



**LUNDS**  
UNIVERSITET

LUNDS TEKNISKA HÖGSKOLA  
FUKTCENTRUM VID LUNDS UNIVERSITET

Avd Byggnadsmaterial

# **FUKTMÄTNING I BYGGNADER**

**En informationskrift**

**Lars-Olof Nilsson  
Anders Sjöberg  
Åse Togerö**

TVBM-7188

Lund 2005

ISSN:0348-7911 TVBM

Lunds tekniska högskola  
Byggnadsmaterial  
Box 118  
221 00 Lund

Tel: 046-222 74 15  
Fax: 046- 222 44 27  
[www.byggnadsmaterial.lth.se](http://www.byggnadsmaterial.lth.se)

# INNEHÅLLSFÖRTECKNING

|  |           |
|--|-----------|
| <b>FÖRORD</b>                                      | <b>5</b>  |
| <b>INTRODUKTION</b>                                | <b>7</b>  |
| VARFÖR MÄTA FUKT?                                  | 7         |
| FUKTTEORI  | 8         |
| MÄTPRINCIPER                                       | 10        |
| VAD MÄTA?  | 11        |
| <b>MÄTMETODER FÖR FUKTINNEHÅLL - FUKTKVOT, KMG</b> | <b>13</b> |
| GRAVIMETRISKA METODER                              | 13        |
| KEMISKA METODER (KARBIDMETODEN)                    | 16        |
| ELEKTRISKA METODER                                 | 17        |
| ÖVRIGA METODER                                     | 20        |
| <b>MÄTMETODER FÖR FUKTTILLSTÅND - RF</b>           | <b>21</b> |
| INTRODUKTION                                       | 21        |
| HYGROSKOPISKA MÄTPRINCIPER                         | 22        |
| PSYKROMETRISKA METODER                             | 23        |
| DAGGPUNKTSMETODER                                  | 24        |
| MEKANISKA HYGROMETRISKA METODER                    | 25        |
| ELEKTRISKA IMPEDANSMETODER                         | 25        |
| ÖVRIGA METODER                                     | 28        |
| <b>MÄTMETODER FÖR TEMPERATUR</b>                   | <b>29</b> |
| VÄTSKETERMOMETER                                   | 29        |
| ELEKTRISKA METODER                                 | 29        |
| STRÅLNINGS-ABSORBERANDE TERMOMETRAR                | 31        |
| <b>MÄTFÖRFARANDE</b>                               | <b>33</b> |
| FUKT I LUFT  | 33        |
| FUKTTILLSKOTT HOS VENTILATIONSLUFT                 | 33        |
| FUKTINDIKATION PÅ YTOR                             | 34        |
| FUKTINDIKATION I TRÄSYLLAR                         | 35        |
| KONTROLL AV LEVERANSFUKT                           | 36        |
| KONTROLL AV BYGGFUKT                               | 37        |
| FUKTINNEHÅLL OCH FUKTTILLSTÅND HOS UTTAGET PROV    | 41        |
| REKOMMENDATION                                     | 44        |
| <b>RESULTATREDOVISNING</b>                         | <b>45</b> |
| <b>FEL OCH MÄTOSÄKERHET</b>                        | <b>46</b> |
| INLEDNING  | 46        |
| OLIKA FELTYPER                                     | 46        |
| MÄTOSÄKERHET                                       | 48        |
| UTVÄRDERING AV MÄTOSÄKERHETEN                      | 51        |
| RIMLIGHETSKONTROLL                                 | 52        |
| <b>KALIBRERING</b>                                 | <b>54</b> |
| HUR KALIBRERA?                                     | 54        |

|                                 |           |
|---------------------------------|-----------|
| <b>KALIBRERING AV RF-GIVARE</b> | <b>55</b> |
| <b>KALIBRERING AV VÅGAR</b>     | <b>59</b> |
| <b>ORDLISTA</b>                 | <b>60</b> |
| <b>FUKT</b>                     | <b>60</b> |
| <b>MÄTINSTRUMENT</b>            | <b>61</b> |
| <b>LITTERATUR</b>               | <b>62</b> |

# FÖRORD

FuktCentrum, och dess föregångare Fuktgruppen, har gett ut en mängd informationsskrifter allmänt om fukt: om materialegenskaper och fuktmätning, om fukt i olika byggnadsdelar och om fuktdimensionering. En enkel översikt över fuktmätning har ingått i en tidigare skrift, men en skrift med mer konkret information har saknats. Denna skrift syftar till att fylla en del av detta tomrum.

Skriften ger en översikt över olika fuktmätningssprinciper, fuktmätningssmetoder och mätförfaranden i olika typer av tillämpningar. Innehållet bygger mycket på författarnas egna erfarenheter av fuktmätningar i byggnader och i laboratorieundersökningar.

Skriftens tillkomst har finansierats av SBUF. Ett ursprungligt första rapportutkast har utförts av Göran Hedenblad. Därefter har Lars-Olof Nilsson, Anders Sjöberg och Åse Togerö fortsatt arbetet. Bidrag med litteratur, referenser och konstruktiva synpunkter har lämnats av ett flertal personer, bland andra Anders Anderberg, Jesper Arvidsson, Peter Brander, Lars-Erik Harderup, Dragan Morovic, Ted Rapp, Ingemar Samuelsson och Kenneth Sandin.

Ett stort tack riktas till finansiärer och bidragsgivare.

Lund i december 2005

**MÄT RÄTT!**  
*Kan du inte mäta rätt? LÅT BLI!*

*Felaktiga mätresultat är ofta sämre än inga alls!  
Anlita någon som kan; det finns specialister!*



# INTRODUKTION

## VARFÖR MÄTA FUKT?

Det finns många anledningar till att man vill mäta fukt i luft, material och konstruktioner. De vanligaste skälen i byggsammanhang är följande

- Kontrollera/dokumentera inneklimat
- Avgöra eventuellt fukttillskott
- Leveranskontroll
- Jämförelse med kritisk nivå
- Kontroll av uttorkning
- Avgöra fukttransportriktning

### ***Kontrollera/dokumentera inneklimat***

I samband med en besiktning av en byggnad, t ex vid en skadeutredning, är uppgifter om inneklimatet just vid besiktningstillfället viktiga för en del observationer som görs. Ibland finns det då också anledning att följa hur inneklimatet varierar under längre tid.

Inneklimatet kontrolleras och dokumenteras genom att mäta relativ fuktighet och temperatur i rumsluften.

### ***Fukttillskott?***

Fuktbalansen i en byggnad kan enkelt bedömas genom att bestämma fukttillskottet hos rumsluften, dvs. skillnaden i ånghalt mellan inneluft och uteluft. Detta görs genom att mäta relativ fuktighet och temperatur i rumsluften respektive uteluften.

En sådan mätning görs ofta, i samband med en skadeutredning, i flera punkter i en ventilerad byggnadsdel för att avgöra om luftströmmen har fått ett onormalt eller oväntat fukttillskott.

### ***Leveranskontroll***

Då material levereras till en byggarbetsplats finns det anledning att kontrollera fukttillståndet eller fukttillståndet hos vissa material, t ex

sådana material där krav ställts på fukt vid inköp eller material där fuktnivån inte normalt är hög men man kan misstänka att materialet har uppfuktats tidigare under transport och lagring.

Kontroll av leveransfukt sker som regel genom att mäta fuktkvot hos ett materialprov eller fuktkvot med en elektrisk fuktkvotsgivare vars elektroder slås in i materialet.

### ***Kontroll av uttorkning***

För att följa ett uttorkningsförlopp, för att kunna avgöra hur långt uttorkningen kommit, mäts fukttillstånd eller fukttillstånd i en eller flera punkter på olika djup i materialet. Över det hygroskopiska området mäts fuktkvot medan i det hygroskopiska området antingen fuktkvot eller relativ fuktighet kan mätas. Genom att göra fortlöpande mätningar kan uttorkningsförloppet följas och dokumenteras.

### ***Jämförelse med kritisk nivå***

För att avgöra om ett material är tillräckligt torrt måste en mätning utföras där absolutvärdet kan jämföras med en kritisk eller acceptabel fuktnivå. Vilken storhet man skall mäta beror på hur den kritiska eller acceptabla nivån uttrycks.

### ***Avgöra fukttransportriktning***

I samband med utredning av en fuktskada är det ofta avgörande för diagnosen att kunna visa hur fukten vandrar, dvs. i vilken riktning fukttransport sker. I de flesta fall görs detta genom att bestämma ånghalten i flera punkter i ett material, dvs. en ånghaltsprofil. Detta görs genom att mäta temperaturprofilen i mätpunkten samt relativ fuktighetsprofilen, antingen på uttagna prover eller i borrhål på olika djup.

