


## INNEHÅLL FLIK 2

### ALLMÄNT OM UTTORKNING OCH FUKTMÄTNING

2.1	Vct och vbt	sid 2
2.2	Mätdjup	sid 3
2.3	Voter	sid 7
2.4	Överslagsmässigt uttorkningsförlopp	sid 9
2.5	Borrhål för mätpunkter	sid 10
2.6	Montering av givare, olika givartyper	sid 11
2.7	Uttaget prov	sid 12
2.8	Avläsning	sid 12
2.9	Kalibrering av givare - kalibreringskurva	sid 13
2.10	Drift och egenkontroll av RF-givare	sid 14
2.11	Fuktmätning under inverkan av golvvärme	sid 17
2.12	Fuktmätning i vakuumbehandlad betong	sid 20
2.13	Golvavjämning	sid 21
2.14	Mätosäkerhet vid fuktmätning i betong	sid 21
2.15	RBK-mätning och avvikelser	sid 24
2.16	Rimlighetsbedömning av resultat	sid 25
2.17	Definitioner	sid 25

Version:	Datum:	Gäller från:	Utfärdad av:	Sign. Revisionsledare RBK	Flik:	Sida:
5	2010-06-11	2010-10-21	Peter Löfgren		2	1(26)

## 2 ALLMÄNT OM UTTORKNING OCH FUKTMÄTNING

För att kritiskt kunna granska fuktmättningsresultat samt mätmetoder ges här en kort beskrivning av uttorkningsförloppet, mätdjup, mätmetoder, tillvägagångssätt för borrning av mäthål, kalibrering av givare samt felkällor. Merparten av materialet under denna flik är hämtat ur skriften "Uttorkning av byggfukt i betong" av Göran Hedenblad /1/.

### 2.1 Vct och vbt

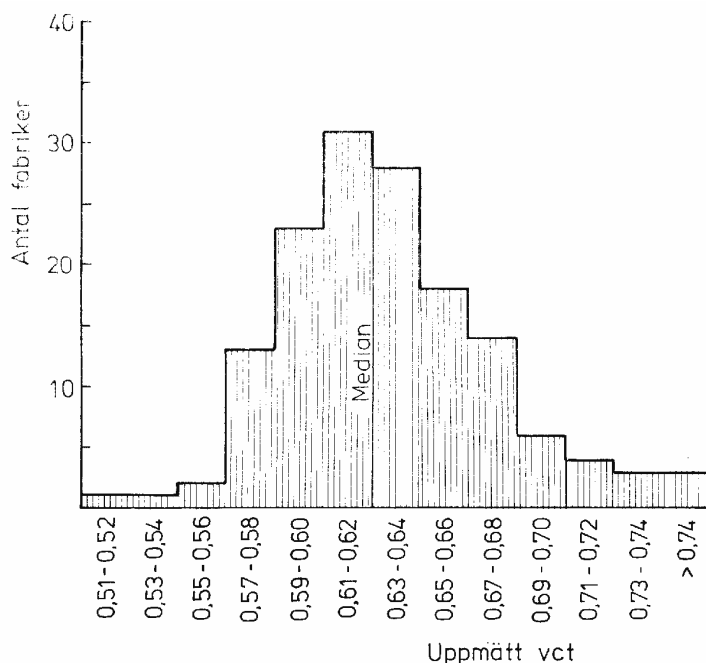
Betongens uttorkningstid sammanhänger främst med dess byggfukthalt och täthet. Dessa egenskaper avgörs av betongens vattencementtal, **vct**, som definieras nedan.

$$\text{vct} = \frac{\text{vatten}}{\text{cement}} \quad \text{vatten och cement i kg per m}^3 \text{ betong.}$$

Om man tillsätter silikastoft, flygaska, slagg eller annat tillsatsmaterial i betongen talar man i stället om vattenbindemedelstal, **vbt**, som definieras nedan.

$$\text{vbt} = \frac{\text{vatten}}{\text{cement} + \text{tillsatsmaterial}} \quad \text{vatten, cement och tillsatsmaterial i kg per m}^3 \text{ btg.}$$

Eftersom angiven hållfasthetsklass avseende betong inte med automatik ger ett bestämt vct / vbt är det olämpligt att klassificera betongen efter hållfasthetsklass när det gäller uttorkning. Beroende på vilken fabrik som tillverkar betongen erhålls olika vct / vbt för samma hållfasthetsklass. Spridningen beror bland annat på vilket cement som används, ballastens sammansättning, doceringsnoggrannhet, variation i vattenhalt och blandningen. Exempel på variation visas i figuren nedan. (K30 är en gammal beteckning på hållfasthet och kan med dagens nomenklatur översättas till C 25/30)

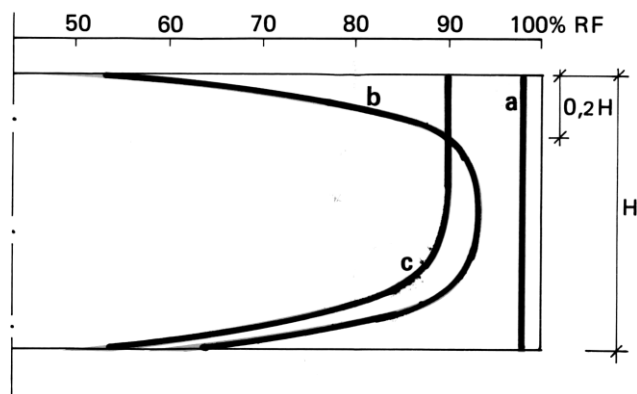


Figur 2.1 Uppmått variation i vct för en betong i hållfasthetsklass K30 /8/.

Version:	Datum:	Gäller från:	Utfärdad av:	Sign. Revisionsledare RBK	Flik:	Sida:
5	2010-06-11	2010-10-21	Peter Löfgren		2	2(26)

## 2.2 Mät djup

Vid uttorkning av en betongplatta eller vägg sker uttorkning först vid ytan, medan mitten av konstruktionen fortfarande har ett högt fuktillstånd. När en tät golvbeläggning läggs på ytan av ett bjälklag sker en omfördelning och utjämnning av fukten i betongen. Principen för detta visas i figuren som gäller för dubbelsidig uttorkning vilket betyder att betongen har möjlighet att torka ut åt två håll.



Figur 2.2 Dubbelsidig uttorkning. a = fuktprofil före uttorkning, b = fuktprofil under uttorkning, c = fuktprofil efter golvläggning och fullständig omfördelning av fukt under mattan. H = plattans tjocklek. /1/

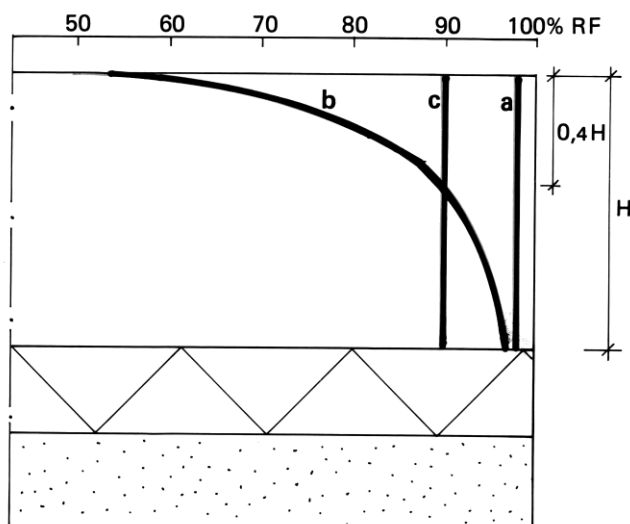
Relativa fuktigheten, RF, på ett visst "ekvivalent djup" från ytan,  $0,2 H$  i figur 2.2, motsvarar den RF som kommer att uppnås i ytan efter golvläggning och omfördelning av fukten. Detta djup varierar beroende på om betongen kan torka ut åt ett håll, två håll eller något mellanting. I princip är det ekvivalenta djupet beroende av golvmaterialets täthet. Farligaste fallet fås vid helt tätt golvmaterial och är det fall som används för att bestämma mätdjupet vid fuktmätning. Det är viktigt att beakta att ekvivalent djup  $0,2 * H$  förutsätter en fuktprofil under uttorkning enligt figur 2.2. kurva b. Efter en vattenskada eller vid renovering av en gammal byggnad måste fuktprofilen fastställas innan mätdjupet kan bestämmas. En annan förutsättning som måste vara uppfylld är att temperaturen i bjälklaget ska vara konstant över tvärsnittet. Är det stor temperaturskillnad mellan över- och underyta finns risk för stora mätfel.

Man skiljer på två fall av uttorkning vid bestämning av mätdjup, dubbelsidig och enkelsidig. Fuktfördelningen vid enkelsidig uttorkning visas i figur 2.3.

Vid dubbelsidig uttorkning tillämpas mätdjupet  $d = 0,2 * H$  där H är plattans tjocklek.

Dubbelsidig uttorkning gäller för mellanbjälklag och väggar där uttorkning kan ske åt två håll.

Version:	Datum:	Gäller från:	Utfärdad av:	Sign. Revisionsledare RBK	Flik:	Sida:
5	2010-06-11	2010-10-21	Peter Löfgren		2	3(26)



Figur 2.3 Enkelsidig uttorkning för golv på mark med underliggande cellplast.

a = fuktprofil före uttorkning,

b = fuktprofil under uttorkning, c = fuktprofil efter golv-läggning och fullständig omfördelning av fukt under mattan.

