

INNEHÅLL FLIK 2**FUKTMÄTNING I BETONG OCH GOLVAVJÄMNING**

2.1	RF-mätning i betong och golvavjämning	sida 2
2.2	Definition av mätdjup	sida 3
2.3	Ekvivalent mätdjup	sida 4
2.3.1	Plattbärlag och pågjuten underbetong	sida 6
2.3.2	Håldäckselement	sida 8
2.4	Annan verifiering av uttorkning i golvsystem	sida 10
2.5	Andra syften för mätning av RF i golvsystem	sida 10
2.6	Borrhålsmätning	sida 11
2.6.1	Borrning av mätthål	sida 11
2.7	Uttaget prov	sida 13
2.7.1	Uttaget prov i golvavjämning	sida 13
2.7.2	Uttaget prov i betong	sida 15
2.8	Givare för RF-mätning	sida 16
2.8.1	HumiGuard	sida 16
2.8.2	Vaisala HMP40S	sida 16
2.8.3	Testo 605-H1	sida 17
2.9	Kalibrering av givare – kalibreringskurva	sida 18
2.10	Drift och egenkontroll av RF-givare	sida 20
2.10.1	Mättade saltlösningar	sida 22
2.10.2	Kontrollintervall	sida 22
2.11	Fuktmätning i betong under inverkan av golvvärme	sida 23
2.12	Mätosäkerhet vid fuktmätning i betong och golvavjämning	sida 25
2.12.1	Exempel på systematiska och slumpmässiga faktorer	sida 27
2.13	Prognos avseende uttorkningstid	sida 29
2.14	Definitioner	sida 31

2 FUKTMÄTNING I BETONG OCH GOLVAVJÄMNING

För att kunna utföra fuktmätningar, granska fuktmättningsresultat samt mätmetoder krävs kunskap. I detta kapitel beskrivs grunderna avseende fuktmätning, mätdjup, mätmetoder, tillvägagångssätt för borrhning av mäthål, uttagning av provmaterial, 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 och golvavjämning

Syftet med att utföra en fuktmätning är att erhålla ett mätresultat som redovisar vilken fuktnivå som råder i materialet. Storheter som kan användas är tex fukthalt, fuktkvot, relativ fuktighet eller kapillär mätnadsgrad. Med RBK:s borrhålmeter för betong mäts RF på ett väldefinierat mätdjup. Det bör noteras att mätmetoder som redovisar mätresultat med samma storhet principiellt kan vara helt olika och därmed systematiskt ge avvikande mätresultat. Exempel är Kupmetoden i Storbritannien som likt RBK:s borrhålmeter för betong mäter RF. Metoden ger dock ett resultat som representerar betongens RF i ytan. Detta gäller även Kalciumkloridmetoden i USA men med denna metod mäts mängden absorberad fukt under en viss tid, inte RF. Karbidmetoden CM-metoden i Tyskland och ugnsmetoden som används i Sverige mäter båda fuktkvot, den ena fukt i relation till vått material, den andra i relation till torrsvikt av materialet. Vilken mätmetod och 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 framtagen för att användas vid fuktmätning i betongkonstruktioner, bjälklag eller betonggolv som även kan vara belagda med golvavjämning. Syftet med mätningen är ofta att avgöra om betongen och/eller golvavjämningen är tillräckligt torr för att beläggas med ett ytskikt. Relativ fuktighet, RF, är i detta fall en lämplig storhet. En mätning kan även utföras i ett tidigare skede för att bedöma hur lång tid det är kvar innan beläggning kan ske. Alternativt kan syftet vara att erhålla mätresultat som underlag för en omfördelningsberäkning dvs kunna beräkna fuktstatus i en hel konstruktion. Även fuktstatus efter en vattenskada för att kunna bedöma torktider och åtgärder kan föranleda en mätning.

RF i betongen ligger ofta i intervallet 85 – 95% då ett ytskikt kan appliceras. För golvavjämning kan RF i detta skede vara betydligt lägre. Vilken RF som ska råda beror på vilket ytskikt och eventuellt lim 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.

Mätning i betong ska utföras i ett borrhål i betongen och inte på betongytan. Under uttorkningen av nygjuten betong erhåller ytan 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 helt tätt ytskikt efter att det applicerats och en fullständig fuktomfördelning har inträtt. Detta beskrivs utförligare i *avsnitt 2.3*. Mätning i betong kan av olika skäl även utföras på andra djup än ekvivalent djup, se *avsnitt 2.4* och *2.5*. Om mätdjupet inte explicit anges vid beställning av RBK-mätning ska ekvivalent djup användas.

Version:	Datum:	Gäller från:	Utfärdad av:	Sign. Revisionsledare RBK	Flik:	Sida:
7	2023-02-28	2023-03-01	Ted Rapp		2	2(32)

Vid RF-mätning i golvavjämning används mätmetoden uttaget prov. En cylinder borrar ut genom hela avjämningens tjocklek. Materialet krossas och placeras i en provbehållare varefter RF-bestämningen utförs på ett laboratorium, temperatur stabil plats. Denna metod har visat sig ge den bästa uppskattningen av vilken RF som kommer att uppstå under ett ytskikt som appliceras på golvavjämningen. Detta förutsätter dock att det inte tillskjuter fukt från underlaget avjämningen vilar på. Metoden medför att hela avjämningens tjocklek ska ingå i provet och gör att begreppet mätdjup inte är relevant för RF-mätning i avjämning. För att ett korrekt resultat ska kunna erhållas vid RF-mätningen måste följande uppfyllas.

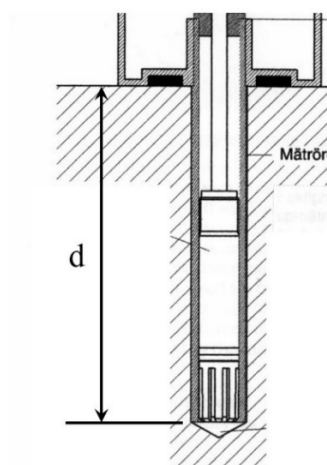
- Fukt- och temperaturjämvikt mellan givare och material
- Stabil temperatur under mätningen
- Kalibrerad mätutrustning

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 materialet. Risken är stor att ytskiktet fuktskadas om tidpunkten för att montera ytskiktet baseras på detta mätresultat.

Det behövs även kunskap om materialet som mätningen utförs i, 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 betong och golvavjämning se *Flik 3* i denna manual.

2.2 Definition av mätdjup

Mätdjupet när det gäller betong är djupet från betongens överyta till den nivå i betongen där RF ska bestämmas. Se *Figur 2.1*. Efter att ett hål borrar i betongen ska djupet kontrolleras genom mätning med 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.



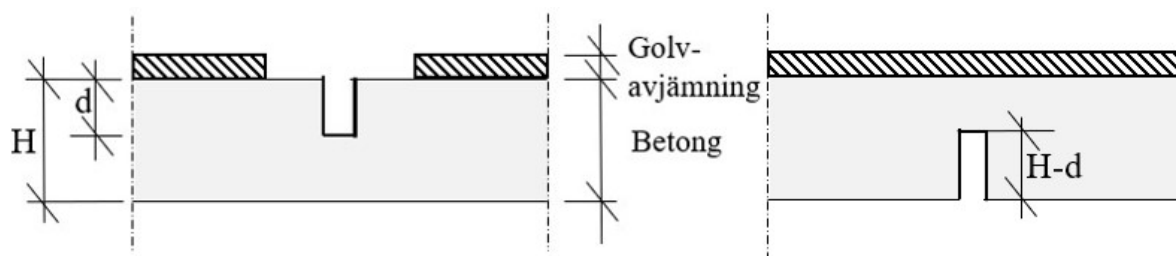
Figur 2.1 Mätdjup, d, i ett borrarat hål anges i hela millimeter. Mätröret ger ett väl definierat mätdjup eftersom fukt endast kan avgå från borrhålets botten.

Vid mätning i golvavjämning är mätdjupet hela avjämningens tjocklek. Det kan bestämmas genom att mäta höjden på den cylinder som borrar ut ur avjämningen med ett skjutmått. Alternativt kan den mätas i hålet som uppstår efter att cylindern avlägsnats. I protokollet ska alltid mätdjupet anges i millimeter, utan decimaler.

Version:	Datum:	Gäller från:	Utfärdad av:	Sign. Revisionsledare RBK	Flik:	Sida:
7	2023-02-28	2023-03-01	Ted Rapp		2	3(32)

Om en mätning ska utföras i en betongkonstruktion som är belagd med golvavjämning så ska avjämningen avlägsnas innan mät hålet borrar. En betongyta måste friläggas som är tillräckligt stor för att borrar och tätning av mätrör ska kunna utföras. Används Vaisala HMP40S måste även skyddsburken få plats. Tätning av mätrörets övre del ska alltid utföras direkt mot betongytan, inte mot golvavjämning eller annat material.

Mätning av RF i golvavjämning och betong kan utföras i en och samma mätpunkt i de fall det är aktuellt. Ett uttaget prov tas då först i golvavjämningen. Därefter borrar mät hålet i betongen. Detta förutsätter att betongytan i mätpunkten är helt frilagd från golvavjämning och att betongytan inte har skadats vid uttagning av avjämningsprovet. Den frilagda betongytan måste vara tillräckligt stor för att montage och tätning av mätröret ska vara praktiskt möjligt. Golvavjämnings tjocklek ska inte ingå i mätdjupet d avseende borrhålet i betongen. Mätdjupet anges i montageprotokollet som avståndet från betongytan till botten av mät hålet, se *Figur 2.2*. Alternativt kan mätningen utföras från undersidan på mätdjupet $H-d$ från undersidan. Ekvivalent mätdjup beräknas enligt *avsnitt 2.3* med golvavjämningen borträknad. Det ska dock skrivas in i montageprotokollet att det finns golvavjämning vid mätpunkten och avjämningsskiktets tjocklek ska anges.



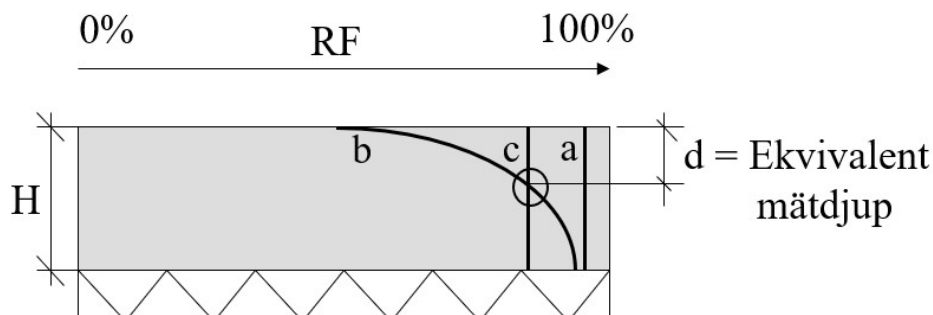
Figur 2.2 Mätdjup, d , är avståndet från betongens överyta till botten av mät hålet. H är betongens tjocklek. Mätning kan även utföras underifrån, om det är praktiskt genomförbart. Mätdjupet ska i så fall vara $H-d$ från betongens undersida.