## FUKTTEORI

Här ges bara en mycket kort beskrivning av den fuktteori som behövs för senare avsnitt i rapporten. För en mera fyllig beskrivning hänvisas till övriga informationsskrifter i serien *Fuktsäkerhet i byggnader*.

### Fukt i luft

Fukt i luft är huvudsakligen vattenånga, men kan också vara aerosoler, dvs. små, luftburna vattendroppar. Mängden vattenånga beskrivs som en koncentration i luften, dvs. mängd per volymenhet luft, ånghalten  $v$ . Denna anges i  $\text{kg/m}^3$  eller  $\text{g/m}^3$ . Mängden vattenånga i luft har en övre gräns, mättnadsånghalten  $v_m$ . Mättnadsånghalten är starkt temperaturberoende. Vid  $\pm 0^\circ\text{C}$  är den ca  $4 \text{ g/m}^3$  och vid  $+20^\circ\text{C}$  är den ca  $17 \text{ g/m}^3$ . Den temperatur då mättnadsånghalten är lika stor som ånghalten kallas daggpunkten.

Förhållandet mellan ånghalten och mättnadsånghalten är den relativa fuktigheten, RF eller  $\phi$

$$\phi = \frac{v}{v_m(T)}$$

som är kraftigt temperaturberoende för luft. Då temperaturen stiger, sjunker RF och tvärtom. Om temperaturen sjunker till daggpunkten blir relativa fuktigheten 100 %. Om temperaturen sjunker under daggpunkten, faller vattenånga ut som kondens eller dimma. Mängden kondenserad vattenånga bestäms av skillnaden mellan ånghalten och mättnadsånghalten vid den aktuella temperaturen.

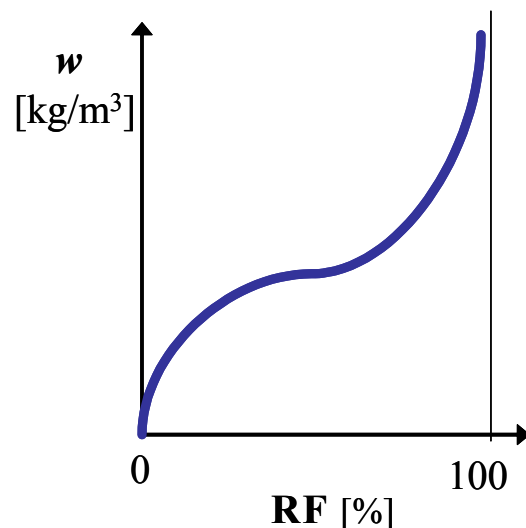
### Fukt i material

Fukt i material kan antingen anges som fukttinnehållet, dvs. fukthalt ( $w$ ), fuktkvot ( $u$ ) eller (kapillär)mättnadsgrad ( $S$ ), eller som fuktillståndet, dvs. relativ fuktighet (RF) eller porvattentryck ( $P_w$ ).

### Sorptionskurvan

Sambandet mellan fukttinnehåll och fuktillstånd i ett material beskrivs med sorptionskurvan eller jämviktsfuktkurvan.

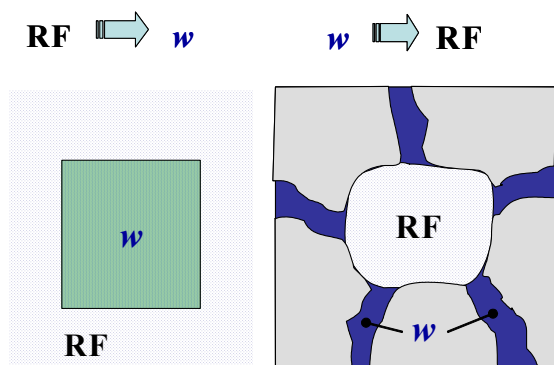
Det principiella utseendet hos detta samband åskådliggörs i Figur 1.



Figur 1. Sambandet mellan relativ fuktighet RF och fukttinnehåll  $w$ : sorptionskurvan.

Sorptionskurvan anger vilket fukttinnehåll  $w$  ett material kommer att ha när det står i jämvikt med luft som har en viss relativ luftfuktighet RF. Sorptionskurvan säger också vilken porfuktighet RF ett material har, om det har ett visst fukttinnehåll  $w$ . Sambandet gäller alltså i båda riktningarna, jfr Figur 2 och Figur 3.

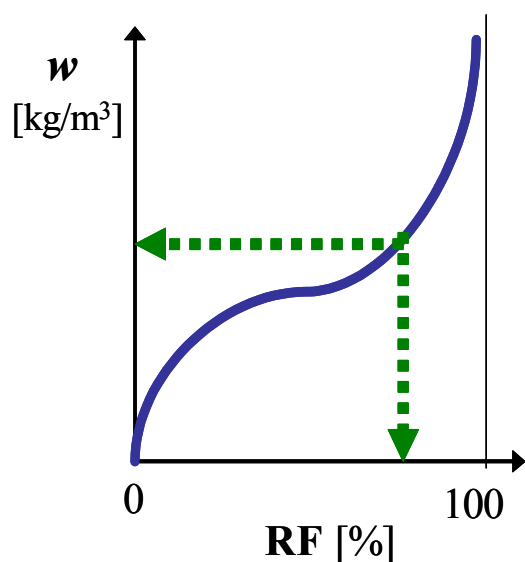




Figur 2. Sambandet mellan relativ fuktighet RF och fukthalt  $w$  gäller i båda riktningar.

För ett visst material är följaktligen fukttinnehållet  $w$  och porfuktigheten RF starkt knutna till varandra. I en punkt i materialet måste båda ligga på sorptionskurvan. Sorptionskurvan visar den lokala jämvikten i varje punkt i materialet, jämför Figur 3.

En exakt beskrivning fordrar att sorptionskurvan är noggrant kvantifierad.



Figur 3. Sambandet mellan RF och  $w$ : båda måste ligga på sorptionskurvan!

Avancerade tillämpningar kräver ibland att man tar hänsyn till hysteres, dvs. att sorptionskurvan ligger högre vid uttorkning än vid uppfuktning, och

scanningkurvor, då uttorkning följs av uppfuktning eller omvänt.

Jämviktsfuktkurvor enligt Figur 1 beskriver inte alltid ett materials hela fukt beteende. Figuren visar bara det hygroskopiska området 0-98 % RF, dvs. jämviktsfuktkurvan beskriver bara vad som händer i de små porerna. Om även de stora porerna delvis är fyllda med vatten, t ex på grund av uppsugning av vatten, ligger sambandet mellan fukttinnehåll och RF över det hygroskopiska området, dvs. i området 98-100 % RF. I detta område är sorptionskurvan mycket brant för många material. Exempel är trä, lättbetong och tegel.

En viss inverkan av temperaturen på jämviktsfuktkurvorna finns. Denna varierar från material till material. Generellt gäller att jämviktsfuktkurvan ligger högre, dvs. högre fukthalt eller fuktkvot, vid lägre temperatur. Detta medför att då fukttinnehållet är konstant och temperaturen höjs så höjs även RF. Detta är tvärtemot vad som händer då luft med konstant fukttinnehåll utsätts för en temperaturhöjning. I detta senare fall sänks RF.

Temperatureffekten i material är som regel väldigt liten, några tiondels procent RF per grads temperaturändring. Den behöver bara beaktas om man skall göra mycket noggranna mätningar av RF och temperaturen avviker från den temperatur där man vill bestämma RF. Effekten är också viktig att ta hänsyn till om man mäter RF vid mycket höga temperaturer, t ex vid högtemperaturuttorkning eller vid mätning i golv med golvvärme.

## **MÄTPRINCIPER**

Fuktmätning görs efter ett begränsat antal mätprinciper. Dessa principer sammanfattas här och beskrivs mera i detalj i senare kapitel. Vilken mätprincip man tillämpar beror i huvudsak på syftet med mätningen.

### ***Innehåll – tillstånd***

Att mäta fuktinnehåll respektive fukttillstånd är två helt olika typer av fuktmätningar. Fuktinnehållet är svårt att översätta till fukttillstånd med stor noggrannhet, och tvärtom.

Jämviktsfuktkurvan ger visserligen en viss uppskattning, men om man vill veta fuktinnehållet skall man mäta fuktkvot eller fukthalt och inte RF i första hand. På samma sätt skall man mäta RF direkt om man vill få en uppfattning om fukttillståndet, t ex för att avgöra hur fukt vandrar, och då inte mäta fukthalt eller fuktkvot.