H = plattans tjocklek. /1/

Vid enkelsidig uttorkning tillämpas mätdjupet  $d = 0,4 * H$ .

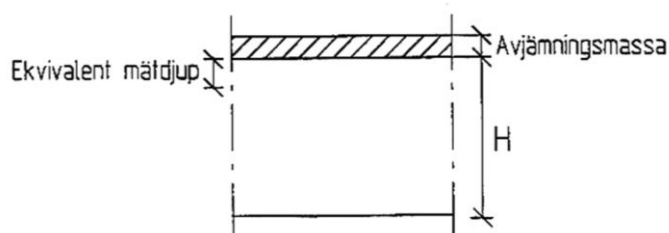
Enkelsidig uttorkning gäller främst betongplatta på mark där uttorkningen i huvudsak sker åt ett håll. Vid golv på mark med underliggande mineralull fås en viss uttorkning nedåt förutsatt att isoleringen är torr. Detta beaktas normalt inte. Kvarsittande plåtform ger enkelsidig uttorkning.

Kvarsittande betongform, mätdjup  $d=0,2$  eller  $0,25 * H$ .

Mellanbjälklag gjutet på kvarsittande betongform, plattbärlag, är ett specialfall av dubbelsidig uttorkning. Om betongen i plattbärlaget är av bättre kvalitet, lägre vct, än pågjutningen väljs mätdjupet  $d = 0,25 * H$  (eller om uppgift avseende plattbärlagets vct saknas), om inte så användes mätdjupet  $d = 0,2 * H$ . Detta beror på att uttorkningen genom plattbärlaget kan förhindras av en tätare betong. **H är totala höjden d.v.s. plattbärlag + pågjutning.**

Avjämningsmassan ska inte räknas med i tjockleken H.

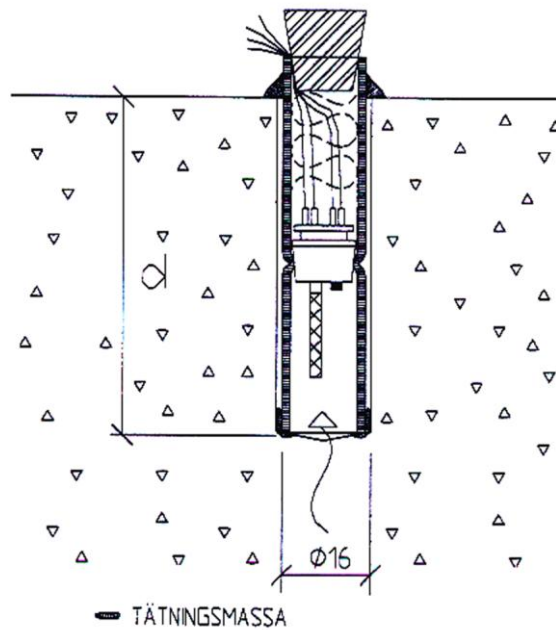
Vid bestämning av ekvivalent mätdjup är tjockleken H plattans tjocklek utan hänsyn tagen till avjämningsmassan, d.v.s. tjockleken på skiktet med avjämningsmassa ska inte ingå när man bestämmer ekvivalent mätdjup. Ekvivalent mätdjup utgår från underkant avjämningsmassa enligt figur 2.4.



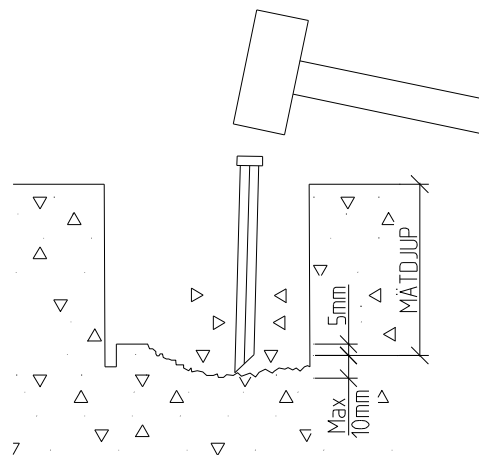
Figur 2.4 Ekvivalent mätdjup vid konstruktion med avjämningsmassa.

Version:	Datum:	Gäller från:	Utförd av:	Sign. Revisionsledare RBK	Flik:	Sida:
5	2010-06-11	2010-10-21	Peter Löfgren		2	4(26)

Mät djupet,  $d$ , är djupet från betongens överyta till den nivå i betongen där RF ska bestämmas.



Figur 2.5 Mät djup,  $d$ , i borrar hål. Foderröret av plast ger ett väl definierat mät djup. Fukt kan endast avgå från borrhålens botten.

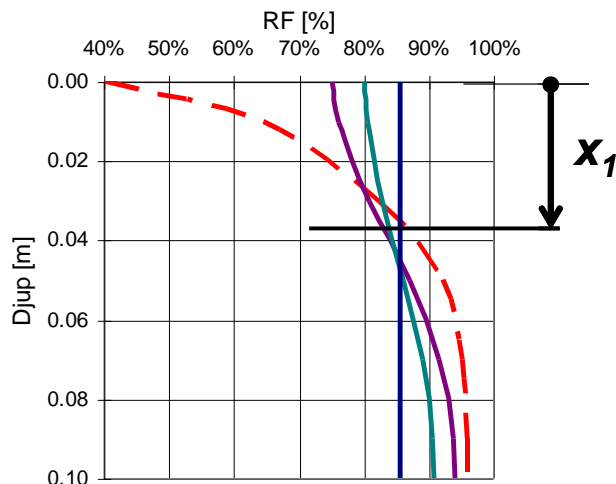


Figur 2.6 Mät djup vid uttaget prov. För att erhålla ett prov som representerar ekvivalent mät djup tas material i intervallet 5 mm ovanför mät djupet till 10 mm under mät djupet.

Rekommenderat mät djup för fuktmätning i betongplattor före applicering av ett tätt, fuktkänsligt, ytskikt baseras på beräkningar gjorda av Nilsson (1979) /17/. Dessa gamla beräkningar har aldrig ifrågasatts eller upprepats, förrän under 2003. Det har medfört att man insett att erforderligt mät djup ibland kan, och måste, nyanseras och lämpligen väljas annorlunda än det normalt rekommenderade.

Version:	Datum:	Gäller från:	Utförd av:	Sign. Revisionsledare RBK	Flik:	Sida:
5	2010-06-11	2010-10-21	Peter Löfgren		2	5(26)

Avsikten med ekvivalent mätdjup är att mätningen ska göras på det djup där RF, vid mättillfället, överensstämmer med den RF som maximalt kommer att uppstå under ett helt tätt ytskikt som applicerats strax efter mättillfället. Maximal RF under ytskiktet uppstår först efter en fullständig omfördelning och utjämning av kvarvarande byggfukt.



Figur 2.7 Principiell fuktfördelning i en 100 mm tjock betongplatta som först torkar uppåt ( streckad kurva) och sedan förses med en tät beläggning på ovansidan. Kvarvarande byggfukt omfördelas successivt under tätskiktet. Vertikal kurva visar slutresultatet, fullständig fuktomfördelning. Ekvivalent mätdjup är där den vertikala kurvan skär den streckade.

Problematiken åskådliggörs i Figur 2.7. Den streckade kurvan visar RF-fördelningen vid mättillfället för en platta som torkat uppåt. Om man mäter på djupet  $x_1$  och därefter applicerar ett helt tätt ytskikt på betongytan kommer kvarvarande byggfukt inte längre att kunna torka uppåt utan kommer att omfördelas. RF stiger under ytskiktet. Den maximala fuktbelastningen under ytskiktet motsvarar den RF som uppmättes på djupet  $x_1$ . Om mätningen gjordes där får man alltså en bedömning av vilken maximal fuktbelastning ett ytskikt kan komma att utsättas för.

För enkelsidig uttorkning motsvarade djupet  $x_1$  30-42 % av plattjockleken H, beroende på bl a hur långt uttorkningen skett, Nilsson (1979) /17/. AMA Hus 08 och RBK har valt att rekommendera ett mätdjup på ett "ekvivalent djup" av 40 % av H vid enkelsidig uttorkning.

Den beräkning som gjordes 1979 gjordes bara för en enda betongkvalitet, K25, och tog inte alls hänsyn till hysterés. 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 sorptionskurva och vid vilken fuktnivå man mäter, Nilsson (2003) /19/.

Hänsyn måste då tas till hysterés, annars blir mätdjupet på osäkra sidan. Pågående och framtida forskning kan tänkas ge mer detaljerade anvisningar för lämpliga mätdjup. Tills dess bör man använda rekommenderade mätdjup enligt AMA Hus 08 och RBK, dvs 40 % respektive 20 % av tjockleken. Annars fordras sofistikerade datorberäkningar, som är behäftade med viss osäkerhet på grund av bristen på verifiering, i varje enskilt fall.