2.3 Ekvivalent mätdjup

Syftet med att utföra en fuktmätning är att säkerställa att underlaget är tillräckligt torrt för att ytskiktet som används inte ska utsättas för en högre fuktbelastning än vad materialet tål. När det gäller fukt i betong och golvavjämning används oftast storheten relativa fuktigheten, RF. Fukttillståndet varierar genom betongtvärsnittet, även i golvavjämningen, under uttorkningen vilket kan redovisas med en fuktprofil se *Figur 2.3*. RF i ytan erhåller snabbt samma RF som den omgivande luften. Längre in i materialet 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 tätas underliggande material till, vilket förhindrar ytterligare uttorkning. Den kvarvarande fukten kan därefter komma att omfördelas 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 görs en förenklad betraktelse av problemställningen. Det antas att ett ogenomsläppligt skikt läggs på betongen utan hänsyn till inverkan av limfukt. Utifrån denna betraktelse fastställs ett 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 och är endast tillämpligt för RF-mätning i betong.

Version:	Datum:	Gäller från:	Utfärdad av:	Sign. Revisionsledare RBK	Flik:	Sida:
7	2023-02-28	2023-03-01	Ted Rapp		2	4(32)

Det finns två principiellt skilda fall av uttorkning vilka styr valet av ekvivalent mätdjup i betong, 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 plattform behandlas som enkelsidig uttorkning.



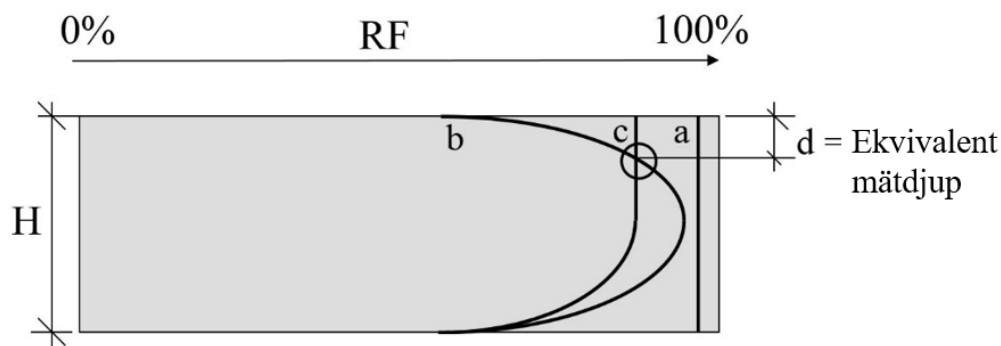
Figur 2.3 Ekvivalent mätdjup, d , vid enkelsidig uttorkning. Figuren visar fuktprofiler avseende relativ fuktighet, RF, genom ett betongbjälklag vid olika tidpunkter. a = fuktprofil direkt efter gjutning, b = fuktprofil under uttorkning, c = fuktprofil efter golvläggning och fullständig omfördelning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

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 omfördelning av fukt. H = bjälklagets tjocklek.

Version:	Datum:	Gäller från:	Utfärdad av:	Sign. Revisionsledare RBK	Flik:	Sida:
7	2023-02-28	2023-03-01	Ted Rapp		2	5(32)

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 ska utföras.

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 måste detta anges tydligt i mätprotokollet. I rutan där ekvivalent mätdjup anges ska en hänvisning göras till kommentarsfältet. Det kan tex vara i form av en asterisk. I kommentarsfältet ska en tydlig förklaring anges till varför mätningen utförts på annat djup. Det kan tex vara när en fuktprofil ska upprättas och RF mäts på flera olika djup i betongen. Motsvarande förklaring ska även anges tydligt i sammanställningen av mät rapporten.

2.3.1 Plattbärlag och pågjuten underbetong

Ett bjälklag, eller en bottenplatta, behöver inte bestå av betong gjuten vid ett och samma tillfälle. Ett exempel är 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*.



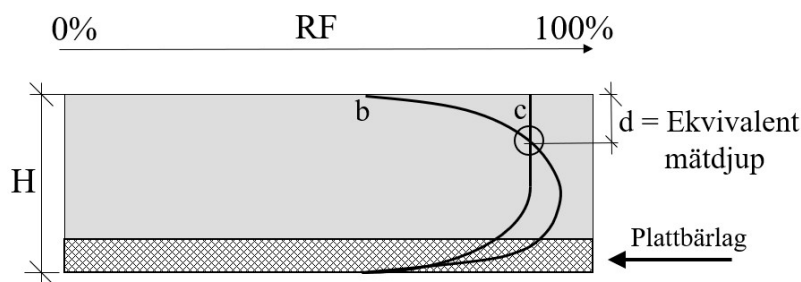
Figur 2.5 Ekvivalent mätdjup, d, för ett bjälklag bestående av ett pågjutet plattbärlag.

Om pågjutningen har samma, eller lägre, vct än plattbärlaget är mätdjupet: $d = 0,2 \times H$
 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 mätdjupet, $0,25 \times H$, 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 mätdjup 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*.

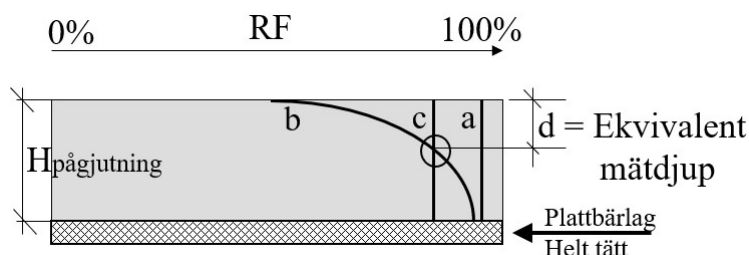
Version:	Datum:	Gäller från:	Utförd av:	Sign. Revisionsledare RBK	Flik:	Sida:
7	2023-02-28	2023-03-01	Ted Rapp		2	6(32)

I mätrapporten ska både plattbärlagets höjd/tjocklek och pågjutningens anges. 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.



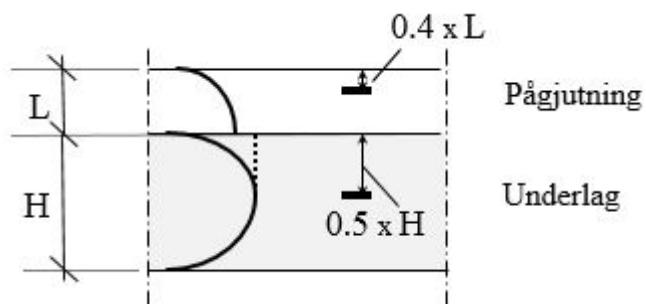
Figur 2.6 Ekvivalent mätdjup, d , är $0,25 \times H$ när plattbärlagets vct är lägre än pågjutningens. Kurva b är fuktprofil under uttorkning och kurva c fuktprofil efter golvläggning och fuktutjämning.

Om plattbärlaget antas vara helt tätt erhålls samma fuktprofil och mätdjup som vid enkelsidig uttorkning, se *Figur 2.7*. Notera att höjden, H , i detta fall enbart avser pågjutningen vid bestämning av ekvivalent mätdjup, 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 mätdjup som närmar sig det i *Figur 2.7* ingen omöjlighet.



Figur 2.7 Ekvivalent mätdjup, d , är $0,4 \times H_{\text{pågjutning}}$ om plattbärlaget förutsätts vara helt tätt. H är i detta fall inte den totala bjälklagshöjden utan avser själva pågjutningen.

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 tex vct, aktuell fuktprofil, RF och ålder avseende plattbärlag eller befintligt bjälklag. Detta i kombination med vct, aktuell 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.

Version:	Datum:	Gäller från:	Utförd av:	Sign. Revisionsledare RBK	Flik:	Sida:
7	2023-02-28	2023-03-01	Ted Rapp		2	7(32)

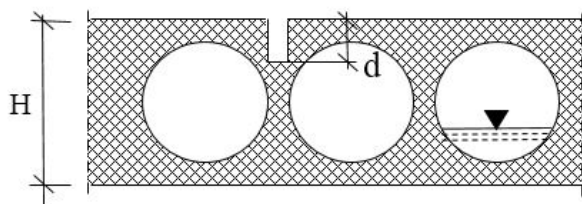
Mätning utförs i två punkter med mätdjupet enligt *Figur 2.8*. Ytskiktets gränsvärde avseende högsta tillåtna RF ska understigas i båda mätpunkterna innan det kan appliceras. Att hantera mätdjupet enligt *Figur 2.8* kan medföra längre uttorkningstid än vad som egentligen skulle behövas. Det kan därför löna sig att låta utföra en beräkning av mätdjupet för det aktuella fallet. Detta ska i så fall 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.

2.3.2 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 2.12* anges tex 320+100 i rutan för betongtjocklek i montageprotokollet. Även respektive vct ska framgå. Alternativt kan kommentarsfältet i protokollet användas.

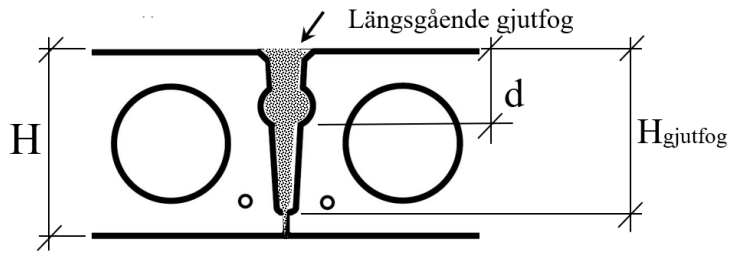


Figur 2.9 Mätdjup, d, i håldäckselement. H är håldäckets höjd.

Fritt vatten kan förekomma i håldäckselementets kanaler utan att detta 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. Detta även om mätpunkten skulle flyttas åt höger bredvid kanalen med vatten i. 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 finnas vatten kvar.