### ***Kalibrering***

Om man med en fuktmätning vill bestämma absolutvärdet hos fuktinnehållet eller fukttillståndet kräver de flesta mätmetoder att man gör en kalibrering av mätutrustningen. Det innebär att man jämför utslaget från mätutrustningen med kända värden på fuktinnehåll eller fukttillstånd i en särskild jämförande test.

Om mätutrustningen inte kalibrerats nyligen kan man få stora mätosäkerheter och eventuellt stora mätfel. Med en sådan utrustning gör man ingen fuktmätning alls; bara en "fuktindikation".

### ***Indikation – absolutvärde***

Absolutvärden som inte är korrekta kan ibland ändå användas för att "indikera" skillnader i fuktinnehåll eller fukttillstånd. Det är särskilt vanligt i fall där det ändå är svårt att göra en noggrann fuktmätning och där

absolutvärdet inte är viktigt att få fram. Det kan t ex vara när man vill hitta en lämplig mätpunkt för en noggrannare fuktmätning. En fuktindikation kan då visa fel absolutvärden men om värdena åtminstone är jämförbara, kan de användas för en indikation av var ytterligare mätning bör ske.

### ***Fuktfördelning***

I många fall behöver man bestämma hur fukten är fördelad i ett material eller konstruktion. Man mäter då fuktinnehåll eller fukttillstånd på olika djup i materialet eller konstruktionen och får då fram en "fuktprofil", dvs. en fuktfördelning.

### ***Fukt- och temperaturmätning***

Ibland är ett fuktmätningresultat meningslöst om inte temperaturen vid mättillfället också bestämdes. Detta gäller t ex om man vill bestämma ånghalten i luft, fukttillskottet i en byggnad och fukttransportriktningen i ett material eller konstruktion. I sådana fall måste temperaturen mätas i samma mätpunkt vid samma tillfälle som fuktmätningen gjordes eller som prover för fuktmätning togs ut. Fuktmätning kan göras på laboratorium men temperaturmätning måste alltid göras på plats i byggnadsdelen!

## VAD MÄTA?

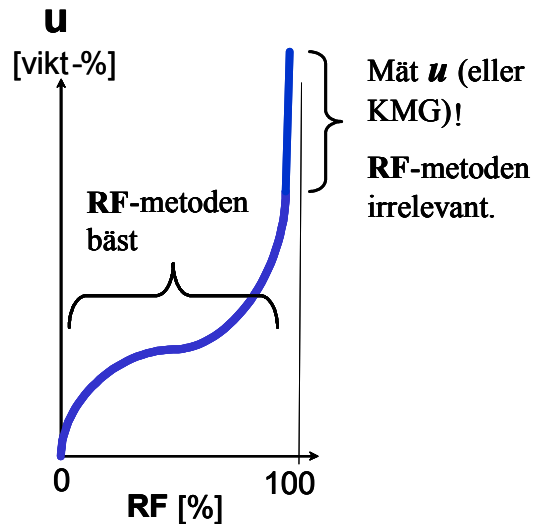
Vilken storhet man skall mäta beror naturligtvis i första hand på syftet med mätningen. Olika storheter är dessutom lämpligare att mäta än andra beroende på vilken noggrannhet man kan uppnå. RF kan normalt mätas relativt noggrant upp till ca 95-98 % RF. Fukthalt eller fuktkvot kan mätas relativt noggrant i hela området från torrt upp till vattenmättat material.

Vid höga RF är jämviktsfuktkurvorna för många material mycket branta, dvs. en liten ändring i RF ger en relativt stor ändring i fukthinnehållet. Det innebär att RF inte är ett bra mått på hur långt man kommit i ett uttorkningsförlopp i området 98-100 % RF.

Däremot kan man som regel mäta RF noggrannare än fuktkvot, dvs. man kan bestämma läget på sorptionskurvan med större noggrannhet. Lämplig mätstorhet är alltså olika i olika mätområden, se Figur 4.

Följande rekommendationer kan ges för homogena material.

- 1) Vid jämviktsfuktkurvor som är relativt linjära kan antingen RF eller fukthinnehåll mätas.
- 2) Vid nästan horisontella delar av en jämviktsfuktkurva är RF ett bättre mått än fukthalt eller fuktkvot.
- 3) Vid branta delar på jämviktsfuktkurvorna är ofta fukthalt eller fuktkvot ett bättre mått än RF
- 4) I grovporösa material är mätning av fukthinnehåll det enda rimliga sättet att mäta fukt.



Figur 4. Lämplig mätstorhet i olika mätområden.

I inhomogena material, som t ex betong med grov ballast, är det ofta bättre att bestämma kapillärmättnadsgraden än att bestämma fukthalt eller fuktkvot. För att få ett representativt prov behövs det stora prov för att bestämma fukthalt eller fuktkvot men för kapillärmättnadsgraden är oftast "normala" provstorlekar tillräckligt. Se avsnittet om kapillär mättnadsgrad.



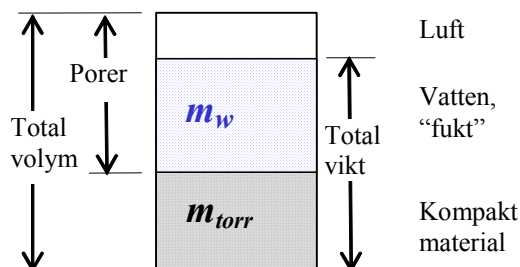
# MÄTMETODER FÖR FUKTINNEHÅLL - FUKTKVOT, KMG

## GRAVIMETRISKA METODER

### Inledning

Vid all mätning av fuktinnehåll avser mätningen att bestämma mängden fukt i ett material och sätta denna mängd i relation till en materialmängd, vikt eller volym. Om mätningen görs "gravimetriskt", dvs. mängden fukt och mängden material bestäms genom vägning, är metoden en gravimetrisk metod. Eftersom volym är svår att mäta på ett materialprov, sätts fuktmängden  $m_v$  som regel i relation till vikten hos materialet, normalt torrvikten  $m_{\text{torr}}$ . Det erhållna mätvärdet blir då en "fuktkvot"  $u = m_v/m_{\text{torr}}$ , oftast redovisad som vikt-%. Observera att i vissa tillämpningar, och i vissa länder, används begreppet "% fukt" när man menar vikts-% av den våta vikten, inte den torra, eller volym-%.

Mätningen måste alltså skilja mellan vad som är "fysikaliskt bundet vatten", dvs. "fukt" i ett material och vad som inte är det. I material där en del av vattnet är kemiskt bundet måste man skilja mellan detta och det fysikaliskt bundna vattnet.



Figur 5. Volym- och viktandelar av ett material.

Denna gränsdragning mellan "fukt" och "torrt material" görs med hjälp av en torkmetod som definierar begreppet "fukt" i det aktuella materialet. För olika tillämpningar och olika material används ibland olika torkmetoder. Mätvärden med olika metoder kan inte utan vidare jämföras.

### Torkmetoder

Den i Sverige traditionella torkmetoden för gravimetrisk mätning av fuktkvot är torkning i ugn vid +105°C. Det innebär att man utsätter provet för ett torkklimat inne i ugnen som innebär dels kraftig uppvärmning av provet så att uttorkningen går snabbt och dels exponering för en mycket låg luftfuktighet. RF i ugnen bestäms av ånghalten i rumsluften utanför ugnen, eventuellt förhöjd p g a fuktavgivning av andra prover i ugnen, och mätnadsånghalten vid +105°C. Vid t ex en ånghalt i luften på 7 g/m<sup>3</sup> blir RF i ugnen 1.0 %. Sommartid kan ånghalten i luften bli det dubbla, dvs. RF i ugnen kan då vara 2 %.

Vissa material, exempelvis gips, kan inte torkas vid så hög temperatur som 105°C. Istället används +40°C eller +50°C. Vid +50°C blir RF i ugnen 8.5 % respektive 17 %!

Andra torkprinciper innebär att man istället för att höja mätnadsånghalten genom temperaturhöjning, åstadkommer en låg RF genom att sänka ånghalten men bibehåller rumstemperatur hos provet. Ånghalten kan sänkas genom att luften kring provet cirkuleras i ett slutet system som också innehåller ett ämne vid mycket låg temperatur, t ex kolsyreis, eller ett torkmedel, t ex magnesiumperklorat. I båda fallen blir

ånghalten i luften extremt låg och RF därför mycket nära noll även om mätnadsånghalten inte är så hög.