Version:	Datum:	Gäller från:	Utfärdad av:	Sign. Revisionsledare RBK	Flik:	Sida:
5	2010-06-11	2010-10-21	Peter Löfgren		2	6(26)

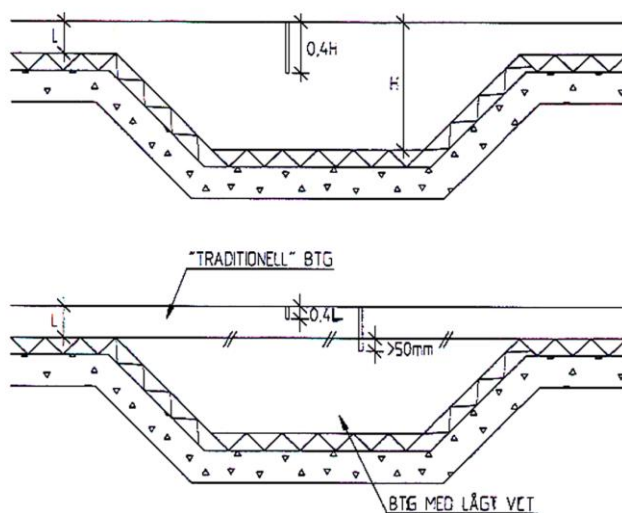
## 2.3 Voter

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 cellplastskiva ska man enligt föregående avsnitt mäta fukten på  $0,4 * H$ , ensidig uttorkning. H är i detta fall votens höjd inklusive bottenplatta, se övre skissen i Figur 2.5. Det visar sig emellertid att en viss omfördelning av fukten sker till angränsande platta varvid ekvivalent mätdjup troligen kan minskas förutsatt att voten har liten bredd i förhållande till plattans tjocklek. Vid vot med en bredd som närmar sig plattjockleken L kan mätdjupet reduceras till ca  $0,5 - 0,6 * L$  (jmf  $0,4 * H$ ) enligt artikel i AMA-nytt Mark, Hus 1/98 se /12/.

Eftersom tiden det tar att torka ut voten är mycket längre än för plattan så är konstruktionsutförandet direkt olämpligt när betongytan ska beläggas med en tät beklädnad.

Voten och plattan överst i Figur 2.8 gjuts med vct 0,60. Plattjocklek L är 100 mm, votens höjd H är 350 mm och votens längd i botten är en meter. Torktiden för att nå RF 90 % på ekvivalent mätdjup kommer då att överstiga ett år!

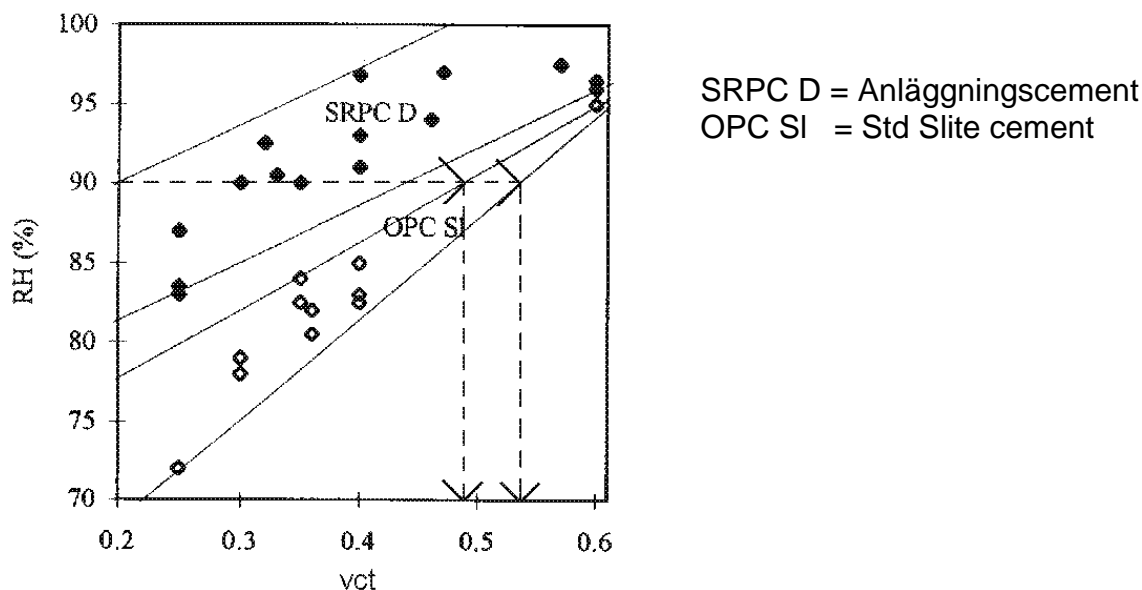
Används i stället en betong i voten med lågt vct som själv torkar till 90 % RF och vct 0,60 i plattan enligt den nedre skissen i Figur 2.8 så erhålls RF 90 % på ca fyra till fem månader beroende på torkstart, hur betongen härdas och klimatet under uttorkningen.



Figur 2.8 Mätdjup vid RF-mätning i voter.

Om en tät / fuktkänslig beklädnad ska läggas över en vot är ett alternativt utförande av voten visat i den nedre skissen i Figur 2.8. Vot och platta delas med en horisontell gjutfog. Först gjuts själva voten med en betong där så lågt vct väljs att voten själv torkar till önskad RF-nivå oavsett ovanpåliggande material. Därefter gjuts plattan med en "traditionell" betong. Voten blir i detta fall så tät att plattan kan anses gjuten mot ett tätt material, enkelsidig uttorkning, varvid fuktmätning görs på djupet  $0,4 * L$  där L är plattans tjocklek dvs samma mätdjup som den del av plattan som inte ligger över voten.

Version:	Datum:	Gäller från:	Utförd av:	Sign. Revisionsledare RBK	Flik:	Sida:
5	2010-06-11	2010-10-21	Peter Löfgren		2	7(26)



Figur 2.9 Graden av betongens självtorkning i % RF beroende på valt vct och typ av cement. /6/  
Figuren visar uppmätt RF efter 28 dygn vid 20°C i ett antal prover, med olika vct och cement, utförda i laboriemiljö. Redovisas som punkter i diagrammet. De heldragna linjerna visar spridningen på mätresultaten och ger ett intervall för Anläggningscement och ett för Std Slite. Observera att detta är i laboriemiljö och således inte direkt överförbart till en byggarbetsplats.

Vct för betongen i voten väljs beroende på vilket RF-värde som ska nås samt vilket cement som används. Principen visas i Figur 2.9. För att kontrollera att önskat RF uppnåtts kan fuktmätning även utföras nere i voten enligt Figur 2.8.

Det är viktigt att komma ner i rätt betong samt att inte hamna för nära gränsen mellan de olika betongtyperna då man här kan ha en viss fuktvardring mellan de olika betong kvaliteterna . RF-mätning fem centimeter ner i voten får anses som ett tillräckligt djup.  
En rekommendation är att välja vct med god marginal för att nå rätt RF-nivå. Betong med lågt vct torkar mycket långsamt efter att cementrektionen klingat av. Resterande RF-sänkning ska då ske genom diffusion vilket tar lång tid. Betongleverantören bör kunna rekommendera en betongsammansättning beroende på vilken RF som är aktuell.

Version:	Datum:	Gäller från:	Utfördad av:	Sign. Revisionsledare RBK	Flik:	Sida:
5	2010-06-11	2010-10-21	Peter Löfgren		2	8(26)

## 2.4 Överslagsmässigt uttorkningsförlopp

För att kunna planera ett projekt tidsmässigt vad gäller val av betong, konstruktionsutformning, torkinsatser, tidpunkt för fuktmätning och applicering av ytskikt bör lämpligen en beräkning av torktiden utföras. Utförs denna beräkning i tidigt skede finns möjlighet att korrigera tidsplanen eller byta konstruktionsutformning för att möjliggöra att betongen ska hinna torka i tid. Utan en beräkning finns risk för att omöjliga konstruktioner inte upptäcks d.v.s. konstruktioner som omöjligt går att torka på den tid som finns till förfogande.

För den person som utför en fuktmätning är en beräkning ett värdefullt hjälpmedel för att bedöma rimligheten i mätresultaten och för att upptäcka eventuella grova fel vid mätning och protokollföring.


En uppskattning av torktiden för aktuellt projekt kan utföras med datorprogrammet TorkaS eller annat beräkningshjälpmedel.

Största påverkan på torktidens längd har val av vct. Andra faktorer som påverkar torktiden är cementtyp, tillsatsmaterial, efterhärdning, hur fort efter gjutning som uttorkningen påbörjas, temperatur och RF i luften under uttorkning, om betongen återuppfuktas under uttorkningen, konstruktionens tjocklek samt om uttorkningen kan ske åt ett håll eller åt två.

Datorprogrammet TorkaS baseras på matematisk beskrivning av fuktransport och fuktbindning. Programmet är verifierat mot ett stort antal laboratoriemätningar och finns att hämta kostnadsfritt på <http://www.sbuf.se> under praktiska hjälpmedel eller på <http://www.fuktcentrum.lth.se>.

Programmet utvecklades för betong med Slite Std cement. En studie av betong med Byggcement har utförts på Lunds Tekniska Högskola. Den visade att betong med vct i intervallet 0,40 – 0,80 inte tar längre tid att torka än betong med Slite Std cement. Således kan torktider för betong med Byggcement beräknas med de hjälpmedel som är framtagna för betong med Slite Std cement. Vid senare uppdatering av programmet har även mätdata från nya försök med betong innehållande Byggcement utförts.

SBUF har tagit fram en ”Lathund för betongtorkning” se /4/. Lathunden bör användas med viss försiktighet eftersom indata är mycket summariskt indelade. Den används med fördel för att snabbt få en jämförelse av hur torktiden påverkas av t.ex. varierande vct eller torkklimat, inte för att beräkna ett absolutvärde avseende torktid.

Version:	Datum:	Gäller från:	Utförd av:	Sign. Revisionsledare RBK	Flik:	Sida:
5	2010-06-11	2010-10-21	Peter Löfgren		2	9(26)

## 2.5 Borrhål för mätpunkter

Borrhålets placering i konstruktionen väljs så att möjliga felkällor minimeras.