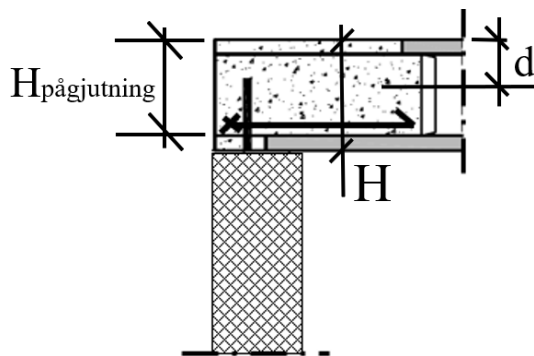
För att håldäckselementen ska bilda ett bjälklag så måste de gjas ihop till en enhet. Efter montage på byggarbetsplatsen utförs en foggjutning utmed elementens långsidor. Vid upplagen utmed elementens kortsidor gjas de ihop med upplagen, eller varandra, efter att erforderlig armering och infästning har utförts. Vid mätning i dessa punkter ska ett mätdjup på 40% av höjden avseende den platsgjutna betongen användas vilket illustreras i *Figur 2.10* och *2.11*.

Version:	Datum:	Gäller från:	Utfärdad av:	Sign. Revisionsledare RBK	Flik:	Sida:
7	2023-02-28	2023-03-01	Ted Rapp		2	8(32)



Figur 2.10 Mät djup, d , i en längsgående gjutfog mellan två håldäckselement. H är håldäckets höjd.

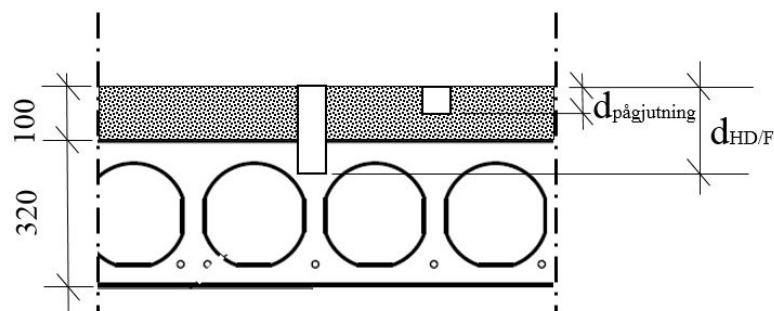
Mät djup i längsgående gjutfog $d = 0,4 \times H_{\text{gjutfog}}$
 Mät djup i pågjutning vid bjälklagsände $d = 0,4 \times H_{\text{pågjutning}}$



Figur 2.11 Mät djup, d , 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 mät djupet $0,2 \times H$. Det förutsätter att uttorkningen är dubbelsidig och H avser elementets respektive igjutningens höjd.

Som ett exempel avseende pågjutna håldäcksbjälklag visas i *Figur 2.12* ett mellanbjälklag uppbyggt av håldäckselement pågjutna med överbetong. HD/F-elementen har tjockleken 320 mm och pågjutningen är 100 mm.



Figur 2.12 Två mätpunkter placerade i ett mellanbjälklag bestående av pågjutna håldäckselement, HD/F-element.

Ett förslag till hur fuktkontrollen skulle kunna utföras är att använda mät djupet 40 mm i pågjutningen, $d_{\text{pågjutning}}$, och 64 mm i HD/F-elementet, dvs 164 mm från över yta 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. Mät djupet i pågjutningen blir i så fall 40% av pågjutningens höjd. Mätning i HD/F-elementet utförs mitt mellan hållkanalerna på 20% av

Version:	Datum:	Gäller från:	Utfärdad av:	Sign. Revisionsledare RBK	Flik:	Sida:
7	2023-02-28	2023-03-01	Ted Rapp		2	9(32)

håldäckets höjd. Om högsta tillåtna RF är 85% för ett ytskikt som ska placeras ovanpå pågjutningen så får denna RF, inklusive mätosäkerhet, inte överskridas i någon av 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 i stället 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. För mer information om fuktrisker i håldäcksbjälklag se /20/.

2.4 Annan verifiering av uttorkning i golvsystem

Ekvivalent mätdjup för fuktmätning i betongplattor baseras på beräkningar gjorda av Nilsson (1979) /17/. I många fall kan det finnas skäl att frångå denna förenkling. Skälen kan tex vara:

- Mer komplex konstruktion, tex två eller flera olika material
- Material med andra egenskaper än gammal betong, tex modern tät betong eller golvavjämning
- Hänsyn ska tas till inverkan av limfukt

Det finns idag beräkningsverktyg med vilka det går att räkna mer detaljerat på fuktomfördelning och ekvivalent mätdjup eller andra placeringar av mätpunkter för relativ fuktighet. 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. Förutsatt att tillräcklig kunskap, lämpligt beräkningsverktyg och aktuella indata finns tillgängligt kan en beräkning av fuktomfördelningen efter applicering av ytskikt utföras. Syftet med en sådan beräkning är att säkerställa att det högsta tillåtna fukttillstånd inte överskrids i golvsystemets del som är i kontakt med ytskikt och lim. Verifieringen av uttorkning kan i ett sådant fall ske genom kontroll av fukttillstånd i en eller flera mätpunkter med krav på RF-nivå som baserar sig på beräkningen i fråga. För vidare information kring hur en sådan beräkning kan utföras hänvisas tex till SBUF 13701 Praktiska vägledningar för säkrare uttorkningstider hos betongbjälklag /31/ Bilaga 9: Vägledning förfuktomfördelningsberäkningar i betonggolvs konstruktioner.

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 högsta tillåtna fukttillstånd inte ska överskridas.

2.5 Andra syften för mätning av RF i golvsystem

Det kan även finnas andra anledningar till att mätning av RF i golvsystem ska utföras tex:

- Tidig kontroll av hur uttorkning fortskrider
- Bestämmande av fukttillstånd i ett golvmaterial eller fuktprofil i golvsystemet

I dessa fall ska en tydlig instruktion ges till kontrollanten som ska utföra mätningen, innan den påbörjas. Det ska framgå var mätning ska utföras, på vilket djup, antal mätpunkter som behövs och att mätningen inte syftar till verifiering av uttorkning dvs att inget maximalt tillåtet fukttillstånd ska kontrolleras.

Version:	Datum:	Gäller från:	Utfärdad av:	Sign. Revisionsledare RBK	Flik:	Sida:
7	2023-02-28	2023-03-01	Ted Rapp		2	10(32)

2.6 Borrhålsmätning

Vid en borrhålsmätning borrar ett hål i betongen som därefter fodras med ett mätrör för att mätning ska ske på ett väldefinierat mätdjup. En tid efter utförd borrning monteras en RF-givare i mät hålet, se *Figur 2.1*. Givare av fabrikatet HumiGuard monteras dock i samband med borrningen. Givaren ska sitta monterad i mät hålet till det att fuktjämvikt, och temperaturjämvikt, råder mellan botten på mät hålet och givaren. Först då får avläsning utföras. Efter att mätningen slutförts är borrhålet förbrukat. Ett nytt mät hål måste borrar inför nästa mätning.

2.6.1 Borrning av mät hål

Borrningen ska utföras med ett borrstål som har en diameter anpassad till vald mätmetod. Hålet borrar 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 borrar. För att minska risken för mät fel får ett nytt mät hål inte placeras för nära det tidigare.

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

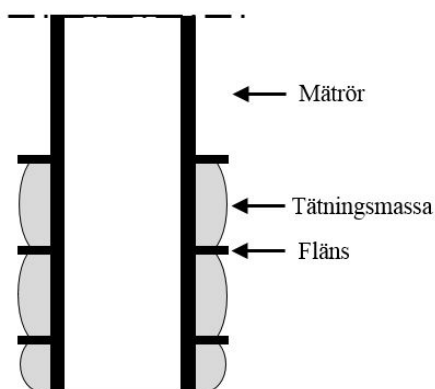
Det gamla borrhålet får i detta fall inte lämnas öppet utan måste tätas med ett mätrör som försluts med tillhörande tätningsplugg. Tätningsmassa ska appliceras mellan mätröret och betongytan.

Efter borrningen måste hålet dammsugas ur så att allt borrhax avlägsnas. Finns det borrhax kvar i mät hålet kan ett felaktigt RF-värde erhållas. En borste ska användas för att rensa mät hålet 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 mät hål borrar.

Borrhålet fodras därefter med ett plaströr med syfte att säkerställa att fuktavgången från betongen till mätpunkten sker från botten av mät hålet 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*.

För givare av fabrikatet Vaisala och Testo används ett annat mätrör med tre plastflänsar i kombination med tätningsmassa, se *Figur 2.13*.



Figur 2.13 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:
7	2023-02-28	2023-03-01	Ted Rapp		2	11(32)

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 i botten av borrhålet efter att röret monterats. Den tätningssmassa som används ska vara av det fabrikat 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.

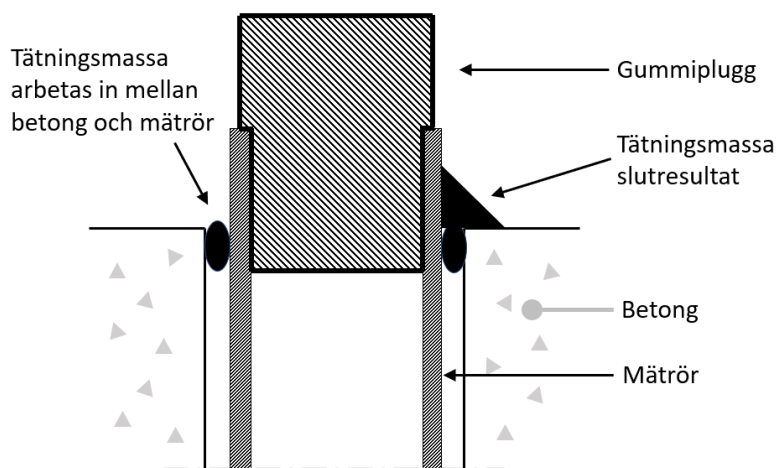
Därefter monteras röret i borrhålet genom att trycka, vrida eller försiktigt slå ner röret till det når botten av borrhålet. Vid montage av mätröret i *Figur 2.13* kan tex ett montagedon användas för att med handkraft trycka ner röret. Det är ofta mycket trögt i början men på slutet går det vanligen 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 dammsugas 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 tätningsplugg.

Därefter ska en tätning mellan mätröret och betongytan utföras med tätningssmassa. Se *Figur 2.14*. 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 2.14*.

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 av temperaturvariation och luftens RF i omgivningen.



Figur 2.14 Tätning mellan mätrör och betongyta.

Version:	Datum:	Gäller från:	Utfärdad av:	Sign. Revisionsledare RBK	Flik:	Sida:
7	2023-02-28	2023-03-01	Ted Rapp		2	12(32)

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 borras 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.

Rutin för borrning av mätthål återfinns under *Flik 6*.