### **Fördelar och felkällor**

Den gravimetriska metoden för fuktkvotsmätning är lämplig för de flesta tillämpningar där man vill bestämma fukttinnehållet hos ett materialprov.

För fuktmätning i allmänhet är metoden överlägsen de flesta andra metoder över det hygroskopiska området, dvs. då fukttinnehållet i materialet är mycket högt och RF är nära 100 %, jämför Figur 4.

Felkällorna hos gravimetriska metoder är i princip fyra:

- uttorkning av provet i samband med provtagning och hantering före första vägningen,
- förlust av material ur provet under hantering och vägning,
- felaktig temperatur i ugnen och
- bristande representativitet hos prov av heterogena material.

Den sista felkällan kan minskas genom att ta större prov eller mäta kapillär mätnadsgrad KMG, se nästa avsnitt.

### **Kapillär mätnadsgrad KMG**

Kapillärmätnadsgraden definieras på följande sätt:

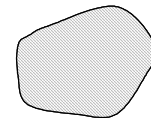
$$KMG = u / u_{\text{kap}}$$

där  $u$  är ursprunglig fuktkvot hos provet och  $u_{\text{kap}}$  är fuktkvoten hos samma prov sedan det mättats kapillärt.

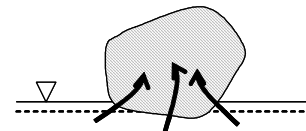
Om provet inte är representativt blir båda fuktkvoterna felaktiga, men felet är procentuellt lika stora. Genom division elimineras därmed felet.

Mätningen görs på följande sätt: Materialprovet rensas från bormjöl och bitar som kan lossna avlägsnas, varefter provet vägs så snabbt som möjligt så att det inte hinner torka. Efter vägning placeras provet med sin undersida i kontakt med en fri vattenyta och ett avdunstningskydd placeras över. Efter några dygn, då provets överyta är synligt blöt och provet har mättats kapillärt, torkas vatten på ytan av och provet vägs igen. Därefter torkas provet i ugn vid +105°C, varefter KMG beräknas ur de båda fuktkvoterna. Förfarandet åskådliggörs i Figur 6.

Prov:



Kapillär mätnad:



Figur 6. Principiell metodik vid bestämning av kapillär mätnadsgrad KMG.

Mätförfarandet beskrivs i detalj av Hedenblad & Nilsson (1985), med information om lämpliga provstorlekar, kapillärsugningstider, felkällor etc.

Kapillär mätnadsgrad är en storhet som är särskilt lämplig att bestämma i två fall:

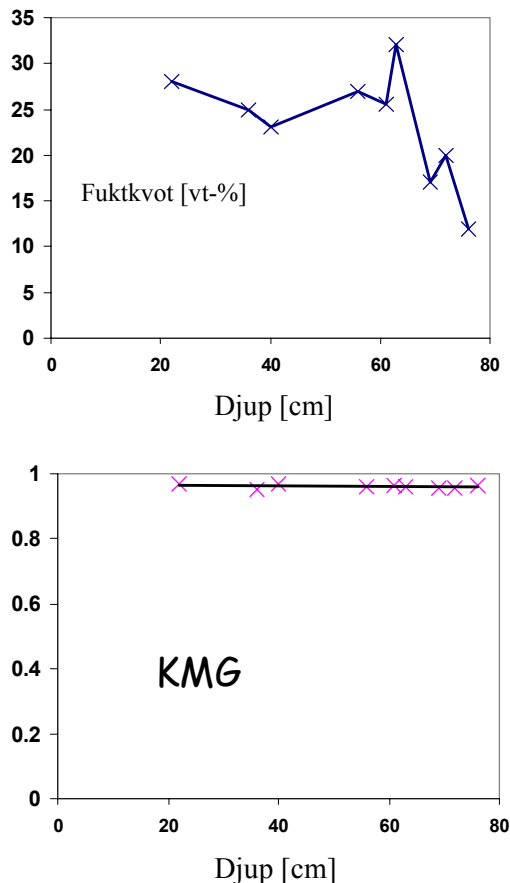
- 1) mätning av fukttinnehåll på små prover av heterogena material och
- 2) påvisa att ett material står i kapillär kontakt med en fri vattenyta

Det första alternativet har fått viktiga tillämpningar för betong där ballastkornen medför att ett litet prov

sällan blir representativt, men metoden lämpar sig också för många andra heterogena material, t ex tegel.

### Exempel 1

Ett exempel visas i Figur 7, fuktkvotsfördelningen (överst) respektive fördelningen av kapillär mättnadsgrad mätt på samma prover, tagna ur en murverksvägg i Vadstena klosterkyrka, Sandin (1974).



Figur 7. Fuktkvotsfördelningen (överst) respektive fördelningen av kapillär mättnadsgrad, tagna ur en murverksvägg i Vadstena klosterkyrka, Sandin (1974).

Väggen består av stora naturstenar ytterst i "skal" på ömse sidor och en fyllning mellan av kalkbruk innehållande stora och mindre stenar och grus. Uttagna prover innehåller högst varierande andel bruk och fuktkvoten varierar kraftigt mellan de olika proverna. Värdena på KMG på samma prover visar istället nästan

identiska värden, nära 1.0, dvs. väggmaterialet är nästan kapillärt mättat genom hela väggen!

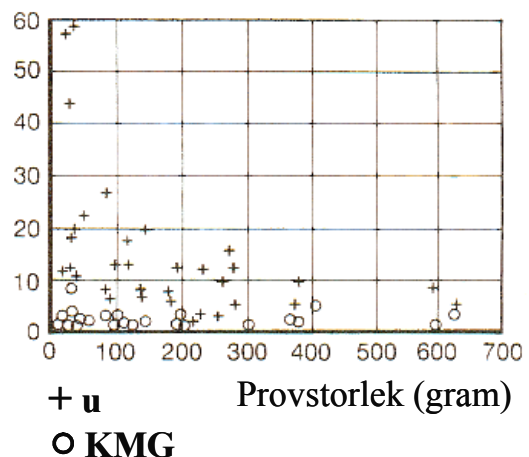
Fuktkvotsprofilen kunde annars ge den felaktiga uppfattningen att väggen var torrare på insidan än i de centrala delarna.

### Exempel 2

Ett exempel för olika stora prover av betong med grov ballast visas i Figur 8. Spridningen i en fuktkvotsmätning är kraftigt beroende av provets storlek, och ballastkornens storlek. För små prover på ca 20 g kan avvikelserna bli upp till 60 % av mätvärdet! Om man istället mäter KMG på precis samma prov blir avvikelserna mindre än 3-4 % och oberoende av provstorleken!

#### Fel

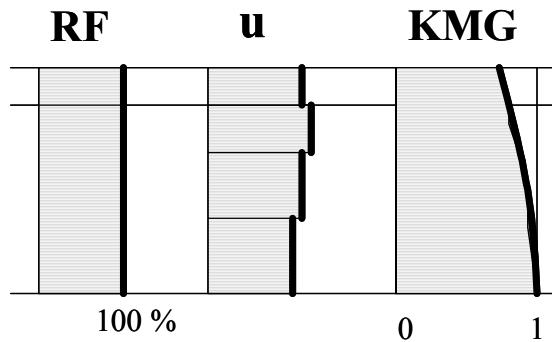
(% av medelvärdet)



Figur 8. Fel i mätning av fuktkvot (u) och kapillär mättnadsgrad (KMG) vid olika storlek på materialprovet.

### Exempel 3

Stenseparation under gjutning kan också medföra att ballasthalten blir olika i topp och botten av en betongplatta. Fukthinnehållet blir då olika även om man tar ett stort prov. Ett exempel visas i Figur 9 för en betongplatta på mark med en pågjutning av cementbruk.



Figur 9. Fuktprofil uttryckt i relativ fuktighet, fuktkvot och kapillär mättnadsgrad för en betongplatta.

Relativa fuktigheten är 100 % på alla djup och kan inte avslöja i vilken riktning fukten vandrar.

Fuktkvotmätningen visar högst fuktkvot i toppen av betongplattan, vilket skulle kunna tolkas som att det är fuktigast högst upp och att fukt vandrar uppifrån och ner. Ett läckande rör skulle kunna misstänkas vara fuktkällan.