Temperaturvariation under mätningen ska minimeras. Se avsnitt 2.6.  
Undvik att borra i sprucken betong där uttorkningen kan vara onormalt snabb.  
Placera inte borrhålet där det utsätts för drag eller direkt solljus. Placera inte borrhålet i närheten av byggtorkar eller avfuktningssaggregat. Hål ska inte borraras förrän byggnaden är tät.

Hålet ska placeras där betongen antas vara fuktigast, t.ex. i svackor i betongen, på platser med sämre uttorkningsförutsättningar, låg temperatur eller där läckage av vatten har förekommit. En fuktindikator kan vara en hjälp till att lokalisera denna plats.

En fuktindikator är ett mätinstrument som ger utslag när den placeras mot betongytan. Utslaget varierar beroende på om betongen är mer eller mindre fuktig. **Instrumentet är inte mer noggrant än så och mäter endast nära ytan!** Att observera är att instrumentet kan ge utslag på metallföremål t.ex. armering och avloppsrör.

Hål borraras i betongen, utan vattentillförsel, enligt rutin under flik 6.

Hålets djup ska överensstämma med det ekvivalenta mätdjupet. Kontrollera om möjligt att konstruktionens tjocklek överensstämmer med ritning/erhållen uppgift. Kontroll kan utföras vid fri bjälklagskant, om sådan finns, eller genom att borra ett genomgående hål i t.ex. en bottenplatta för att göra en grov bedömning av tjockleken. En viss variation i tjocklek förutsätts vilket ger ett bidrag i mätosäkerhetsberäkningen. Se flik 27.

Konstruktionens tjocklek är väsentlig eftersom ett relativt litet fel i mätdjup kan ge mycket stora fel i RF. Detta inses om man studerar RF på olika djup i figurerna av fuktprofil för enkel och dubbelsidig uttorkning, Figur 2.3 och Figur 2.2.

Efter borrningen måste hålet dammsugas/blåsas ur ordentligt så att allt borrkax avlägsnas.


Finns det borrkax kvar kan ett felaktigt RF-värde erhållas.

Borrhålet fodras med ett plaströr för att säkerställa att mätning av RF utförs i botten av mät hålet och inte i hålets väggar. Plaströret tätas i underkant vid montage och i överkant, mellan rör och betongyta, efter montage och täthetsprovning.

**Det är av största vikt att anslutningen mellan plaströr och betong är tät.**

Tätning ska finnas både upptill och nertill mellan betongen och plaströret för att förhindra fuktvandring mellan betong och luft på oönskat sätt. Tätning kan t.ex. uppnås genom användning av ett plaströr som har eftergivliga flänsar i den ände som trycks ner i betongen som, i kombination med tätningsmassa, tätar mellan rör och betong. Upptill kan tätning erhållas mellan rör och betong med hjälp av tätningsmassa.

Borrhål ska borraras, och tätas, minst 3 dygn före montage av RF-givaren för att störningen i betongen på grund av borrning inte ska påverka mätningen.

Version:	Datum:	Gäller från:	Utförd av:	Sign. Revisionsledare RBK	Flik:	Sida:
5	2010-06-11	2010-10-21	Peter Löfgren		2	10(26)

## 2.6 Montering av givare, olika givartyper

Mätning av relativ fuktighet kan utföras på tre principiellt olika sätt:

- med kvarsittande givare i borrhål
- ej kvarsittande givare i borrhål
- på uttaget prov

### Kvarsittande givare

Humi-Guardgivaren är av typen kvarsittande givare. Den kan monteras vid samma tillfälle som man borrar hålet, men avläsning utförs tidigast 4 dagar efter givarmonteringen. Efter den föreskrivna väntetiden kan givaren läsas av när som helst. En avläsning tar några minuter.

### Ej kvarsittande givare

Vaisala och Testo är givare som, i borrhål, används som ej kvarsittande givare. Vid mätning monteras givaren i plaströret och ska sitta i hålet minst 12 timmar före avläsning, /1/, /9/. Detta beror dels på att det sker en luftväxling i röret när givaren monteras och dels på att det tar tid för givaren och betongen i mätområdet att komma i fuktjämvikt. Efter avläsning avlägsnas givaren igen.


**Givaren måste ha samma temperatur som betongen för att ge ett pålitligt resultat.**

Det är av största vikt att givaren har samma temperatur som betongen redan när den monteras. Det är t.ex. inte lämpligt att förvara en givare i bagageutrymmet på en bil vintertid före mätning. När givaren placeras i betong som har högre temperatur än givaren blir det lätt kondens på givaren. Det tar mycket lång tid för betongen att ta åt sig kondensfukten och detta fenomen ger ett felaktigt RF-värde.

**Kondens kan erhållas vid en undertemperatur hos givaren på mindre än 2°C vid RF över 90 % i betongen.**

Problemet är mindre när givaren är varmare än betongen. Detta ger tillfälligt ett för lågt RF. Givarna bör därför förvaras uppvärmt timmarna före monteringen. Under mättiden ska givarna skyddas från temperaturväxlingar i rumsluften genom montage av någon form av skydd över varje givare. Till Vaisalas givare används en skyddsburk som monteras ovanpå mätområdet och till givare av fabrikatet Testo används en skyddskon. Det kan vara lämpligt att montera givaren vid arbetsdagens slut för att läsa av den morgonen efter. Om det behövs längre mättid, för att givare och betong ska komma i fuktjämvikt, kan givaren t.ex. monteras fredag eftermiddag och läsas av måndag morgon.

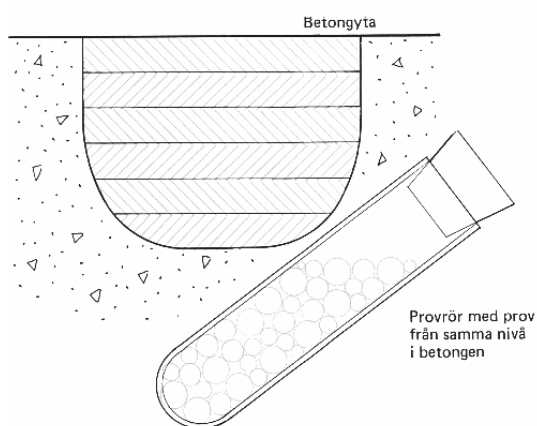
Vid borrhålmätning får temperaturvariationen i betongen under mätning inte överstiga  $\pm 1^\circ\text{C}$  för att osäkerhetsberäkningen enligt flik 27 ska gälla. Råder osäkerhet om temperaturvariationen måste temperaturen i betongen eller byggnaden loggas. Ett grovt riktvärde på maximal temperaturvariation i luften, i givarens omedelbara närhet, är  $\pm 2^\circ\text{C}$  för att variationen i betongen inte ska överskrida  $\pm 1^\circ\text{C}$ . Kan detta inte säkerställas måste RF-mätning utföras med uttaget prov. Kravet på temperaturstabilitet råder från monteringen av givare till avläsning. Loggning av temperaturen ska utföras i minst en mätpunkt i varje projekt!

Version:	Datum:	Gäller från:	Utförd av:	Sign. Revisionsledare RBK	Flik:	Sida:
5	2010-06-11	2010-10-21	Peter Löfgren		2	11(26)

## 2.7 Uttaget prov

Vid ”uttaget prov” borrar ett hål, med diameter 90 mm, ner i betongen till ekvivalent mätdjup enligt en detaljerad beskrivning. På detta djup bilar man bort en viss mängd betong, minst 15 cm<sup>3</sup>, som placeras i ett provrör. Provröret försluts omedelbart för att transporteras till ett laboratorium för RF-bestämning. Det är mycket viktigt att kondens inte uppstår i provröret. Om detta sker under provtagning eller transport så ska provet kasseras.

Med laboratorium avses temperaturstabil utrymme d.v.s. ett utrymme där man har noggrann kontroll över temperaturens variation i tiden. Variationen får inte överstiga några tiondels grader Celsius och kräver således specialåtgärder i form av klimatstyrning eller temperaturstabila skåp. Temperaturvariationen under RF-bestämningen ska säkerställas genom att logga temperaturen och finnas dokumenterat.



Figur 2.10 Uttaget prov för RF-bestämning i lab.

## 2.8 Avläsning

Givarna läses av med ett mätinstrument som hör till givaren, även temperaturen i varje mätpunkt läses av. Med det avlästa värdet går man in i givarens kalibreringskurva, antingen manuellt, se 2.9, eller via ett datorprogram för att få fram det aktuella RF-värdet, kalibrerad RF. Efter korrigering för temperatur, fuktkapacitet och osäkerhet kan slutvärdet jämföras med det överslagsmässigt beräknade uttorkningsförloppet, se 2.4. Om avläst värde avviker orimligt mycket från beräknat kan det bero på:

- Stor temperaturvariation under mätningen.
- Luft läckage i mätpunkten till omgivningen.
- Givaren har påverkats så att ny kalibrering behöver utföras.
- Givaren har skadats så att den behöver repareras eller kasseras.
- Att det stått vatten vid mätpunkten, läckage av vatten vid mätpunkten.
- Sprickor i konstruktionen vid mätpunkten.
- Att beräkningen är en uppskattning av torktiden.
- Att förhållandena vid härdning och torkning eller att betongens vct har varit annorlunda än vad som antagits i beräkningarna.
- Att tjockleken på betongen inte stämmer med vad som antagits inför mätningen.