2.7 Uttaget prov

Vid fuktmätning på uttaget prov avlägsnas en bit av det material som önskas undersökas och placeras i en provbehållare. Själva mätningen utförs normalt på annan plats än provtagningsplatsen/byggarbetsplatsen under kontrollerade förhållanden, främst avseende temperatur. Det finns flertalet olika metoder för uttaget prov beroende av vilket material som provtagningen utförs i samt vilken storhet som ska bestämmas tex relativ fuktighet, fuktkvot, kapillär mätnad mm. I detta avsnitt beskrivs övergripande principen för metoden RF-mätning på uttaget prov av golvavjämning och betong.

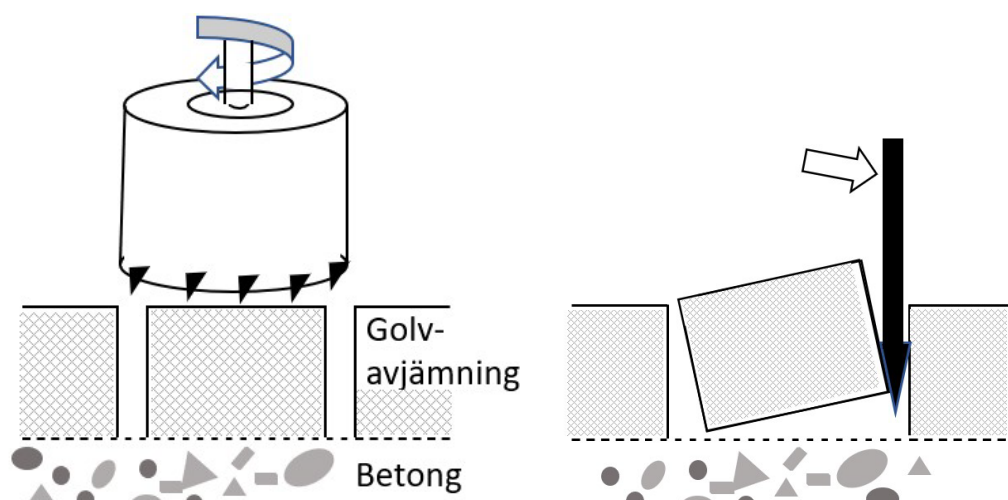
2.7.1 Uttaget prov i golvavjämning

Vid fuktmätning i golvavjämning så ska mätmetoden RF-mätning på uttaget prov beskriven i denna manual användas. Till skillnad från mätning i betong där mätning utförs på ett specifikt mätdjup så tas ett prov genom hela avjämningsskiktets tjocklek. Borrning sker med en hammarborrkrona ner till underlaget varvid en borrhärna knäcks loss med en mejsel. Det uttagna provet krossas och placeras omedelbart i en provbehållare. RF-bestämningen utförs därefter i laboriemiljö, ett lab där temperaturen kan regleras inom angivna toleranser. Med lab, vilket används som benämning i denna manual, avses en lokal med ett utrymme där temperaturvariationen över tid kan begränsas till någon tiondels grad Celsius. Det är även en fördel om temperaturen är nära 20,0°C men kravet är att den inte får understiga 15,0°C eller överstiga 25,0°C.

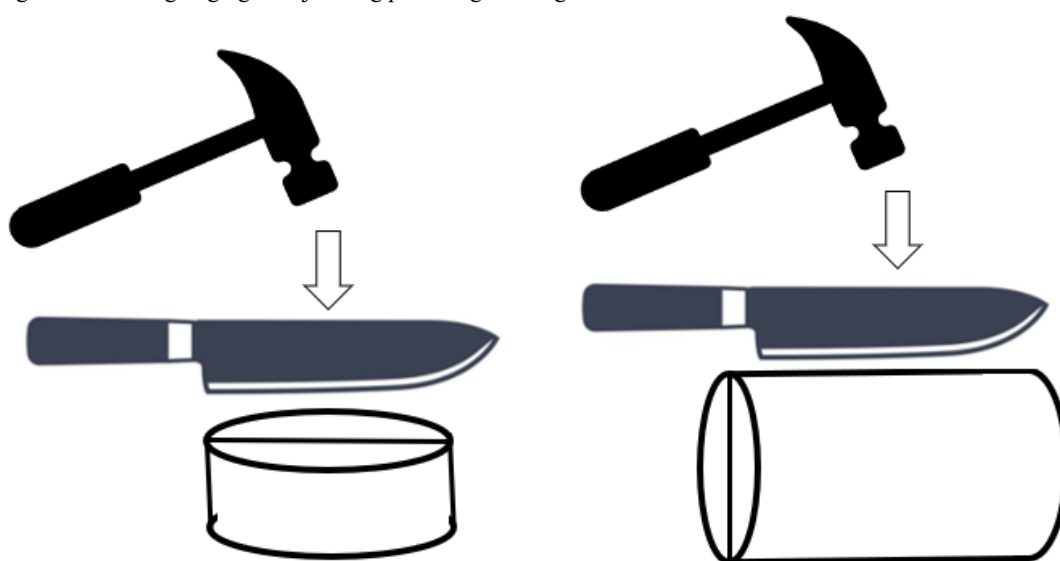
Syftet med mätningen är att uppskatta den maximala fuktbelastningen som lim och/eller ytskikt kan utsättas för efter fuktomfördelning i golvavjämningen. Helt avgörande för fuktinnehållet är avjämningens tjocklek. Tjockleken kan variera efter att en golvavjämning tex har gjutits på en bottenplatta. Det är därför väsentligt att känna till var avjämningen kan förväntas vara tjockast vid val av mätpunkternas placering.

I SBUF-projekt 11791, Metoder för fuktmätning i avjämningssmassor /32/, testades ett antal olika mätmetoder. En av slutsatserna var att den bäst lämpade metoden för detta ändamål är att en borrhärna tas ut över hela golvavjämningens tjocklek ner till underlaget. Vid vidareutveckling av metoden i SBUF-projekt 13754, RBK-metod för RF-mätning i golvavjämning /33/, fastställdes att krossning av provet bör utföras på provtagningsplatsen och RF-bestämningen på ett så kallat lab.

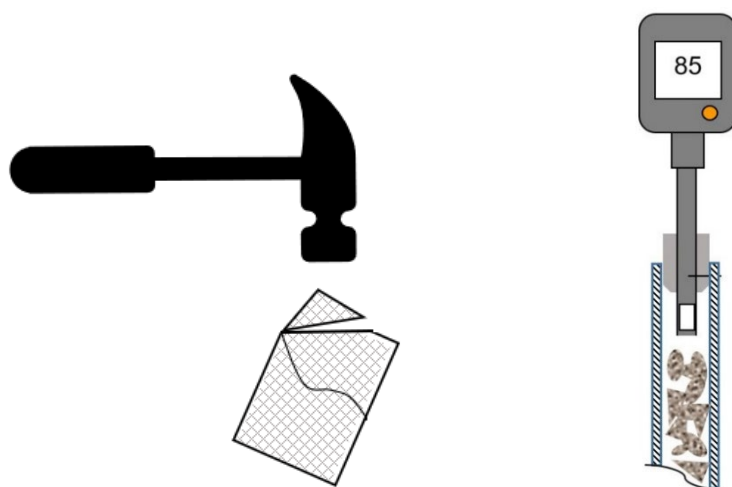
Version:	Datum:	Gäller från:	Utfärdad av:	Sign. Revisionsledare RBK	Flik:	Sida:
7	2023-02-28	2023-03-01	Ted Rapp		2	13(32)



Figur 2.15 Provtagning i golvavjämning på betongunderlag.



Figur 2.16 Klyvning av borrkärna.



Figur 2.17 Krossning och RF-bestämning på uttaget prov av golvavjämning.

Version:	Datum:	Gäller från:	Utfärdad av:	Sign. Revisionsledare RBK	Flik:	Sida:
7	2023-02-28	2023-03-01	Ted Rapp		2	14(32)

För att få ut tillräckligt med material vid tunna skikt kan flera borrhäror behövas. Alternativt kan en större dimension på borrhära användas. Vid tjocka skikt är det lämpligt att rotera bormaskinen något under borrhäringen. Detta för att undvika att borrhäran fastnar. Om avjämnningen ligger med vidhäftning mot ett betongunderlag används lämpligen slag på bormaskinen till det att det är någon centimeter kvar ner till betongytan. Om borrhäring därefter sker utan slag så är det enklare att känna, och höra, när borrhäran når betongytan där borrhäringen ska avslutas.

Vid tjocka skikt av golvvälvning kan borrhäran behöva klyvas för att minska mängden material så att det får plats i provbehållaren. Kärnan kan klyvas i hälften eller fjärdedelar. Det är då viktigt att en representativ mängd material erhålls över hela tvärsnittet dvs lika mycket material från toppen av borrhäran som från botten. Detta beskrivs ytterligare i provtagningsrutinen under *Flik 7*.

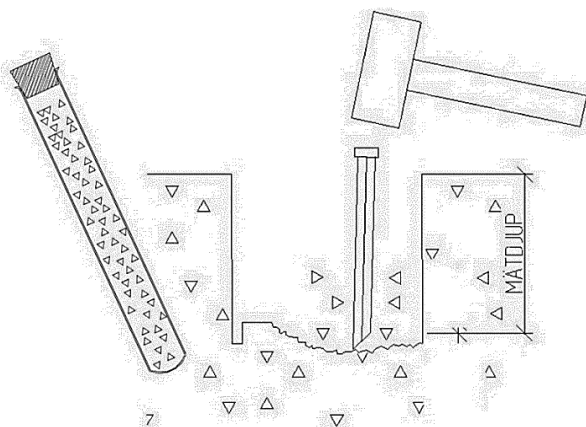
2.7.2 Uttaget prov i betong

En mätmetod som inte används längre vid RBK-mätningar är RF-bestämning på uttaget prov i betong. Vid denna mätning kan en hammarborrhära användas för att borra ner till det djup där provtagningen ska påbörjas. Den ovanförliggande betongen avlägsnas och kasseras och provet tas därefter på ett måtdjup, motsvarande borrhålsmätning. På detta djup bilas betongbitar ut och placeras i en provbehållare tex ett provrör. Provröret försluts omedelbart för att transporteras till ett laboratorium för RF-bestämning.

Det har visat sig att denna mätmetod inte lämpar sig för RF-mätning i den betong som används idag dvs betong med lågt vct och/eller betong med olika tillsatsmaterial. Vid själva provtagningen finns risk att fukt avgår vilket kan ge betydande mätfel. 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 borrhäringen
- Andelen ballast hos betongen samt ballastens storlek

Detta medför ett resultat som underskattar betongens RF. /28/ Av denna anledning rekommenderas inte mätmetoden för RF-mätning i betong och ingår således inte i denna fuktmättningsmanual avseende RBK-mätningar.