Bestämning av KMG på samma prover visar istället att botten av plattan är fuktigast; den ligger nära kapillär mättnad, men det gör inte toppen. Fukt vandrar alltså inte neråt utan möjligen uppåt. Den övre delen kan också ha lägre KMG p g a hysteres; de delarna har uppfuktats sedan golvbeläggningen applicerats och fuktförhållandena ligger därför på en scanningkurva och inte på desorptionsisotermen.

Cementbruket är ett helt annat material och har därför en helt annan fuktkvot än betongen. KMG kan dock jämföras, även om en sådan jämförelse inte är helt teoretiskt korrekt annat än för  $KMG=1.0$ !

### Översättning till RF

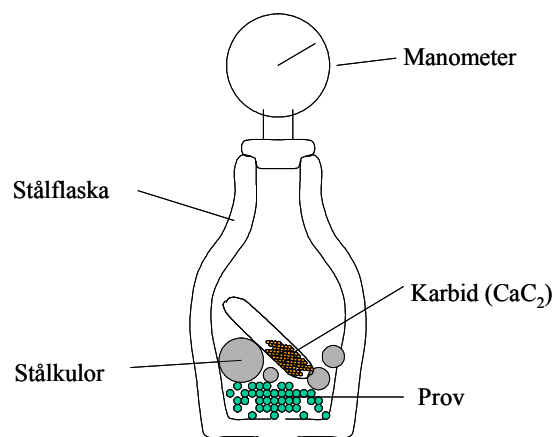
Om man vet något om materialsammansättningen och materialets fukthistoria kan man, med

hjälp av sorptionskurvan, göra en grov uppskattning av RF från fuktkvot eller KMG. För betong kan en sådan översättning inte göras då enbart fuktkvoten bestämts, på grund av den stora osäkerheten i fuktkvotsvärdet. För alla material blir tillförlitligheten i översättningen starkt beroenden av hur säkert man känner sorptionskurvan. Felen kan bli mycket stora. Mycket säkrare är naturligtvis att mäta RF direkt.

## KEMISKA METODER (KARBIDMETODEN)

Kemiska metoder för fuktmätning utnyttjar en kemisk reaktion mellan vatten i ett materialprov och någon kemikalie. Förbrukad mängd av kemikalien eller erhållen mängd reaktionsprodukt är kopplad till mängden vatten i provet.

Det finns egentligen bara en kemisk metod för fuktmätning, karbidmetoden CM. Metoden består av en stålfaska med ett lock med gummipackning och en manometer som mäter trycket i flaskan.



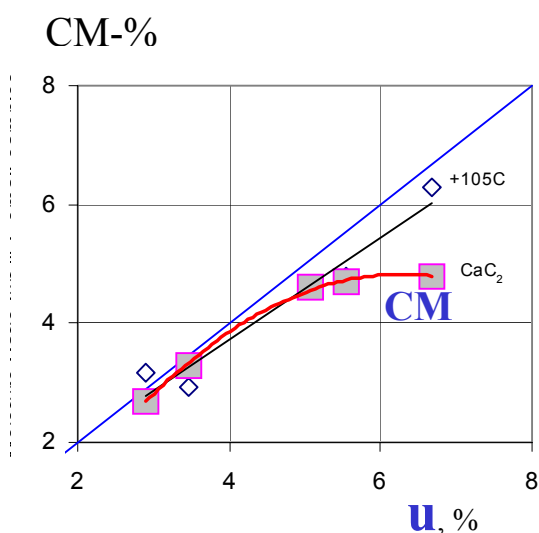
En viss mängd (fuktigt) prov  $m_{\text{våt}}$  vägs upp och placeras i stålfaskan tillsammans med stålkulor och en glasampull innehållande kalciumkarbid. Locket sätts på och flaskan skakas om. Stålkulorna slår då sönder glasampullen så att kalciumkarbid



frigörs och blandas med provet och reagerar kemiskt med vattnet i provet, dvs. fukten. Vid den kemiska reaktionen bildas acetylängas. Mängden gas, och därmed det avlästa gastrycket, är direkt proportionell mot mängden vatten i provet. Med hjälp av gastrycket och uppvägd provmängd kan fuktkvoten avläsas i en tabell.

Mätvärdet kallas "fukthalten i %", som i själva verket är fuktkvoten i vikt-% av den våta vikten av provet,  $u_{\text{våt}}$ . Detta skiljer sig något från den vanliga fuktkvoten  $u$  som anges i vikt-% av den torra vikten:  $u_{\text{våt}} = u/(1+u)$ . För låga fuktkvoter blir skillnaden inte så stor, t ex bara ca 5 % fel vid 5 % fuktkvot, men vid höga fuktkvoter blir felet stort, t ex vid 100 % fuktkvot är "fukthalten i %" bara 50 %!

För fasta, porösa material måste provet krossas för att kalciumkarbiden skall kunna komma i kontakt med fukten inom rimlig tid. Efter denna krossning torkar provet avsevärt eftersom provet nu består av mycket små partiklar och man måste väga upp en viss provmängd av det krossade material. Ett exempel visas i Figur 10.



Figur 10. Korrelation mellan "fukthalt i %" (CM-%) och fuktkvot ( $u$ , %), Nilsson (1980).

Karbidmetoden fungerar bra för fuktmätning i icke-porösa material som sand, grus och sten, som inte behöver krossas före mätning.

## ELEKTRISKA METODER

### Mätprinciper och fördelar

Elektriska metoder för att mäta fukttinnehåll baseras på att de elektriska egenskaperna (resistans, konduktans, kapacitans, impedans) är olika för vatten och fasta material. Någon av dessa egenskaper mäts med likström eller växelström mellan elektroder som antingen slås in i materialet eller som placeras på ytan av materialet. Fuktkvoten erhålls genom kalibrering av ett elektriskt utslag mot känd fuktkvot i materialet.

Den stora fördelen med elektriska metoder är att det är snabbt och enkelt att genomföra en mätning. Ett mätvärde kan erhållas inom några sekunder.

### Nackdelar

Den största nackdelen är behovet av omfattande kalibrering för att översätta ett elektriskt utslag till en fuktkvot. För heterogena material blir spridningen i uppmätta elektriska egenskaper särskilt stor. Dessa nackdelar har medfört att elektriska metoder för fuktkvotsbestämning så gott som enbart används för trä, som är relativt homogent och där det elektriska utslaget för ett och samma träslag varierar relativt lite med varierande densitet. För de flesta andra material används elektriska metoder främst för att indikera fuktvariationer, utan att ett absolutvärde på fuktkvot behövs. Hur elektriska metoder utnyttjas för fuktindikation beskrivs i ett särskilt avsnitt under rubriken Mätförfarande.

Det är också svårt att få god elektrisk kontakt mellan elektroderna och hårda material. Räckvidden in i ett material är dessutom mycket begränsad vid användning av ytelektroder.

Elektrisk resistans och kapacitans är kraftigt temperaturberoende, vilket gör att en fuktmetning måste kombineras med en temperaturmätning i samma punkt som den elektriska egenskapen mättes.

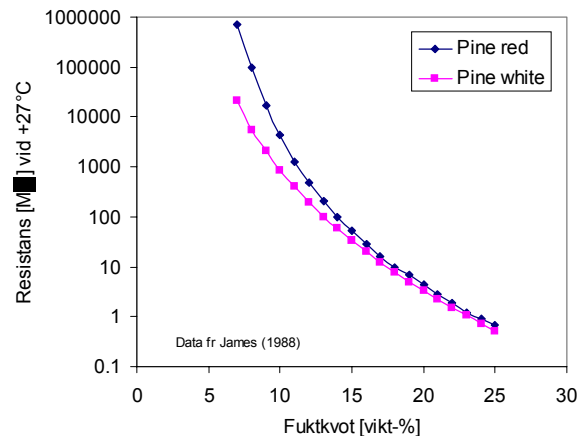
I många fuktiga material finns lösta ämnen i porvattnet. Koncentrationen av dessa ämnen har mycket stor inverkan på elektrisk ledningsförmåga och motstånd. Om dessa ämnen förflyttas och ansamlas i materialet, t ex på grund av fukttransport och uttorkning, bibehålls inte kalibreringen av elektrisk egenskap mot fuktkvot.

Ojämn fuktfördelning mellan elektroderna ger svårigheter. Utslaget påverkas mest av det fuktigaste partiet mellan elektroderna och av området närmast elektroderna. Detta gör det svårt att mäta där det finns fuktgradienter.

Vid mätning med elektroder minskar i regel mätutslaget med tiden. Fuktkvotmätaren bör därför avläsas strax efter inslagning av elektroderna.

