-nivå. Detta brukar benämnas drift.

egenkontroll av RF-givare

är en kontroll av att givarens drift inte överstiger tillåtet värde. Egenkontrollen används som underlag för att bedöma när ny kalibrering behöver utföras samt för att avgöra om ett lägre bidrag till mätosäkerheten, än maxvärdet, kan tillåtas. En egenkontroll utförs även innan och efter det att givaren skickats för kalibrering. Syftet är att kontrollera att inget hänt med givare under transport och kalibrering för att säkerställa att givaren kan användas vid mätning.

justering

innebär ett fysiskt ingrepp i givare och/eller avläsningsinstrument genom mekanisk/elektronisk justering av utrustningen eller modifiering av programvara. Avsikten med justering av givare och avläsningsinstrument är att avläst värde ska sammanfalla med verklig RF vid mätning mot känd RF.

RBK-mätning

är en mätning utförd och dokumenterad enligt gällande version av ”Manual fuktmätning i betong”. Samtliga moment är utförda av en RBK-auktoriserad fuktkontrollant – betong och mätningen, projektet, är registrerad på www.rbk.nu.

Version:	Datum:	Gäller från:	Utfärdad av:	Sign. Revisionsledare RBK	Flik:	Sida:
6:1	2019-01-16	2019-02-01	Ted Rapp		2	30(30)