Figur 2.18 Uttaget prov i betong för RF-bestämning i lab.

Version:	Datum:	Gäller från:	Utförd av:	Sign. Revisionsledare RBK	Flik:	Sida:
7	2023-02-28	2023-03-01	Ted Rapp		2	15(32)

2.8 Givare för RF-mätning

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

2.8.1 HumiGuard

HumiGuard används enbart vid borrhålmätning i betong. Den 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 föredatum 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 vid borrhålmätning i betong. Detta beroende av vilken längd på mätrör och monteringsdon som används. Det längre mätröret gör metoden lämplig för mätning i konstruktioner där mätdjupet är stort.

Givaren monteras i samband med att borringen av mät hålet utförs.

När givare och betong kommit i fukt- och temperaturjämvikt så kan avläsning utföras.

Avläsning får tidigast utföras sex dygn efter givarmontage och ska som regel 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 i väg på 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 i fråga) 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 mätmetoden HumiGuard finns under *Flik 12*.

2.8.2 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 ska kalibreras tillsammans med avläsningsinstrumentet. Alternativt kan en referensprobe användas. Se *avsnitt 2.9*. Efter kalibreringen måste fortlöpande egenkontroller utföras av användaren. Givaren kan användas både för mätning i betong och golvavjämning. RF-bestämning på uttaget prov av golvavjämning beskrivs under *Flik 8*.

Vid mätning i betong monteras givaren 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

Version:	Datum:	Gäller från:	Utfärdad av:	Sign. Revisionsledare RBK	Flik:	Sida:
7	2023-02-28	2023-03-01	Ted Rapp		2	16(32)

avläsningsinstrumentet. Betongens temperatur kan tex 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 ska som regel inte utföras senare än tio dygn efter att mät hålet borrar. Det avläsningsinstrument som givaren kalibrerats ihop med ska användas. Alternativt används en referensprobe. 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 90 mm respektive 170 mm.

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

Rutinbeskrivningen för mätning i betong med Vaisala HMP40S finns under *Flik 11*.

2.8.3 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.

Givaren måste kalibreras innan den tas i bruk. Därefter måste fortlöpande egenkontroller utföras av användaren. Givaren kan användas både för mätning i betong och golvavjämning. RF-bestämning på uttaget prov av golvavjämning beskrivs under *Flik 8*.

Vid mätning i betong måste mätröret som används kapas till en längd på maximalt 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 borrar 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 tex 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 ska som regel inte utföras senare än tio dygn efter att mät hålet borrar. 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 mätpunkten.

Givaren används vid mätning i betong enligt mätmetoden Testo 605-H1. Rutinbeskrivningen finns under *Flik 10*.

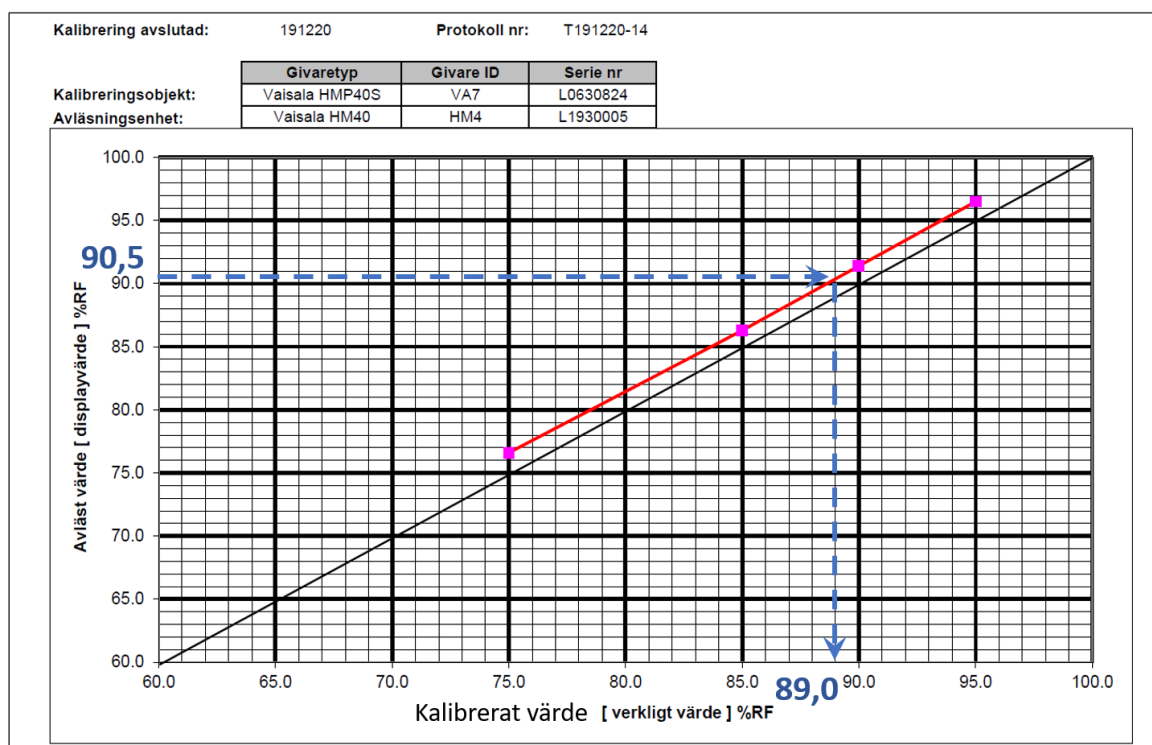
Version:	Datum:	Gäller från:	Utfärdad av:	Sign. Revisionsledare RBK	Flik:	Sida:
7	2023-02-28	2023-03-01	Ted Rapp		2	17(32)

2.9 Kalibrering av givare – kalibreringskurva

Kalibrering är en jämförande mätning vid vilken avläst RF för en givare dokumenteras vid mätning mot en känd RF. Avsikten med en kalibrering är att upprätta en kalibreringskurva som därefter används för att korrigera avläst RF från en fuktmätning till verkligt RF, kalibrerad RF. Avläst värde kan avvika med flera procentenheter från verklig RF utan att givaren för den skull är obrukbar. Däremot måste alltid en givare som ska användas vid RF-mätning vara kalibrerad innan den används. Det är vanligt att avläst värde för en givare över tid ändras för samma RF-nivå. Detta brukar kallas för att givaren driver vilket beskrivs i *avsnitt 2.10*.

Med kalibrering avses i denna manual, kalibrering av RF-givare vid en mätplats där RF är spårbar till ett erkänt institut. Spårbarheten kan tex 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. Denna innehåller en kalibreringskurva med tillhörande dokumentation avseende avlästa värden, kalibreringens mätosäkerhet, spårbarhet och rådande temperatur vid kalibreringen. Kalibreringskurvan gäller som regel enbart den givare i kombination med avläsningsinstrumentet som användes vid kalibreringen. Datum när senaste kalibreringen utförts ska framgå i mätprotokollet för använd givare.

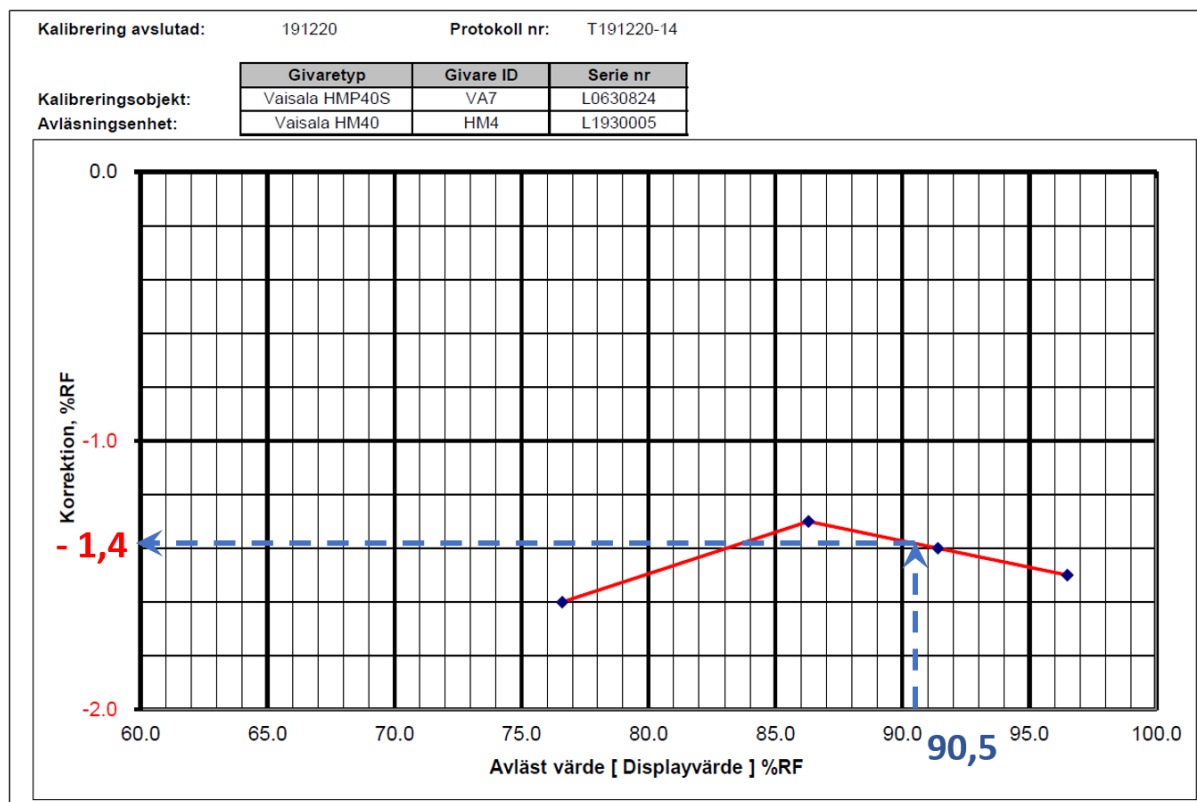
Vid kalibreringen placeras givaren i en känd relativ fuktighet under konstant temperatur. Givarens utslag läses av och markeras som en punkt i ett diagram se *Figur 2.19*. Diagrammet har det avlästa värdet på ena axeln och normalens RF, benämnd verkligt RF eller kalibrerad RF, på den andra axeln. Förfarandet upprepas vid ett antal förutbestämda RF-nivåer. Mellan de punkter som erhålls dras rätta linjer vilket resulterar i givarens kalibreringskurva. Varje givare med tillhörande avläsningsinstrument har sin egen unika kalibreringskurva. Kurvan ska användas för att korrigera avläst värde för att erhålla kalibrerad RF.