### **Samband resistans - fuktkvot**

Resistansen förändras mycket kraftigt med fukttinnehållet i trä, se exemplet i Figur 11, så att resistansen, motståndet, minskar då fukttinnehållet ökar. Vid låga fuktkvoter är motståndet extremt stort, 100-tals G $\Omega$ , vilket gör att man inte kan mäta lägre fuktkvot än 7-8 %.



Figur 11. Exempel på uppmätt resistans hos ett par slag av furu som funktion av fuktkvoten, James (1988).

Vid höga fuktkvoter, strax under fibermättnadspunkten (25-30 %), är motståndet mycket litet, några 100 k $\Omega$ , vilket gör det svårt att få någon precision i fuktkvotmätningar. Mätområdet är alltså ca 7-25 % fuktkvot.

Fantastiskt nog påverkas inte det elektriska motståndet särskilt mycket av träets densitet. Man måste alltså inte veta hur stor densiteten är hos virket. Däremot är träslaget avgörande och eventuell förekomst av impregneringsmedel. Det finns också exempel där växtfel som t ex vresved påverkat sambandet.

Sambandet mellan resistans och fuktkvot är kraftigt temperaturberoende, vilket gör att det elektriska utslaget måste korrigeras med hänsyn till aktuell temperatur. De fuktkvotinstrument som finns tillgängliga på marknaden är olika uppbyggda. Sambandet resistans – fuktkvot kan för samma träslag skilja mellan instrumenten.

### **Samband kapacitans – fuktkvot**

Dielektricitetskonstanten hos ett fuktigt material ökar med fuktinnehållet. Effekten är större ju större frekvensen är hos det pålagda elektriska fältet.

Till skillnad från resistansen, påverkas kapacitansen av materialets densitet. Detta är en förklaring till att kapacitiva elektriska metoder sällan används för bestämning av absolutvärden om materialet inte är väldefinierat.

### **Instrumenttyper och elektrodtyper**

Skillnaden mellan olika instrument är dels vilken elektrisk egenskap de mäter och dels hur elektroderna är arrangerade. Som regel mäts resistans mellan elektroderna inne i materialet medan kapacitans mäts mellan ytelektroder.

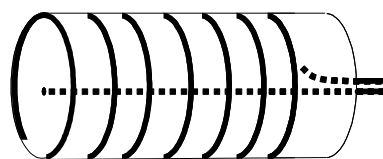
Resistansen mellan elektroderna är störst alldeles intill elektroderna, eftersom strömtätheten är störst där. Det innebär att avståndet mellan elektroderna har mindre betydelse än elektrodutformningen, t ex elektrodernas dimension. Det går alltså inte, utan större osäkerhet, att utnyttja ett samband mellan fuktkvot och resistans för en elektrodtyp för användning med en annan elektrodtyp.

Många instrument har korta oisolerade metallstift som elektroderna. De ger då störst utslag för fukt närmast materialytan, men bör ha något större mätdjup än instrument med ytelektroder. För mätning på större djup används längre, isolerade metallstift. Utslaget påverkas huvudsakligen av fuktinnehållet intill spetsarna hos stiftet. Genom att successivt slå in sådana elektroderna till större och större djup, kan en fuktkvotprofil bestämmas.

Specialgivare har gjorts med varierande elektrodutformning. De

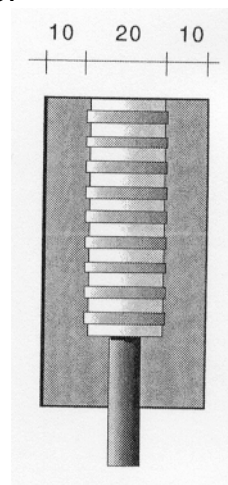
bygger alla på att man på något sätt placerar elektroderna i ett känt, homogent material som sedan har fuktkontakt med det material man vill mäta fuktinnehållet på.

En "BML-givare" användes för mätning i djupa borrhål i murverk i Vadstena klosterkyrka. Den bestod av två elektroder av koppartråd där den ena utformades som en spiral och den andra som en rak "mittpinne". Mellan elektroderna göts cementbruk så att det också omgärdade spiraltråden.



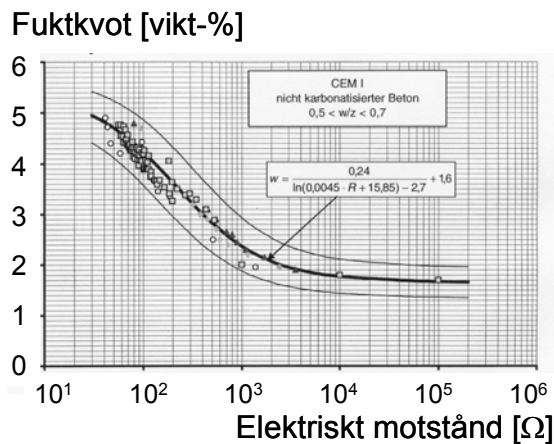
Figur 12. Elektrisk fuktgivare med en rak och en spiralformad koppartråd med diameter 12.5 mm som elektroderna, ingjutna i cementbruk, Sandin (1974).

En modern "multiringelektrodogivare" består av en serie metallskivor separerade med isolerande skivor så att givaren bildar en cylinder. Cylindern gjuts in i ett borrhål från materialytan. Genom att mäta resistansen mellan intilliggande metallskivor görs en elektrisk mätning av fuktkvotprofilen, se Figur 13.



Figur 13. Multiringelektrodogivare för ingjutning i borrhål. Siffrorna anger storleken i mm.

Sambandet mellan fuktkvot och elektriskt motstånd för en typ av multiringelektrod visas i figur Figur 13.



Figur 14. Samband mellan fuktkvot och resistans för multiringelektroddgivaren, Weydert (2005).

Flera typer av RF-givare bygger på olika principer för inbäddning av elektroder i ett känt material, se beskrivningen av hygroskopiska metoder baserade på elektrisk impedans nedan.

## ÖVRIGA METODER

Det finns idag några nya elektriska metoder som relativt snart kan få stor praktisk användning. Metoderna bygger i huvudsak på passiva, trådlösa sensorer som inte behöver någon strömförsörjning. Sensorer aktiveras när en avläsningsenhet placeras i närheten av sensorn. Ett av systemet är dessutom sensorlöst vilket innebär att det mäter fukten direkt i materialet utan någon sensor.

### Några fördelar med metoderna

- Sensorerna kan byggas in.
- Sensorerna behöver inga batterier.
- Tunna sensorer 1-2 mm.

### Några begränsningar med metoderna

- Svårt att hitta en inbyggd sensor.
- Kort räckvidd, < 10-50 cm.
- Låg upplösning hos mätvärdet.

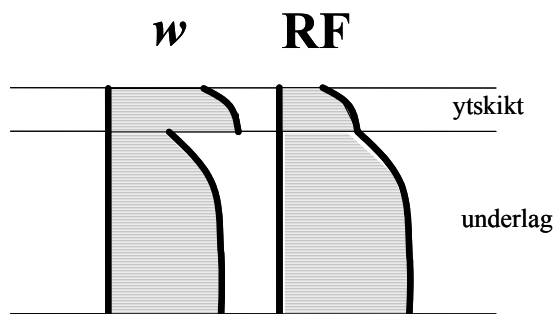
Sjöberg & Blomgren (2004) beskriver ingående dessa samt ytterligare ett antal nya system för fuktmätning i byggbranschen.

Med **mikrovågsteknik** kan fukt mätas direkt i alla icke-ledande material, utan någon sensor. Metodiken är dock svår att tillämpa i byggnader.

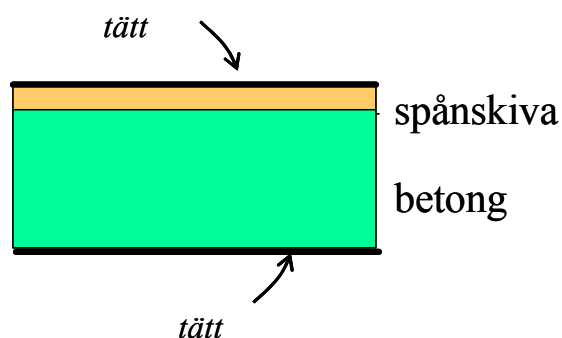
# MÄTMETODER FÖR FUKTTILLSTÅND - RF

## INTRODUKTION

Vid fuktmätning i ett material, för att kunna förutsäga hur ett annat material kommer att påverkas, är fukttillståndet ett dåligt mått. Fukthalten blir olika i två material som kombineras, t ex ett ytskikt på ett underlag. Den relativa fuktigheten RF blir däremot densamma i de båda materialen i kontaktytorna.