Version:	Datum:	Gäller från:	Utförd av:	Sign. Revisionsledare RBK	Flik:	Sida:
5	2010-06-11	2010-10-21	Peter Löfgren		2	12(26)

## 2.9 Kalibrering av givare – kalibreringskurva

Kalibrering innebär att mätvärdet hos ett mätinstrument jämförs mot en normal, även kallad referens, under strikt kontrollerade förhållanden.

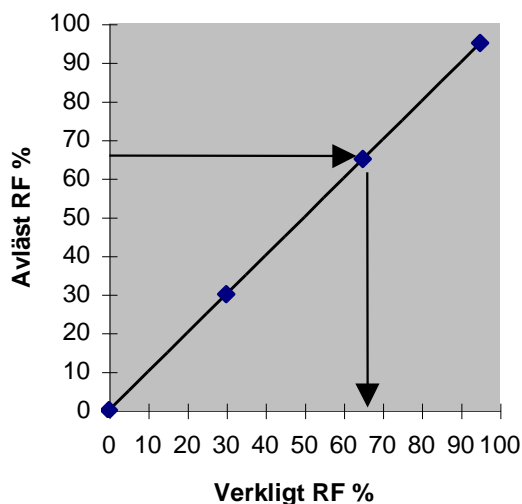
Med **kalibrering** avses i denna manual kalibrering av RF-givare, med tillhörande avläsningsinstrument, vid en mätplats där RF är spårbar till ett erkänt institut. Spårbarheten kan t.ex. vara till NIST i USA eller NPL i England. Kalibrering ska utföras minst en gång per år.

Kalibreringen ska resultera i en kalibreringskurva med tillhörande dokumentation avseende kalibreringens mätosäkerhet, spårbarhet och rådande temperatur vid kalibreringen.

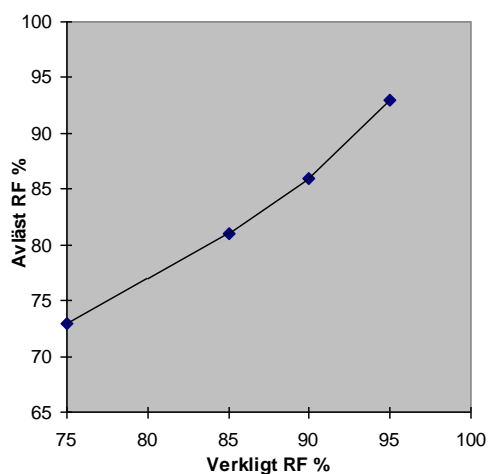
Kalibreringskurvan gäller enbart den givare i kombination med avläsningsinstrumentet som användes vid kalibreringen.

**Datum när senaste kalibrering utförts ska framgå i mätprotokollet för använd givare.**

Kalibrering av en givare utförs för att bestämma givarens noggrannhet. Givaren placeras i en känd relativ fuktighet under konstant temperatur. Givarens utslag läses av och markeras som en punkt i ett diagram. Diagrammet har det avlästa utslaget på ena axeln och normalens RF, verkligt RF, på den andra axeln. Förfarandet upprepas med ett antal kända RF-värden. Mellan de punkter man erhåller dras räta linjer vilket resulterar i givarens kalibreringskurva. Se figurerna nedan. Varje givare med tillhörande avläsningsinstrument har sin egen unika kalibreringskurva.



Figur 2.11 Kalibreringskurva för ideal givare.  
Avläst värde = Verkligt.



Figur 2.12 Kalibreringskurva för fuktmätning i betong.

Vid RF-mätning i betong är det oftast tillräckligt om givaren är kalibrerad i intervallet 75 – 95 % RF. Kalibreringen utförs vid 75, 85, 90 och 95 % RF. Mellan dessa punkter dras räta linjer och kalibreringskurvan får utseendet enligt figur 2.12. Om mätning ska utföras vid lägre eller högre RF kan 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.

Version:	Datum:	Gäller från:	Utförd av:	Sign. Revisionsledare RBK	Flik:	Sida:
5	2010-06-11	2010-10-21	Peter Löfgren		2	13(26)

Kalibreringskurvan används vid mätning som visas i Figur 2.11 för att bestämma kalibrerad RF. Gå in med avläst värde från avläsningsinstrumentet på axeln avläst RF %. Dra linjer i diagrammet enligt exempel i Figur 2.11 och bestäm verklig RF, kalibrerad RF.

Det är mycket svårt att kalibrera en givare vid RF som överstiger 95%. Vid upprepade mätningar får man olika resultat trots ideala förhållanden. Detta medför i sin tur att resultat från en mätning vid RF > 95% har större osäkerhet än mätningar vid lägre RF-nivå.

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 ligga några timmar i det klimat där kalibreringen ska ske för att de ska vara i jämvikt med omgivningen innan kalibreringen påbörjas.

Kalibreringen ska utföras i samma ordning som mätningen kommer att ske, d.v.s. från lägsta RF till högsta. Givaren ska således vara torrare än betongen vid givarmontage. I annat fall kan hysterès uppstå. (fel orsakat av att jämviktsfuktkurvan för uppfuktning och uttorkning inte överensstämmer se figur 2.19.)

Givare och avläsningsinstrument hör ihop! Elektroniken i avläsningsinstrumentet kan ge upphov till fel 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.

### 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 10 – 15 procentenheter från verklig RF. Trots detta kan givaren vara fullt funktionsduglig.


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

- kontrollera driften och därmed givarens tillförlitlighet
- kontrollera överensstämmelsen med kalibreringskurvan och säkerställa att inget hänt med givaren under transport till och från den plats där kalibreringen utförts

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 d.v.s. att den inte driver. 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.

Tillåtet värde avseende drift är:

- $\pm 1,0$  % RF för givare som används i laboratorium
- $\pm 1,5$  % RF för givare som används vid borrhålmätning

Version:	Datum:	Gäller från:	Utfärdad av:	Sign. Revisionsledare RBK	Flik:	Sida:
5	2010-06-11	2010-10-21	Peter Löfgren		2	14(26)

## RBK-auktoriserad fuktkontrollant - betong

Egenkontrollen ska i första hand utföras vid RF-nivån 85 % eftersom denna nivå tangerar det RF-intervall där mätning i betong ofta utförs. En annan anledning är att det finns salt att tillgå som genererar denna RF. Kontrollen ska utföras enligt ”Rutin för egenkontroll av RF-givare”, flik 5, och dokumenteras i Blankett F2, Egenkontroll av RF-givare, som finns bakom flik 28. Kontrollen ska utföras i temperaturintervallet 15 - 25°C och med fördel så nära 20°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 d.v.s. skillnaden mellan avläst RF (givaren) och ”verklig” RF (saltlösning/fuktkälla) jämförs med motsvarande värde från tidigare avläsningar. Om RF varierar mellan avläsningarna så driver givaren.

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

Figur 2.13. Temperaturens inverkan på RF avseende en mättad saltlösning med Kaliumklorid, KCl,

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


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

Osäkerheten avseende saltets, Kaliumklorid, RF uppgår till ca  $\pm 0,3$  % men den försummas vid kontrollen eftersom driften beräknas som skillnaden mellan två avläsningar över samma saltlösning. Saltlösningen förutsätts ha samma fel vid varje avläsning.

Egenkontrollen ska även utföras innan givaren skickas på kalibrering och direkt efter det 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, 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 vilken fuktkälla som används för att alstra 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. Om gränsvärdet överskrids kan det bero på:

- att något har hänt med givaren under transporten
- fel på saltlösningen
- ostabil temperatur vid kontrollen
- 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 avvikelsen 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.

Version:	Datum:	Gäller från:	Utförd av:	Sign. Revisionsledare RBK	Flik:	Sida:
5	2010-06-11	2010-10-21	Peter Löfgren		2	15(26)

### Mättade saltlösningar

För saltkontroll kan behållare med färdig saltlösning köpas där 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 enligt nedanstående tabell:

<u>Salt</u>	<u>RF (20°C)</u>
Magnesiumklorid MgCl <sub>2</sub>	33.1±0.2
Natriumklorid NaCl	75.5±0.1
Kaliumklorid KCl	85.1±0.3
Kaliumnitrat KNO <sub>3</sub>	94.6±0.7
Kaliumsulfat K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	97.6±0.6

Givarna ska placeras i täta behållare med mättade saltlösningar. Behållarna ska stå i temperaturstabil klimat, t.ex. i klimatkammare eller temperaturstabil bad, i annat fall kan stora fel uppstå. Som exempel kan nämnas att en temperaturinstabilitet på ±0,1°C kan medföra en standardosäkerhet i den RF som alstras av saltlösningen på ± 0,5 % RF, (täckningsfaktor k=1).

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

### Kontrollintervall

Egenkontroll ska utföras före kalibrering och direkt efter att givare och avläsningsinstrument returnerats efter utförd kalibrering. Därefter ska kontroll utföras med tillräckligt täta intervall för att säkerställa att driften inte överskrider tillåtna gränsvärden.


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. Risken för problem med drift är större om givaren används flitigt i mycket fuktig eller förorenad miljö.

### **Egenkontrollen ska utföras minst en gång i månaden.**

En givare som används vid borrhålmätningar i fält kan behöva kontrolleras oftare än en gång per månad. Nya givare har 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 ska en kontroll utföras innan givaren tas i bruk. Att utföra en egenkontroll är ett enkelt sätt att försäkra sig om givarens tillförlitlighet och att givarens kalibreringskurva fortfarande är aktuell.