Figur 2.19 Exempel på en kalibreringskurva för givare VA7 med tillhörande avläsningsinstrument HM4. Enligt de inritade pilarna i figuren ger avläst RF 90,5% en kalibrerad RF 89,0%.

Version:	Datum:	Gäller från:	Utfärdad av:	Sign. Revisionsledare RBK	Flik:	Sida:
7	2023-02-28	2023-03-01	Ted Rapp		2	18(32)

Ett alternativ till kalibreringskurvan i *Figur 2.19* är att redovisa en korrektionsterm avseende RF i stället för kalibrerat värde. För att erhålla kalibrerat RF summeras korrektionstermen till avläst värde. I *Figur 2.20* visas ett diagram för korrektion för samma givare som i *Figur 2.19*. Detta diagram har en upplösning som medför att det går att läsa av med större precision. Om detta diagram används är det viktigt att ta hänsyn till att korrektionstermen kan vara negativ såväl som positiv. Observera även att avläst värde i detta exempel nu presenteras på den horisontella axeln i diagrammet. Kalibreringsrapporten som erhålls efter genomförd kalibrering innehåller ofta både en kalibreringskurva och en så kallad korrigeringskurva. Vilken av dem som använd för framtagande av kalibrerat RF vid en mätning är valfritt.



Figur 2.20 Exempel på kalibreringskurva för samma givare som i *Figur 2.19* fast som visar korrektion i stället för kalibrerat RF. Avläst RF 90,5% ger i detta fall kalibrerat RF 89,1 %. ($90,5 - 1,4 = 89,1$)

Mätning får endast utföras i det RF-intervall som givarna är kalibrerade för. Vid RF-mätning i betong är det oftast tillräckligt om givarna är kalibrerade i intervallet 75 – 95 % RF. Vid RBK-mätningar ska givarna kalibreras vid RF-nivåerna 75, 85, 90 och 95 %. Mellan dessa kalibreringspunkter dras rätta linjer och kalibreringskurvan får utseendet enligt *Figur 2.19*.

Om mätning ska utföras vid lägre RF än 75% kan kalibreringskurvan kompletteras med ytterligare RF-nivåer. I detta fall ska nivåerna väljas i steg om tio procentenheter, 65%, 55% osv. Detta för att mätosäkerheten avseende icke-linearitet beskriven under *Flik 28* ska gälla. Naturligtvis kan även en RF som överstiger 95% väljas om det är önskvärt. Kalibrering vid högre RF än 95% ligger dock utanför RBK-systemet.

Om avsikten är att en givare ska användas för RF-mätning avseende golvavjämning så är rekommendationen att komplettera med RF-nivån 65% vid kalibreringen. Anledningen är att det förekommer att tex tunnare skikt av golvavjämning torkar till en lägre nivå är 75 % RF. Om ett resultat med specificerad mätosäkerhet ska kunna presenteras så måste mätresultatet ligga inom givarens kalibreringsintervall.

Version:	Datum:	Gäller från:	Utfärdad av:	Sign. Revisionsledare RBK	Flik:	Sida:
7	2023-02-28	2023-03-01	Ted Rapp		2	19(32)

Temperaturen vid vilken givaren kalibreras bör överensstämma med den temperatur som råder i materialet som mätning kommer att utföras vid. Detta för att minska mätosäkerheten. Vid RBK-mätningar som utförs i intervallet 15,0 – 25,0°C ska kalibrering utföras vid 20,0°C.

Givarna ska acklimatiseras till omgivande klimat i det utrymme där kalibreringen ska utföras innan kalibreringen påbörjas. Detta för att komma i temperatur- och fuktjämvikt med omgivningen. Kalibreringen ska utföras i samma ordning som mätningen kommer att ske, dvs från lägsta RF till högsta. Givaren ska således också ha lägre RF än materialet som mätningen ska utföras i inför givarmontage. I annat fall kan hysterès uppstå. Hysterès är ett fel orsakat av att jämnviktsfuktkurvan för uppfuktning och uttorkning är olika, se *Figur 2.28*.

Givare och avläsningsinstrument hör ihop. Elektroniken i avläsningsinstrument kan ge upphov till avvikelser mellan olika instrument varvid kalibrering ska utföras med 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 2.19* gäller således enbart för Vaisalagivaren märkt VA7 i kombination med avläsningsinstrument HM4.

Om det däremot finns en metod för att kontrollera själva avläsningsinstrumentet så möjliggör det att olika avläsningsinstrument ska kunna användas till en och samma RF-givare. Mätinstrument som används avseende mätmetoden HumiGuard kontrolleras tex med en kontrollkonduktans innan avläsning av givarna utförs. Ett valfritt instrument kan således användas förutsatt att kontrollen är godkänd. För kontroll av avläsningsinstrumentet Vaisala HM40 finns möjlighet att använda en referensprobe vilket beskrivs under *Flik 11*.

2.10 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 fortfarande gäller för givaren eller om ny kalibrering behövs

Vid kalibrering av en givare erhålls ett dokument, en kalibreringskurva, som visar sambandet mellan avläst RF 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. 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. Driften får inte ligga utanför RF-intervallet $\pm 1,5$ %-enheter för givare som används vid RBK-mätning.

Version:	Datum:	Gäller från:	Utfärdad av:	Sign. Revisionsledare RBK	Flik:	Sida:
7	2023-02-28	2023-03-01	Ted Rapp		2	20(32)

Egenkontrollen ska utföras vid RF-nivån 85 %. Denna RF-nivå har valts eftersom 85% RF ofta är gällande högsta tillåtna fuktnivå för ytskikt på betong och golvavjämning. 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 29*. Kontrollen ska utföras i temperaturintervallet 15,0 – 25,0°C och med fördel så nära 20,0°C som möjligt. Egenkontroll utförd 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 2.21 Temperatures inverkan på RF avseende en mättad saltlösning med Kaliumklorid, KCl,

Det är viktigt att notera att saltets RF är beroende av temperaturen, se *Figur 2.21*.

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.

En egenkontroll ska även utföras innan givaren skickas på kalibrering och direkt efter att givaren kommer tillbaka 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 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, dess då större skillnad erhålls. Gränsvärdet vid dessa två kontroller är $\pm 1,5$ % RF, dvs samma gränsvärde som för tillåten drift. Om en RF erhålls som 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 givaren sitta kvar över saltlösningen ytterligare minst 12 timmar varefter en ny avläsning utförs. Kvarstår avvikelsen kan kontroll utföras mot en annan saltlösning med samma RF om det finns tillgängligt. Om för stor avvikelse föreligger även vid denna kontroll måste en ny kalibrering utföras innan givaren åter kan tas i bruk.

Version:	Datum:	Gäller från:	Utfärdad av:	Sign. Revisionsledare RBK	Flik:	Sida:
7	2023-02-28	2023-03-01	Ted Rapp		2	21(32)

2.10.1 Mättade saltlösningar

För saltkontroll kan behållare med färdig saltlösning köpas 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 2.22*. De värden som anges med $\pm$ 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 2.22 RF för mättade saltlösningar vid temperaturen 20,0°C.

Givarna ska placeras i täta behållare med mättade saltlösningar. Behållarna ska stå i temperaturstabil klimat och lämpligen vid en temperatur runt 20,0°C.

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

2.10.2 Kontrollintervall

Egenkontroll ska utföras före kalibrering och direkt efter att mätutrustningen 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 borrhålmätningar på byggarbetsplatser. Risken för problem med drift är större om givaren används flitigt i mycket fuktig eller förorenad miljö.

En givare som används vid borrhålmätningar 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.

Version:	Datum:	Gäller från:	Utfärdad av:	Sign. Revisionsledare RBK	Flik:	Sida:
7	2023-02-28	2023-03-01	Ted Rapp		2	22(32)

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 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.

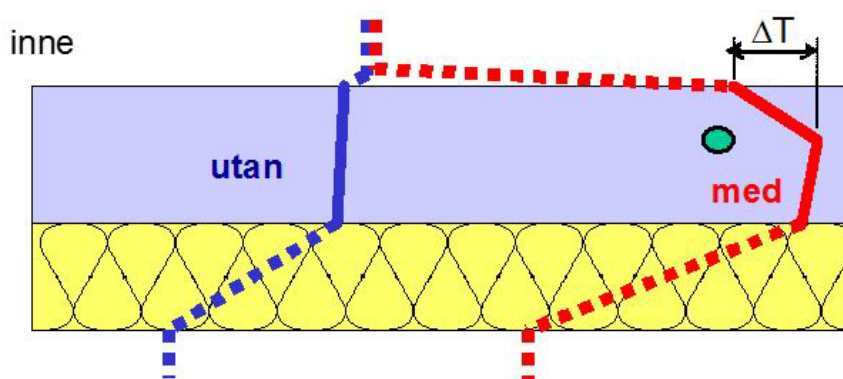
Att utföra en egenkontroll är ett enkelt sätt att försäkra sig om givarens tillförlitlighet och att givarens kalibreringskurva fortfarande är aktuell.

2.11 Fuktmätning i betong 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.

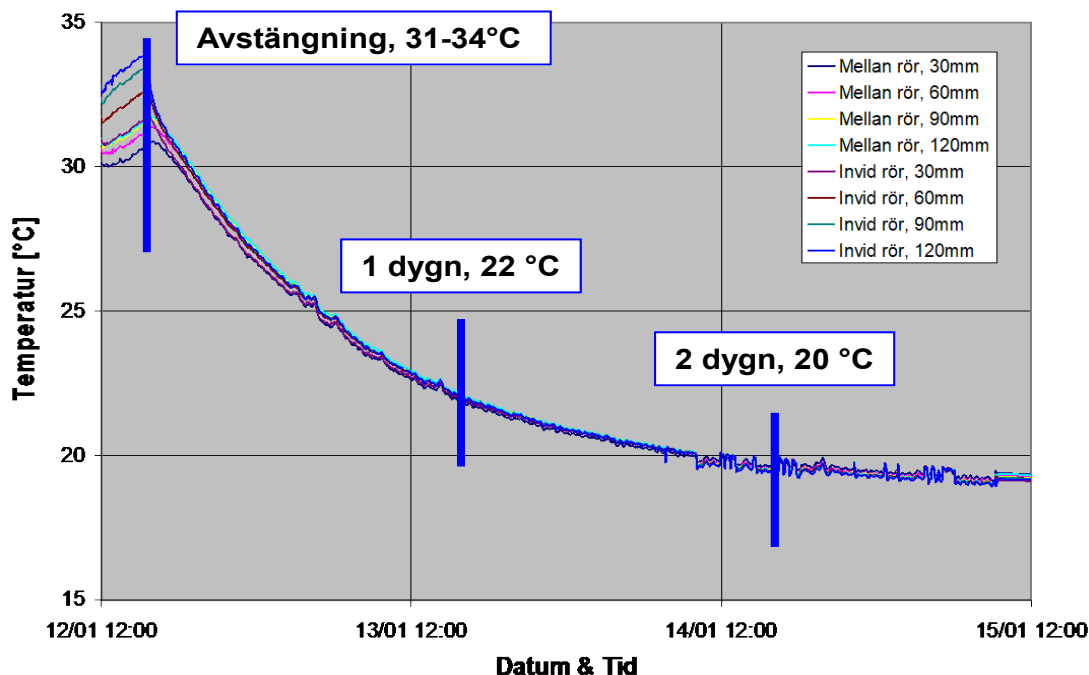
En borrhålsmätning ska inte utföras utan att plattan har kallnat först. Om borrhålsmätning utförs när golvvärmen är på finns stor risk att temperaturgradienter i plattan och temperaturskillnader mellan sensor och betong medför orimliga mätvärden. Temperaturen kan även ge upphov till kondens i mätroret 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 mäthål borraras vid varje mättillfälle även av denna anledning.