Skillnaden kan åskådliggöras med följande exempel. Fuktnivån i ett underlag av betong jämförs med fuktnivån i en spånskiva som läggs på denna betong och kvarvarande fukt stängs inne.



Olika mått på fuktnivån i de båda materialen visas i Tabell 1.

Tabell 1. Exempel på fuktnivåer i spånskiva och betong. De olika sätten att beskriva fukttillstånd förklaras i föregående kapitel.

|                             | Betong | Spånskiva |
|-----------------------------|--------|-----------|
| Fuktkvot, vikt-%            | 4      | 25        |
| Fukthalt, kg/m <sup>3</sup> | 90     | 160       |
| Fukthalt, vol.-%            | 9      | 16        |
| Fukthalt, CM-%              | 3.8    | 20        |
| RF, %                       | 95     | 95        |

Av mätvärdena i betongen är det bara RF som kan upplysa om hur fuktig spånskivan kommer att bli. RF blir lika i de båda materialen. De olika måtten på fukttillstånd ger helt olika värden i de båda materialen.

I Tabell 2 ges ett annat exempel där fuktkvoten hos flera olika material och materialkvaliteter jämförs. Den lägsta fuktkvoten har tegel med  $u=0.3$  vikt-%, och den högsta har trä, med  $u=16$  %. Övriga har fuktkvoter däremellan. Vilket material som är fuktigast, dvs. skulle fukta upp de andra om de kombinerades, vid samma temperatur, kan inte avgöras enbart med hjälp av fuktkvoterna.

Tabell 2. Fuktkvoter i olika material.

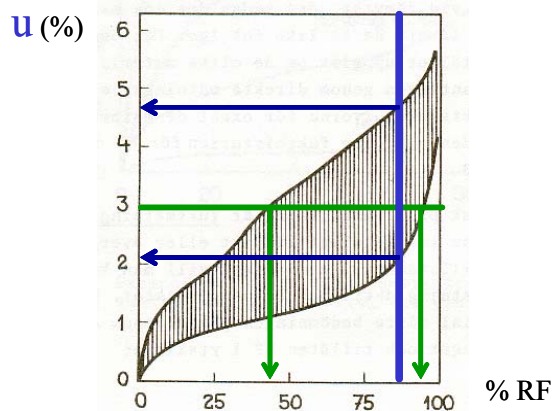
| Material   | Fuktkvot (vikt-%) |            |
|------------|-------------------|------------|
| Trä        | 16                |            |
| Lättbetong | 5                 |            |
| Tegel      | 0,3               | Fuktigast? |
| Betong K15 | 3                 |            |
| Betong K25 | 3,5               |            |
| Betong K40 | 4                 |            |

I själva verket är  $RF = 80$  % för alla sex materialen! För att bedöma vilket som är fuktigast är det naturligt att mäta RF direkt, istället för fuktkvot.

Ett sätt att bestämma RF skulle kunna vara att mäta fukttillståndet, som fuktkvot, och sedan översätta detta

värde till RF med hjälp av sorptionskurvan. Detta fungerar i teorin, men det fordrar att sorptionskurvan för det aktuella materialet är väl känd. Fel på grund av hysteres hos sorptionskurvan kan teoretiskt beaktas om man känner till fukthistorien, dvs. hur fuktigt det varit tidigare.

I praktiken finns sällan denna information utan översättningen kan bli behäftad med stora systematiska fel. I Figur 15 visas hur stora felen kan bli om fuktkvotsmätning i betong översätts till RF utan att man vet vilken betongkvalitet det är eller att man känner fukthistorien.



Figur 15. Mätosäkerhet på grund av olika betongkvaliteter och hysteres.

Fuktkvoter på 3 % i betong kan betyda RF mellan 45 och 90 %! Betonger med RF på 85 % kan ha fuktkvoter mellan 2 och 4.5 vikt-%!

*Vill man veta RF, skall man mäta RF direkt, utan den osäkra omvägen över fuktkvot.*

## HYGROSKOPISKA MÄTPRINCIPER

Med hygroskopiska mätmetoder mäter man luftfukt ("hygro"= luftfukt). Man kan mäta någon av storheterna daggpunkt eller relativ luftfuktighet.

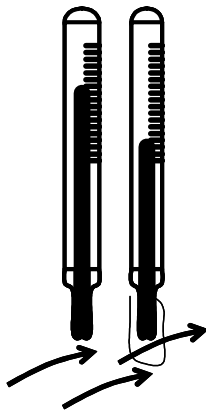
Det finns två olika mätprinciper, direkta och indirekta hygroskopiska mätprinciper. Vid direkta mätningar av luftfukt mäts direkt någon av storheterna som beskriver luftfuktigheten, t ex daggpunkt. Indirekta metoder för luftfukt mäter någon annan egenskap, som påverkas av luftfuktigheten. Genom kalibrering kan denna egenskap översättas till ett mått på luftfuktigheten.

Psykrometrar och daggpunktsgivare är exempel på direkta metoder för mätning av luftfukt. Givare som mäter elektrisk impedans är exempel på indirekta RF-givare.

## PSYKROMETRISKA METODER

Psykrometern är den äldsta av de direkta principerna för mätning av luftfukt. Den består av två termometrar, en "torr" och en "våt". Den "våta" termometern mäter temperaturen hos en fuktig "strumpa" som i sin tur har kontakt med luften.

Då luften strömmar förbi de båda termometrarna mäter den ena termometern, den "torra", luftens temperatur. Den andra kyls ner därför att luftströmningen ger upphov till avdunstning från den fuktiga "strumpan". Avdunstningen "tar" energi från strumpan, vars temperatur då sjunker. "Strumpan" är fuktmättad och har alltså en ånghalt som är lika med mätnadsånghalten vid strumpans temperatur. Så länge denna mätnadsånghalt är högre än luftens ånghalt sker fortsatt avdunstning.



När strumpan kyls ner till en så låg temperatur att mätnadsånghalten (strumpans ånghalt) är lika med ånghalten i luften, avstannar avdunstningen och temperaturen hos den våta termometern stabiliseras. Ur de båda temperaturerna, den "torra" och den "våta", kan alla mått på luftfukt beräknas.

För att avdunstningen skall vara tillräcklig måste luften vid termometern ha en hastighet på minst 3 m/s. Det kan åstadkommas antingen genom att luft

blåses förbi termometrarna med hjälp av en fläkt eller att psykrometern roteras i luften. Den senare kallas slungpsykrometer.

Psykrometrar finns i olika utföranden från en enkel slungpsykrometer till laboratoriepsykrometrar med noggranna termometrar och fläktstyrt luftflöde förbi termometrarna. Psykrometern kan endast användas i tillräckligt stora utrymme där fuktillskottet från det avdunstande vattnet kan försummas, dvs. psykrometern är lämplig för att mäta i rumsluft eller i strömmande luft (t ex i kanaler och ventilerade byggnadsdelar).

### **Fördelar och nackdelar med psykrometern**

Psykrometern är en direkt metod för mätning av luftfukt och behöver inte kalibreras. Den kan mäta mycket nära 100 % RF. Nackdelen är att psykrometrar inte kan användas i små slutna utrymnen, av flera skäl:

- Avdunstningen från psykrometern kan påverka ånghalten i utrymmet.
- Det är svårt att åstadkomma erforderlig lufterörelse i ett litet utrymme.
- Psykrometrar är som regel stora till formatet.

Psykrometrar har ett antal andra begränsningar. Avdunstningen har svårt att kyla den våta termometern tillräckligt vid RF under ca 15 %. Temperaturer under 0°C hos den våta termometern, är svåra att erhålla med någon högre grad av noggrannhet, eftersom vattnet i strumpan då fryser till is vilket försvårar avdunstningen. De flesta felkällorna, som tex. smuts, olja eller föroreningar på strumpan, otillräckligt vattenflöde till strumpan, ger alla för liten avdunstning och därmed för hög våt temperatur. Detta ger ett systematiskt för högt värde på RF i luften.

## DAGGPUNKTSMETODER

Det finns två principiellt olika typer av daggpunktsgivare:

- Konventionell daggpunktsgivare
- Cykliskt kyld daggpunktsgivare

Det gemensamma för båda typerna är att de mäter temperaturen på en "spegel", då vattenånga fälls ut (kondenserar) på spegeln. Samtidigt mäts även luftens temperatur intill spegeln. Med hjälp av dessa två temperaturer kan RF beräknas.

### Ett exempel:

Luftens temperatur = +20,5 °C.