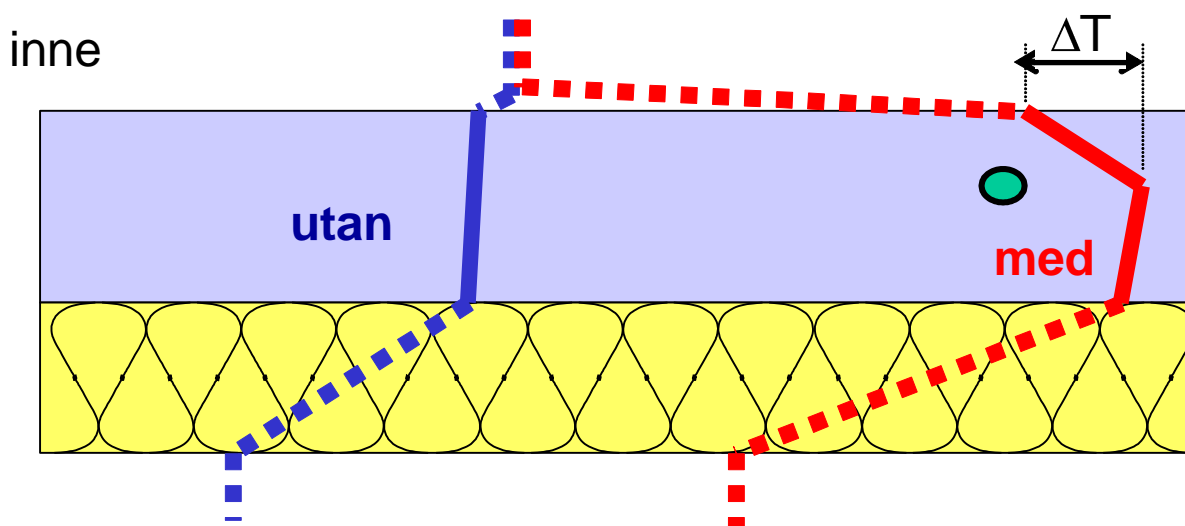
**Datum då senaste egenkontroll utförts inför mätningen ska anges i mätprotokollet.**

Version:	Datum:	Gäller från:	Utförd av:	Sign. Revisionsledare RBK	Flik:	Sida:
5	2010-06-11	2010-10-21	Peter Löfgren		2	16(26)

2.11 Fuktmätning under inverkan av golvvärme

Fuktmätning under inverkan av golvvärme, beskrivet i följande avsnitt, förutsätter att golvvärmeledningarna är ingjutna i betongen. 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 borrhålmätning ska inte utföras utan att plattan har kallnat först. Om borrhålmätning 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 hysterés, om golvvärmen varit på mellan mätningarna. Alltså måste ett nytt mäthål borrar vid varje mättillfälle. Anledningen till att det är problematiskt att mäta RF i betonggolv med golvvärme är den höga temperaturen och ojämn temperaturfördelning i golvet.



Figur 2.14. Temperaturfördelning i en platta på mark med och utan golvvärme.

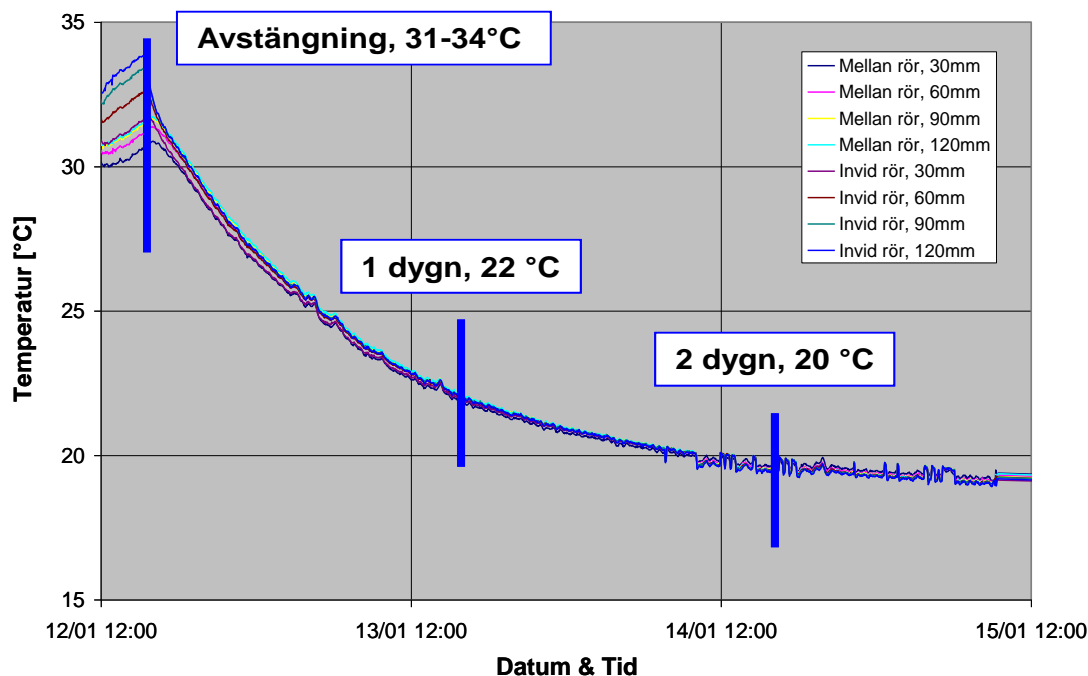
(Figur 1 i rapport TVBM-3140, LTH /25/)

Även vid uttagning av prover, under påverkan av golvvärme, för bestämning av RF i lab, finns risk för en stor mätosäkerhet som vi inte kan hantera.

När uttagning av prover utförs och varma betongbitar med hög RF placeras i provrör som är kallare än betongen så kan kondens uppstå på rörets insida. Kondensen kan vara svår att upptäcka om man inte är medveten om detta fenomen. När betongbitarna svalnar kan det kondenserade vattnet återupptas av betongen. Detta medför att ytan på betongbitarna nu är under uppfuktning i stället för som tidigare, under uttorkning. Betongbitarna har således bytt sorptionskurva från desorption till absorption. Bytet ger upphov till en hysteréseffekt, se Flik2 sida 23, som kan innebära att mätvärdet blir för högt.

Version:	Datum:	Gäller från:	Utförd av:	Sign. Revisionsledare RBK	Flik:	Sida:
5	2010-06-11	2010-10-21	Peter Löfgren		2	17(26)

Risken för att dessa problem uppstår minskas genom att golvvärmen stängs av två dygn innan mätningen, eller provtagningen, påbörjas och är avstängd under hela mätförloppet. Detta oavsett vilken mätmetod som används. Se figur 2.15. nedan.



Figur 2.15. Avsvlningsförloppet, i en 120 mm tjock betongplatta på underliggande värmeisolering, efter avstängning av golvvärmen.  
(Figur 2.5.1 i rapport TVBM-3141, LTH /26/)

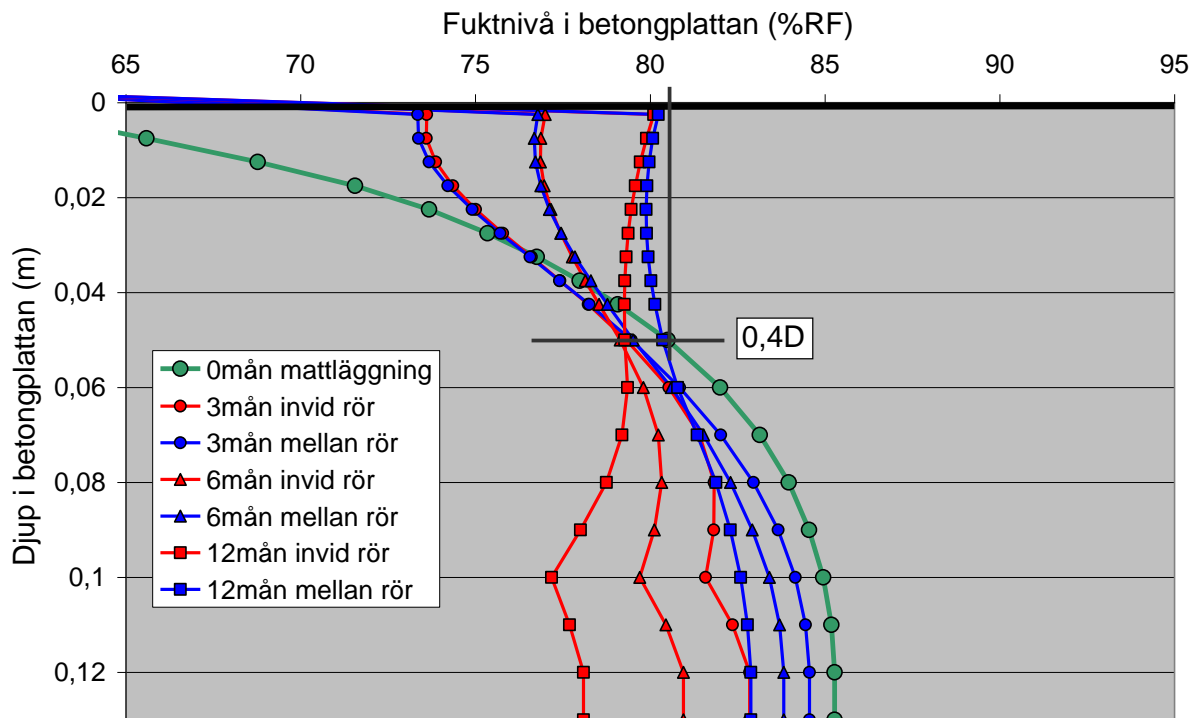
Av praktiska skäl utförs mätningen mitt mellan värmeslingorna. Lämpligt mätdjup har visat sig vara ca 40% av plattans tjocklek oavsett på vilken höjd värmeslingorna är placerade. Detta avser en bottenplatta med enkelsidig uttorkning. Mätdjupet är baserat på att antal försök och beräkningar utförda vid LTH, se rapport TVBM-3140, med olika förutsättningar som ingångsparametrar. Ett beräkningsexempel visas i figur 2.16.