Anledningen till att det är problematiskt att mäta RF i betonggolv 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 2.24*.



Figur 2.23 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:
7	2023-02-28	2023-03-01	Ted Rapp		2	23(32)



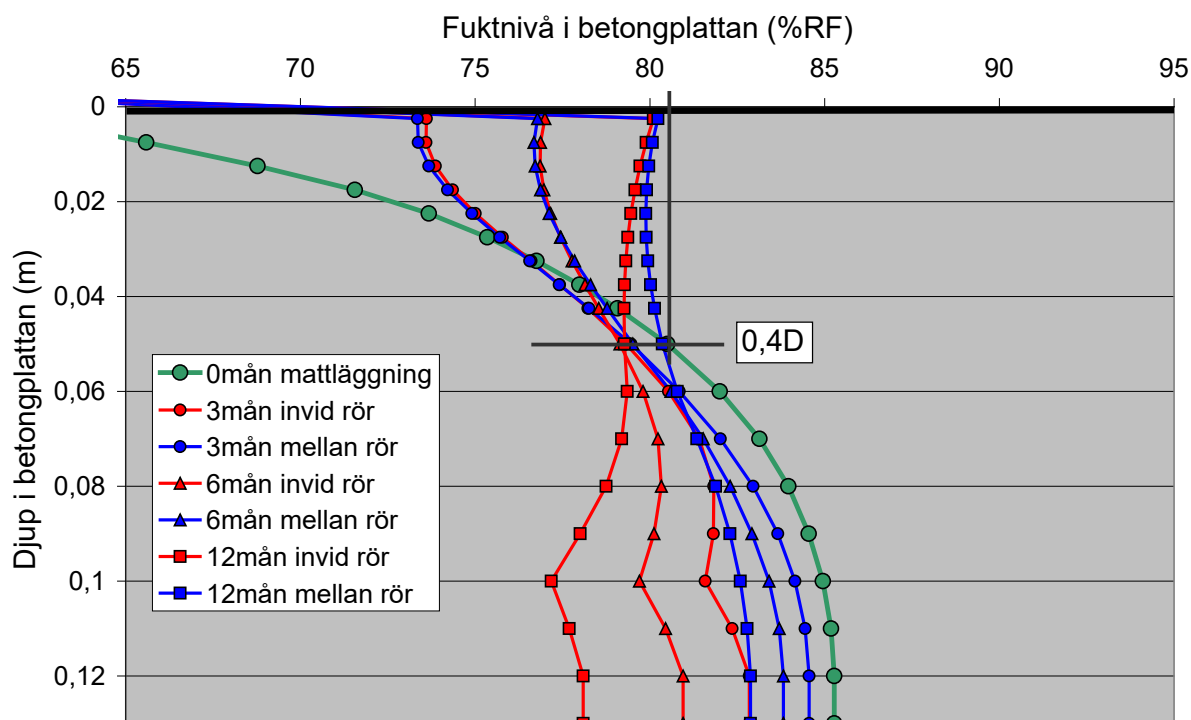
Figur 2.24 Avsvlningsförloppet, i en 120 mm tjock betongplatta på underliggande värmeisolering, efter avstängning av golvvärmen. (Figur 2.5.1 i rapport TVBM-3141, LTH /26/)

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 2.25*.

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 20,0°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 20,0°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. Högsta tillåtna RF, för olika ytskikt, som redovisas i AMA Hus baseras på att temperaturen i underlaget är 20°C. Högsta tillåtna fuktnivå enligt AMA Hus gäller således inte vid högre temperatur än 20°C vilket är fallet vid golvsystem med golvvärme. Det är tillverkarna av avjämningsmassa, lim, och ytskikt som ska ange vilket gränsvärde som gäller för deras produkt för aktuellt golvsystem.

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 20,0°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:
7	2023-02-28	2023-03-01	Ted Rapp		2	24(32)



Figur 2.25 Beräknade RF-profiler, under fuktomfördelning efter mattläggning, avseende en bottenplatta med ingjutna golvvärmerör. (Figur 32a. i rapport TVBM-3140, LTH /25/)

I Figur 2.25 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 betong som har ett vct på 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 mattläggning 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.

2.12 Mätosäkerhet vid fuktmätning i betong och golvavjämning

Vid RF-mätning i betong och golvavjämning 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 i procent RF. 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.

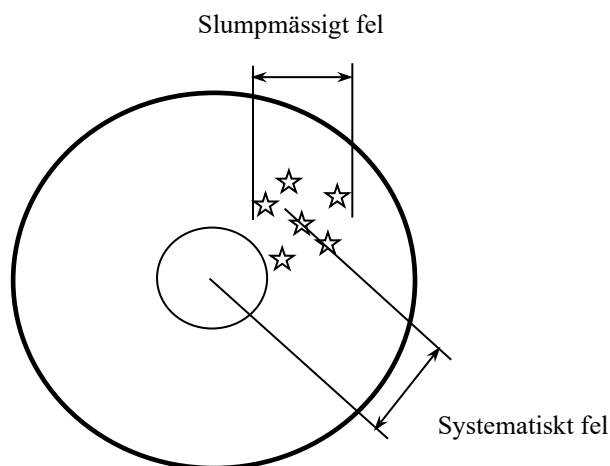
Vid RF-mätning, enligt denna manual, ska den totala mätosäkerheten högst uppgå till ca $\pm 3 \% \text{ RF}$. En mätosäkerhet som ligger utanför detta intervall bedöms ge ett mätresultat med för dålig skärpa. Dvs för dålig skärpa för att avgöra om betongen och/eller golvavjämningen är tillräckligt torr för att beläggas med ett ytskikt.

Version:	Datum:	Gäller från:	Utfärdad av:	Sign. Revisionsledare RBK	Flik:	Sida:
7	2023-02-28	2023-03-01	Ted Rapp		2	25(32)

Mätosäkerheten ska adderas till uppmätt värde innan jämförelse görs med högsta tillåtna fuktnivå för respektive material. Det innebär att om högsta tillåtna fuktnivå är 90,0 % RF och osäkerheten är bestämd till $\pm 2,5$ % RF ska uppmätt RF, korrigerad för temperatur och fuktkapacitet, som högst vara 87,5 %. Detta för att säkerställa att RF i betongen och/eller golvavjämningen inte överstiger 90,0 %.

I skriften "Uttorkning av byggfukt i betong" /1/ beskrivs kalibreringsfel och mätfel vid fuktmätning. Skriften ligger även till grund för rapporten "Mätosäkerhet vid fuktmätning i betong med kapacitiva fuktgivare" /15/. 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 2.26*. Systematiska fel återkommer vid varje mätning medan slumpmässiga fel utgörs av oförutsägbara variationer mellan mätvärdena.



Figur 2.26 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. Detta 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. Grova fel undviks genom att följa de anvisningar som anges i respektive mätmetods rutinbeskrivning. Även en rimlighetsbedömning av mätresultatet är ett steg i att lokalisera och undvika grova fel.

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.

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 28*.

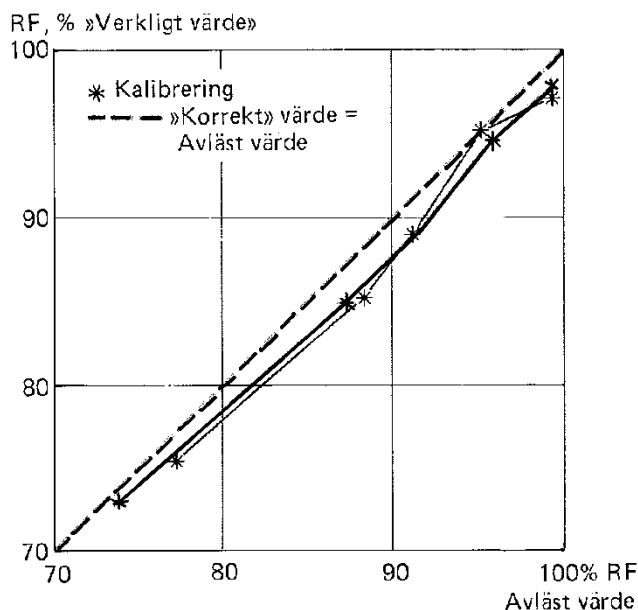
Version:	Datum:	Gäller från:	Utfärdad av:	Sign. Revisionsledare RBK	Flik:	Sida:
7	2023-02-28	2023-03-01	Ted Rapp		2	26(32)

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 bestämda 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. Därmed reduceras en del av de slumpmässiga faktorerna. De systematiska faktorerna reduceras inte genom mätningar i flera mätpunkter.

2.12.1 Exempel på systematiska och slumpmässiga faktorer

Ickelinearitet hos givare är en systematisk faktor som 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. Kalibreringskurvan används därefter för att korrigera avlästa värden efter mätning. Kurvan upprättas genom att dra räta linjer mellan kalibreringspunkterna. Men även detta är en uppskattning med ett litet fel. Om kalibreringen i *Figur 2.27* 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 även vid RF-nivån 70 % RF.