Bottenplattan kommer under brukstiden att ha en högre temperatur än en bottenplatta utan golvvärme. Den RF som ska redovisas i mätprotokollet är RF vid 20°C. Med stigande temperatur ökar RF. Detta innebär att det ytskikt som finns ovanpå betongen kommer, under bruksskedet, att påverkas av en högre RF än vad som anges i mätprotokollet. Temperaturen kan uppgå till 30°C. Om RF skulle räknas om till denna temperatur skulle redovisad RF erhålla en orimligt stor osäkerhet.

Kritiska värden avseende RF, för olika ytskikt, som redovisas i AMA Hus 08 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 beställaren eller materialtillverkaren som måste avgöra vilken kritisk RF som ska gälla. Den kemiska nedbrytning av material går snabbare när temperaturen ökar. Tillverkarna av avjämningsmassa, lim, och diverse ytskikt måste lämpligen vara bäst beskaffade att ange vad deras material klarar av.

Version:	Datum:	Gäller från:	Utfördad av:	Sign. Revisionsledare RBK	Flik:	Sida:
5	2010-06-11	2010-10-21	Peter Löfgren		2	18(26)

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.



Figur 2.16. Beräknade RF-profiler, vid fuktomfördelning efter mattningslaggning, för en bottenplatta med ingjuten golvvärme.  
(Figur 32a. i rapport TVBM-3140, LTH /25/)

I figur 2.16. 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 mattningslaggning 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.

Version:	Datum:	Gäller från:	Utfördad av:	Sign. Revisionsledare RBK	Flik:	Sida:
5	2010-06-11	2010-10-21	Peter Löfgren		2	19(26)

## 2.12 Fuktmätning i vakuumbehandlad betong

Vakuumbehandling av betong är ett sätt att ta bort vatten ur färsk betong direkt efter gjutning. Betongen täcks med en sugmatta under vilken lufttrycket sänks. På grund av ojämn tryckfördelningen under mattan, se /14/, så sjunker partiklarna nedåt varvid vatten frigörs i överytan och sugs bort genom sugmattan. Detta gör att vct sänks och partiklarna packas ihop till en tätare betong 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 genom mätning på några olika djup för att därefter utföra en beräkning av ekvivalent mätdjup från fall till fall. Fortsatt mätning i samma objekt kan sedan utföras på beräknat ekvivalent mätdjup. De är dock viktigt att beakta att vakuumbehandlingen ger 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/.

Version:	Datum:	Gäller från:	Utfärdad av:	Sign. Revisionsledare RBK	Flik:	Sida:
5	2010-06-11	2010-10-21	Peter Löfgren		2	20(26)

### 2.13 Golvavjämning

Med avjämning avses justering av betongyta med avjämningsmassa eller spackel som är pumpbar eller appliceras för hand. Om RF-mätning i betongen påbörjas före avjämning och ska fortsätta även efter utförd avjämning, ska området närmast borrhålen skärmas av med en barriär, t.ex. självhäftande list, så att avjämningsmassa inte tränger ner i mät hålen.

Om RF-mätningarna påbörjas efter avjämning, ska det ekvivalenta mätdjupet beräknas exklusive avjämningsmassans tjocklek. Se mätdjup 2.2.

Avjämningsmassor kan ta lång tid att torka ut. Ta reda på vilken typ av spackel / avjämningsmassa som är lämplig för konstruktionen. Leverantören kan ge anvisningar om till vilken RF-nivå betongen bör ha torkat före avjämning.

Vid användning av betong med lågt vct kan det vara nödvändigt med ett skikt avjämningsmassa mellan betong och matta eftersom betongen är så tät att limfukten inte tränger ner i betongen vid direktläggning. Limfukten lägger sig då som en vattenfilm mellan betong och matta. Detta medför en hög fuktbelastning under mattan, trots att betongen är ”tillräckligt torr” för mattläggning. Risk för fuktskada är då överhängande.


Om RF-mätning ska utföras i avjämningsmassan bör det beaktas att denna manual gäller för betong. Avjämningsmassa är ett annat material med en sorptionskurva som kan skilja sig från betong. Av denna anledning kan det ekvivalenta mätdjupet i avjämningsmassa skilja sig från ekvivalent mätdjup i betong. Mätosäkerhetsberäkningen för betong är inte direkt tillämpbar vid mätningar i avjämningsmassa.

### 2.14 Mätosäkerhet vid fuktmätning i betong

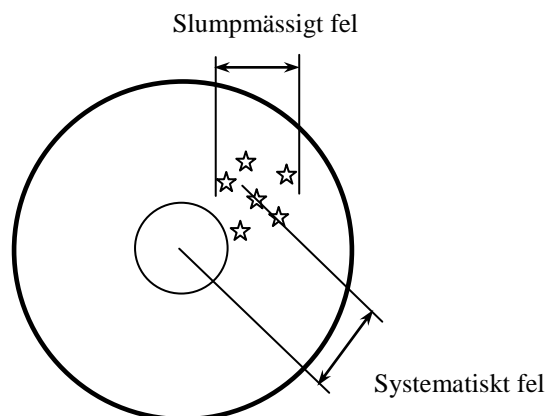
Vid RF-mätning i betong finns det flera faktorer som bidrar till den totala osäkerheten i fuktmätningen. Enligt AMA Hus 08 ska den totala osäkerheten inte överstiga  $\pm 2$  % RF vid mätning på uttaget prov och  $\pm 3$  % vid mätning i borrhål. Det ska även kunna visas hur osäkerheten har bestämts.

Mätosäkerheten ska adderas till uppmätt värde innan jämförelse görs med tillåten RF. Det innebär att om kravet är 90 % RF och osäkerheten är bestämd till  $\pm 2,0$  % RF ska uppmätt RF som högst vara 88,0 % för att säkerställa att RF i betongen inte överstiger 90 %.

Enligt artikeln ”RF-mätning i undergolv enligt Hus AMA 98” /12/ i AMA-nytt ska man använda dubbla standardosäkerheten, täckningsfaktor  $k = 2$ , vid normalfördelning när den totala mätosäkerheten, utvidgad mätosäkerhet, bestäms. Detta medför att 95 % av mätningarna som utförs hamnar inom systemets gränser men 5 % av mätningarna erhåller en större mätosäkerhet. 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 framför allt hämtat ur dessa båda skrifter.

Version:	Datum:	Gäller från:	Utfördad av:	Sign. Revisionsledare RBK	Flik:	Sida:
5	2010-06-11	2010-10-21	Peter Löfgren		2	21(26)

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 2.17. Systematiska fel återkommer vid varje mätning medan slumpmässiga fel utgörs av oförutsägbara variationer mellan mätvärdena.



Figur 2.17. 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 använda ett avläsningsinstrument som inte är kalibrerat ihop med den aktuella givaren, använda fel kalibreringskurva eller göra 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.

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

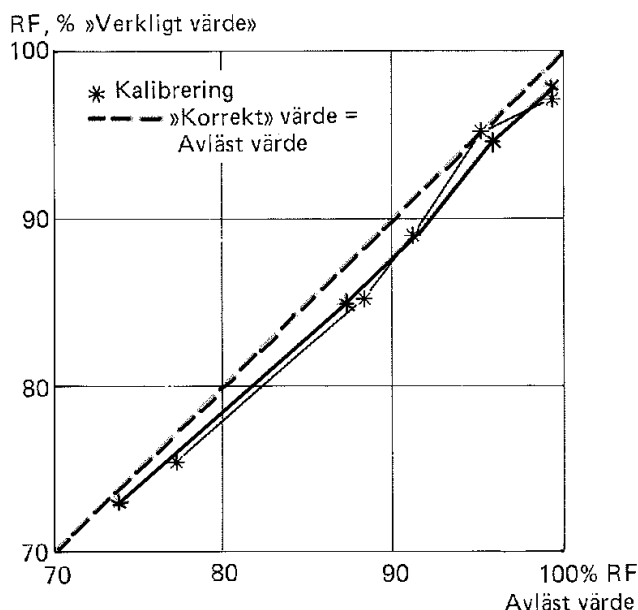
I första hand ska man försöka undvika de systematiska felen. Om inte det går får man korrigera mätresultatet och ta hänsyn till osäkerheten i korrigeringen. I de fall det finns systematiska fel vet man i regel inte felets storlek. Därför delar man upp felet i en slumpmässig och en systematisk del. Den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

När storleken på de systematiska och de slumpmässiga faktorerna är bedömda kan den utvidgade mätosäkerheten beräknas. Om osäkerheten är för stor kan man upprepa mätningarna, genom att borra fler hål eller genom att ta ut fler provbitar från samma djup, och därmed reducera en del av de slumpmässiga faktorerna. De systematiska faktorerna reduceras inte genom upprepade mätningar.

Version:	Datum:	Gäller från:	Utförd av:	Sign. Revisionsledare RBK	Flik:	Sida:
5	2010-06-11	2010-10-21	Peter Löfgren		2	22(26)

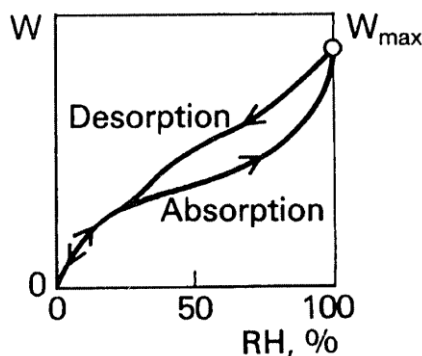
Exempel på systematiska och slumpmässiga faktorer

**Icke linearitet hos givaren** 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 för det mest intressanta RF-intervallet för betong, 75 till 95 %. Fyra stycken RF-nivåerna används, 75, 85, 90 och 95 %. Inom detta område upprättas en kalibreringskurva för varje mätinstrument som de avlästa värdena sedan korrigeras efter. Kalibrering vid flera RF-nivåer inom samma intervall minskar felet.



Figur 2.18. Exempel på olinearitet hos två olika RF-givare /1/.

**Hysterés hos RF-givaren** innebär att givaren följer olika jämviktsfuktkurvor vid uppfuktning respektive uttorkning. Hysteréseffekten reduceras genom att kalibrera givaren i samma ordning som mätningen kommer att ske, oftast från lägre RF till högre. Hysterés hos RF-givaren kan jämföras med de jämviktsfuktkurvor som finns för material, dvs att jämviktskurvorna är olika vid uppfuktning, absorption, och uttorkning, desorption. Se figur 2.19. Hysterés kan ge upphov till stora mätfel och betraktas som ett grovt fel som ska undvikas.



Figur 2.19. Principiellt förlopp för absorptionsisoterm och desorptionsisoterm / 7/.

Figur 2.19. visar att stor skillnad erhålls i RF vid en och samma fukthalt, w, beroende på om det råder uppfuktning eller uttorkning. Gäller både RF-givare och material t.ex. betong.

Version:	Datum:	Gäller från:	Utförd av:	Sign. Revisionsledare RBK	Flik:	Sida:
5	2010-06-11	2010-10-21	Peter Löfgren		2	23(26)

**Temperaturvariationer under mätning** är en faktor som man måste försöka reducera. 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 borrhålmätning. Vid RF-bestämning på uttaget prov i laboratorium är risken mindre för oförutsedda temperaturvariationer. Stabil temperatur kan erhållas genom att mätning sker i klimatrum eller kylkubator.

**Fuktmätningen utförs vid annan temperatur än i bruksskedet** är en systematisk faktor som man kan korrigera för enligt kurvan i figur 27.1 under flik 27. Om temperaturen är lägre än 20°C vid mättillfället är uppmätt RF för lågt före korrigering (gäller betong med vct < ca 0,6). Efter korrigeringen finns det kvar en slumpmässig osäkerhet som beror på osäkerheter vid framtagandet av kurvan. Denna osäkerhet ska tas med när den utvidgade mätosäkerheten beräknas.

**Fuktkapacitet hos RF-givaren** bidrar till mätosäkerheten vid mätning på uttagna prover och vid mätning i borrhål för givare som inte är kvarsittande. En viss mängd av fukten i betongen eller provbitarna går åt för att fukta upp RF-givaren. Detta medför att avläst värde blir något för lågt. Det är en systematisk faktor som korrigeras genom att lägga till en korrektionsfaktor. Vid exempelvis mätning på uttagna prover kan den systematiska avvikelser vid olika fuktnivåer bestämmas när betongens vct, betongbitarnas vikt och RF-givarens fuktkapacitet är kända.

**Temperaturskillnad mellan RF-sensor och betong** är ett grovt fel som inte får förekomma. Temperaturskillnaden inträffar när sensorn inte har samma temperatur som betongen och luften i mätområdet. Om sensorn är kallare, t ex vid drag, blir mätvärdet för högt. Med hjälp av en isolering, mätkon eller skyddsburk över RF-givaren minskas risken för detta fel.


### 2.15 RBK-mätning och avvikelser

En RBK-mätning är en RF-mätning i betong som i alla moment uppfyller föreskrifterna i detta dokument och som i alla led utförs av en RBK-auktoriserad fuktkontrollant – betong.

Om en avvikelse från systemet skulle uppkomma under en mätning ska detta dokumenteras. Dokumentationen kan vara en kommentar i mätprotokollet eller i en avvikelserapport med hänvisning från mätprotokollet (avvikelserapporten numreras). Det ska tydligt framgå i beskrivningen vad som inträffat och vad avvikelsen innebär för mätresultatet.

Vid avvikelse som medför att mätosäkerhetsberäkningen inte är tillämplig, mätningen är utförd utanför systemets gränser, ska mätosäkerheten i protokollet anges till > 3 % RF och även slutvärdet ska föregås av tecknet > (större än) i protokollet. Slutvärdet avrundas uppåt och anges utan decimal.

Exempel på avvikelser då detta gäller är om mätning utförts i betong med en temperatur utanför intervallet 15 - 25°C eller om temperaturvariationen vid borrhålmätning varit för stor under tiden från montage av givare till avläsning.

Version:	Datum:	Gäller från:	Utförd av:	Sign. Revisionsledare RBK	Flik:	Sida:
5	2010-06-11	2010-10-21	Peter Löfgren		2	24(26)

## 2.16 Rimlighetsbedömning av resultat

Den person som utfört en mätning ska utföra en rimlighetsbedömning av resultatet innan det överlämnas till uppdragsgivaren. Trots att mätningen utförts enligt systemet finns risk för felaktigheter. Rent statistiskt innebär en utvidgad mätosäkerhet med täckningsfaktorn  $k = 2$  att 5 % av mätningarna kommer att ha en större mätosäkerhet än vad som anges. Detta innebär att var tjugonde mätning hamnar utanför systemets gränser! Utöver detta kommer eventuella mätningar där grova fel begåtts.

För att fånga upp dessa mätningar måste en rimlighetsbedömning utföras. Det kan göras genom att jämföra uppmätt värde mot beräknat om en beräkning av uppskattad torktid finns att tillgå. En bedömning kan även utföras genom att jämföra uppmätt resultat mot resultatet från närliggande mätpunkter med samma förutsättningar. Erfarenhetsvärden från tidigare mätningar kan användas för att lokalisera mätningar med grova fel.

Om felaktigheter noteras vid rimlighetsbedömningen ska detta noteras i protokollet eller på en avvikelserapport. Detta gäller både mätvärden som misstänks vara för höga och för låga. Vid tveksamhet utförs lämpligen en ny mätning. Om syftet är att kontrollera den tidigare mätpunkten ska en ny placeras **omedelbart** intill den som ska kontrolleras.

### **Avgörandet om ett ytskikt kan läggas eller inte vilar på beställaren av mätningen, inte den som utför mätningen.**

Som underlag har de mätprotokoll och eventuella anmärkningar samt stöd från den person som utfört mätningen. Mätningens osäkerhet ska framgå av mätprotokollet och ingår i mätresultatet, slutvärdet. Vid avgörandet ska även tillämpliga delar i AMA Hus 08, fabrikantens anvisningar samt eventuella kontrollplaner, avtal, kvalitetsplaner eller checklistor beaktas.

Med detta som underlag avgörs om ytskikt kan appliceras på betongen eller om vidare torkning med eventuellt ökade torkinsatser krävs.

## 2.17 Definitioner

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

### *relativ fuktighet – RF*


kvot av verklig ånghalt och ånghalt vid mättnad vid samma temperatur.

### *kritiskt fukttillstånd*

är gränsen för att ett material bibehåller godtagbar funktion under hela den tid som materialet kan exponeras för fukttillståndet. Det mest användbara måttet på kritiskt fukttillstånd vad gäller betong är  $RF_{krit}$ .

### *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.

Version:	Datum:	Gäller från:	Utförd av:	Sign. Revisionsledare RBK	Flik:	Sida:
5	2010-06-11	2010-10-21	Peter Löfgren		2	25(26)

## RBK-auktoriserad fuktkontrollant - betong

### *hysteres*

jämviktsfuktkurvan ser olika ut beroende på om materialet fuktas upp eller torkas ut. Detta kallas hysteres. Se figur 2.19.

### *vattencementtal – vct*

vct = vatten/cement (vatten och cement i kg per m<sup>3</sup> betong)

### *vattenbindemedelstal – vbt*

vbt = vatten/ (cement +tillsatsmaterial) (vatten, cement och tillsatsmaterial i kg per m<sup>3</sup> betong)

### *ekvivalent mätdjup*

är det djup från betongytan där fuktnivån är densamma som fuktnivån i ytan efter golvläggning och efter fullständig omfördelning av fukten.

### *kalibrering*

innebär att kalibreringen sker vid en mätplats där RF är spårbar till ett erkänt institut. Kalibrering är en jämförande mätning. 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 ”rätt” värde. Kalibrerad RF.

### *egenkontroll av RF-givare*


är en kontroll av att givarens drift inte överstiger tillåtet värde. Om så är fallet måste en ny kalibrering utföras.

### *justering*

innebär ett fysiskt ingrepp i givare och/eller avläsningsinstrument genom mekanisk 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 enligt ”Manual fuktmätning i betong”. Samtliga moment är utförda av en RBK-auktoriserad fuktkontrollant – betong och mätningen, projektet, är registrerad på [www.rbk.nu](http://www.rbk.nu).

Version:	Datum:	Gäller från:	Utförd av:	Sign. Revisionsledare RBK	Flik:	Sida:
5	2010-06-11	2010-10-21	Peter Löfgren		2	26(26)