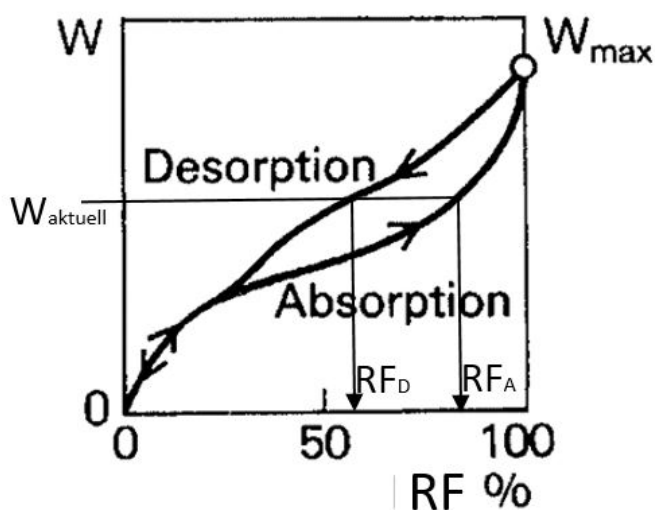


Figur 2.27 Exempel på icckelinearitet hos två olika RF-givare /1/.

Version:	Datum:	Gäller från:	Utfärdad av:	Sign. Revisionsledare RBK	Flik:	Sida:
7	2023-02-28	2023-03-01	Ted Rapp		2	27(32)

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, och torkar ut. 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 betraktas som ett grovt fel som ska undvikas.

Hysteres förekommer även för olika material dvs jämviktskurvorna för materialet är olika vid uppfuktning, absorption, och uttorkning, desorption. Se *Figur 2.28*.



Figur 2.28 Principiellt förlopp avseende absorption och desorption för ett material / 7/.

I figuren visas att stor skillnad i RF erhålls vid en och samma fukthalt, W_{aktuell} , beroende på om materialet är under uppfuktning, absorption, eller uttorkning, desorption. Det behövs betydligt lägre RF för att torka ut ett material till samma fukthalt än när materialet fuktas upp.

Temperaturvariationer under mätning måste reduceras till ett minimum. Mätosäkerhet orsakad av denna faktor vid mätning i betong kan reduceras genom att välja lämplig placering för borrhål, placera en skyddskon eller skyddsburk över givaren och anpassa mätperioden efter aktiviteten på bygget. RF-bestämning på uttaget prov i golvavjämning utförs inte på den plats där proverna tas ut. Mätningen utförs på en plats där temperaturvariationen kan reduceras till ett minimum, vanligen några tiondels grader under hela mätperioden. Temperaturvariationen under mätningen är ett slumpmässigt fel som medför ett bidrag till beräkningen av den utvidgade mätosäkerheten.

Fuktmätning utförd vid annan temperatur än i bruksskedet är en systematisk faktor som det går att korrigera för. Högsta tillåtna fuktnivå som anges för fuktkänsliga ytskikt gäller vanligtvis vid temperaturen $20,0^{\circ}\text{C}$. Av denna anledning korrigeras den RF som uppmäts vid annan temperatur enligt *avsnitt 28.1.1* till RF vid $20,0^{\circ}\text{C}$, vilket ska redovisas i protokollet. För mätning i betong används kurvorna i *Figur 28.1*. Om temperaturen är lägre än $20,0^{\circ}\text{C}$ 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 28.1*. Denna osäkerhet ska tas med när den utvidgade mätosäkerheten beräknas.

Version:	Datum:	Gäller från:	Utfärdad av:	Sign. Revisionsledare RBK	Flik:	Sida:
7	2023-02-28	2023-03-01	Ted Rapp		2	28(32)

Fuktkapacitet hos RF-givaren bidrar till mätosäkerheten vid mätning och kan variera för olika givartyper och material. En viss mängd av fukten i materialet 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 mätområdet. 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 tex när mätning utförs i ett mellanbjälklag där undersidan är betydligt kallare än översidan.

2.13 Prognos avseende uttorkningstid

För att kunna planera ett projekt tidsmässigt bör en prognos av torktiden utföras. Uttorkningstiden beror bland annat på val av konstruktionsutformning, ytskikt, betongsammansättning, golvavjämnings sammansättning, gjutförhållande, torkinsats, och tidpunkt för applicering av ytskikt. Utförs denna prognos i tidigt skede finns möjlighet att korrigera tidsplanen, byta konstruktionslösning eller ytskikt. Detta för att möjliggöra att betong och/eller avjämnning ska hinna torka inom den tid som finns till förfogande. Utan en prognos finns risk att ett olämpligt val av konstruktionslösning eller produktionsmetod senare visar sig medföra att torktiden är otillräcklig. Uttorkning av betong och golvavjämnning 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 att använda 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.

Några faktorer som påverkar uttorkningstiden är:

- Cementtyp
- Cementmängd
- Betongens vct
- Tillsatsmaterial
- Ballastens sammansättning
- Temperaturen i betongen vid gjutningen och de efterföljande dagarna
- Fukthärdning av betongen
- Temperatur och RF i luften från gjutning av betongen innan byggnaden är tät
- Hur fort efter gjutning som uttorkningen påbörjas, dvs när byggnaden är tät så att ingen mer fukt tillförs och ett torkklimat kan skapas
- Typ och fabrikat av golvavjämnning
- Om golvavjämnningen gjuts i ett eller två skikt
- Konstruktionens/materialets tjocklek
- Om uttorkningen är enkel- eller dubbelsidig
- Temperatur och RF i luften under uttorkningen
- Om betongen eller golvavjämnningen återuppfuktas under uttorkningen
- Fukt i underliggande material, om sådant finns

Version:	Datum:	Gäller från:	Utfärdad av:	Sign. Revisionsledare RBK	Flik:	Sida:
7	2023-02-28	2023-03-01	Ted Rapp		2	29(32)

Ett prognosverktyg för uttorkning av en betongkonstruktion, inklusive golvavjämning, är Produktionsplanering Betong, PPB. PPB kan laddas ner kostnadsfritt på Byggföretagens webbplats <https://byggforetagen.se/ladda-ner-ppb/>

Programmet PPB, vars fuktmodul lanserades 2018, kan simulera uttorkning av betong med Cementas Bascement från 2017. Detta cement innehöll ca 14,4% flygaska. Simuleringar kan utföras för betong med ett vct mellan 0,32 och 0,55. Uttorkningstider kan beräknas för bjälklag på konventionell eller kvarsittande form och för platta på mark med eller utan isolering. Det går även att simulera pågjutning av golvavjämning i ett eller två skikt med efterföljande uttorkning. Ett ytskikt kan appliceras på ytan varefter fuktfördelningen i hela konstruktionen över tid presenteras tex i diagramform eller som animerade färgkartor. Programmet tar hänsyn till:

- Självuttorkning
- Diffusionsuttorkning
- Fuktomfördelning
- Insugning av fukt 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.

Det finns leverantörer av betong och golvavjämning som har egenutvecklade prognosverktyg. De kan vara behjälpliga med torkprognoser avseende sina egna produkter.

Ett äldre prognosverktyg är TorkaS. Programmet 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 i stället 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. Beräknad RF för ett angivet datum med TorkaS ska korrigeras, manuellt, om betongens vct är lägre än 0,55.

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 betong och golvavjämning innefattar nu gällande krav innan läggning av ytskikt påbörjas.

Version:	Datum:	Gäller från:	Utfärdad av:	Sign. Revisionsledare RBK	Flik:	Sida:
7	2023-02-28	2023-03-01	Ted Rapp		2	30(32)

2.14 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 materialet tål utan att det riskerar att fuktskadas

högsta tillåtna fuktnivå

kritisk RF plus säkerhetsmarginal

målvärde

den RF som betong eller golvavjämning ska torkas till, kan men behöver inte vara högsta tillåtna fuktnivå

hygroskopisk sorptionskurva

när den relativa luftfuktigheten överstiger ett visst värde tar ett hygroskopiskt material upp vatten från luften. En sorptionskurva visar sambandet mellan fukthalt, eller fuktkvot, i ett hygroskopiskt 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 ett material fuktas upp eller torkas ut. Detta kallas hysteres. Innebörden av detta är att ett material kommer att innehålla olika mängd fukt vid samma RF beroende på om materialet är under uppfuktning eller uttorkning, se *Figur 2.28*.

Även för en RF-givare förekommer hysteres. För samma RF kommer RF-givaren visa olika beroende på om givaren är under uppfuktning eller uttorkning.

vattencementtal – vct

$vct = \text{vatten} / \text{cement}$ (vatten och cement i kg/m^3 betong)

vattenbindemedeltal – vbt

$vbt = \text{vatten} / (\text{cement} + \text{tillsatsmaterial})$

(vatten, cement och tillsatsmaterial i kg/m^3 betong)

ekvivalent vattencementtal – vct_{ekv}

$vct_{ekv} = \text{vatten} / (\text{cement} + k \times \text{tillsatsmaterial})$

Version:	Datum:	Gäller från:	Utfärdad av:	Sign. Revisionsledare RBK	Flik:	Sida:
7	2023-02-28	2023-03-01	Ted Rapp		2	31(32)

effektivitetsfaktor, k

används för att beskriva ett tillsatsmaterials effekt på hållfastheten. Den anger hur stor del av tillsatsmaterialet som kan ersätta cementet som bindemedel.

ekvivalent mätdjup

under uttorkning av betongen motsvarar RF på detta djup den RF som maximalt kommer att erhållas under ett ytskikt efter att det är applicerat på betongytan. Detta är en förenklad betraktelse som förutsätter att ytskiktet är helt tätt och att en fullständig omfördelning av fukten har inträtt.

kalibrering

kalibrering är en jämförande mätning vid vilken avläst RF för en givare dokumenteras vid mätning mot en känd RF. Avsikten med en kalibrering är att upprätta en kalibreringskurva som därefter används för att korrigera avläst RF från en fuktmätning till verkligt RF, kalibrerad RF. Kalibreringen ska alltid 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. Kontrollen utförs mot en mättad saltlösning med känd RF. Egenkontroller utförs fortlöpande och resultatet används som underlag för att bedöma när ny kalibrering behöver utföras. En egenkontroll utförs även innan och efter det att givaren skickats för kalibrering. Syftet är då att kontrollera att inget hänt med givare under transporten till och från den plats där kalibreringen utförs.

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 överensstämma med verklig RF, kalibrerad RF.

RBK-mätning

är en mätning utförd och dokumenterad enligt gällande version av "Fuktmätningssmanual – Betong & Golvavjämning". Samtliga moment ska vara utförda av en RBK-auktoriserad fuktkontrollant och mätningen, projektet, ska vara registrerat på webbplatsen www.rbk.nu.

Version:	Datum:	Gäller från:	Utfärdad av:	Sign. Revisionsledare RBK	Flik:	Sida:
7	2023-02-28	2023-03-01	Ted Rapp		2	32(32)