Daggpunktstemp. = +15,3 °C.

Mättnadsånghalten är 17,79 och 13,06

g/m<sup>3</sup> vid +20,5 respektive +15,3 °C.

RF blir då  $13,06/17,79=73,4\%$ .

### **Konventionell daggpunktsgivare**

Den äldsta typen som började tas i bruk under 1960-talet är den konventionella daggpunktsgivaren. Spegeln är ofta gjord av guldbelagd koppar. En ljusstråle sänds mot spegeln och reflekteras då spegeln är torr, men om den har kondens så sprids ljuset. En ljusdetektor registrerar mängden ljus som reflekteras.

Spegeln kyls, respektive värms med hjälp av ett peltier-element. En reglerutrustning styr peltier-elementet så att spegels temperatur ligger på eller nästan på daggpunkten. I denna daggpunktsgivare finns även en registrerande temperaturgivare.

Då spegels temperatur ligger på eller strax intill daggpunkten är den ofta belagd med kondens. Detta gör att föroreningar lätt kan fastna på spegeln. Om spegeln är smutsig så kan en felaktig temperatur registreras som daggpunktstemperatur.

Vattenlösliga salter ger en nästan osynlig förorening av spegeln, ty saltet löses ju upp av vattnet. Därvid kan det ske en gradvis ökning av de lösliga föroreningarna, som i sin tur ger en gradvis förändring i uppmätt daggpunktstemperatur. Felet i daggpunkt kan bli upp till 5 °C vilket kan motsvara ett avläsningsfel på 20 %RF eller mer.

Den konventionella daggpunktsgivaren anses vara den noggrannaste RF-givaren, varför dess huvudsakliga användningsområde är som referensgivare eller normal vid kalibrering.

### Några fördelar och nackdelar:

- Givaren innehåller elektronik för behandling av mätsignalerna. Detta gör att vanliga oskärmda kablar kan användas upp till ca 300 m.
- Daggpunktsgivare är relativt sett ganska stora.

### **Cykliskt kyld daggpunktsgivare**

Cykliskt kylda daggpunktsgivare började användas under 1980-talet. Som namnet anger arbetar den med en cyklisk variation av spegels temperatur, från någon grad över omgivande lufts temperatur till någon grad under daggpunkten. På så sätt är spegeln belagd med kondens endast en mindre del av tiden, (ca. 5 %).

Påverkan på omgivningens temperatur blir liten eftersom spegeln både kyls och värms varvid ungefär lika mycket värme tas upp från omgivningen som avges till denna.

### Några fördelar:

- Mindre behov av kalibrering än för konventionell daggpunktsgivare. En orsak till detta är att spegeln är torr ca 95 % av tiden.
- Givaren innehåller elektronik för behandling av mätsignalerna. Detta



gör att vanliga oskärmda kablar kan användas upp till ca 300 m.

#### Några begränsningar:

- Temperaturcykeln för spegeln måste ställas in noggrant för varje enskild givare.
- Fast hög noggrannhet kan erhållas med en cykliskt kyld daggpunktsgivare är den inte lika noggrann som en konventionell daggpunktsgivare.
- Daggpunktsgivare är relativt sett ganska stora.

## **MEKANISKA HYGROMETRISKA METODER**

De klassiska mekaniska hygrometrarna är hårhygrometrar, där krympning och svällning hos ett knippe hårstrån vid RF-ändringar påverkar en visare som visar RF på en skala. Samma teknik används i traditionella hygrografer, där en "hårharpa" är kopplad till en arm med en penna som ritar RF på ett pappersdiagram. Pappersdiagrammet sitter fäst på en cylinder som roterar med tiden, varvid ett diagram över RF-variationer erhålls.

Dessa metoder har idag så gott som helt ersatts av dataloggrar med elektroniska RF-sensorer.

En av de första RF-givarna som användes för att mäta RF-profiler i betong var en mekanisk hygrometer. I ett tunt rör monterades en Dacrontråd och en spänd, dubbelvikt koppartråd i serie. Genom koppartråden mättes resistansen. Då RF ändrades kring dacrontråden, förändrades fuktinnehållet i denna polymer och den krympte och svällde med RF-ändringar. Dessa rörelser fortplantades till koppartråden varvid resistansen i denna också ändrades. Resistansen kunde översättas till RF genom en kalibrering.

## **ELEKTRISKA IMPEDANSMETODER**

Den vanligaste typen av mätinstrument för RF baseras idag på elektrisk impedans, dvs. resistans, kapacitans eller kombinationer av båda.

Dessa sensorer innehåller ett hygroskopiskt material vars elektriska egenskaper ändras när fuktnivån förändras. Det aktuella värdet på egenskapen registreras, utvärderas och presenteras som ett RF-värde på instrumentets display.

RF-sensorer baserade på elektrisk impedans är av fyra huvudtyper

- 1) Resistiva polymera RF-sensorer
- 2) Kapacitiva polymera RF-sensorer
- 3) Elektrolytiska RF-sensorer
- 4) Resistiva träbaserade RF-sensorer

### ***Resistiva polymera RF-sensorer***

En polymer beläggs på båda sidorna med elektriskt ledande skikt som är genomsläppligt för vattenånga. Fukten i polymerskiktet kan därmed ställa sig i jämvikt med fukten i omgivande luft

RF mäts genom att resistansen (motståndet) mellan de ledande skikten ändras med fuktinnehållet i polymeren. Ju mer fukt det finns i polymeren desto fler ledande joner bildas i denna och ledningsförmågan ökar och därmed minskar resistansen mellan de ledande skikten.

Polymerskiktet är känsligt för olika slags föroreningar. Till exempel är en resistiv polymer uppbyggd på en bas av ammonium mycket känslig för en atmosfär som innehåller ammoniak. Olika typer av polymerskikt är känsliga för olika ämnen i gasfas. För närmare uppgifter om en specifik RF-givare,

hänvisas till tillverkaren eller återförsäljaren.

Den resistiva polymera RF-sensorn kan vanligtvis användas med god noggrannhet vid mycket höga RF, upp till 99 %. Noggrannheten uppges ofta vara omkring  $\pm 2$  % RF samt  $\pm 1$  % i ett mindre RF-område.

#### Några fördelar

- Sensorn är liten i storlek.
- Stort RF-område (ca 15 – 99 %).
- Stort temperaturområde (ca  $-10$  °C –  $+80$  °C).
- Hög noggrannhet.
- Liten hysteres
- Knappt ingen åldring.

#### Några begränsningar

- Behöver kalibreras regelbundet.
- Känslig för vissa föroreningar.
- Kräver temperaturkompensering.

### **Kapacitiva polymera RF-sensorer**

En polymer beläggs på båda sidorna med elektriskt ledande skikt som är genomsläppligt för vattenånga eller på ena sidan med metallskikt som bildar elektroder. Fukten i polymerskiktet kan därmed ställa sig i jämvikt med fukten i omgivande luft.

RF mäts genom att mäta kapacitansen i polymeren, som ändras med fukttätheten i polymeren.

Kapacitiva polymera RF-sensorer har ett stort mätområde. Vanligtvis kan de mäta från ca 2 % och upp till ca 95 % RF. Temperaturområdet är vanligtvis från  $-50$  °C till över  $+100$  °C. Sensorernas noggrannhet är hög, typiskt  $\pm 3$  % RF samt  $\pm 1$  % i ett mindre RF-område.

Kapacitiva polymera RF-sensorn har visat sig känsliga mot ångor från vissa

ämnen, t.ex. polystyren, etanol, ammoniak och golvlim. Om sensorerna utsätts för dessa gaser kan det orsaka en hastig drift på upp mot 10 – 20 % RF.

#### Några fördelar

- Sensorn är liten i storlek.
- Mycket snabb respons.
- Stort RF-område (2 – 95 % RF)
- Stort temperaturområde ( $-50$  °C – över  $+100$  °C).
- Knappt någon hysteres.
- Bra stabilitet och repeterbarhet
- Hög noggrannhet.

#### Några begränsningar

- Känsliga mot kemiska ångor.
- Temperaturberoende, men med låg temperaturkoefficient.
- Fungerar mindre bra i korrosiv miljö.
- Känslighet för kondensation.

### **Elektrolytiska RF-sensorer**

Elektrolytiska RF-sensorer bygger på mätning av elektrisk ledningsförmåga i en inkapslad fiberväv som är indränkt med en elektrolyt. Elektrolyten avger eller tar upp fukt då RF i omgivningen ändras. Detta medför att elektrolytens ledningsförmåga förändras.

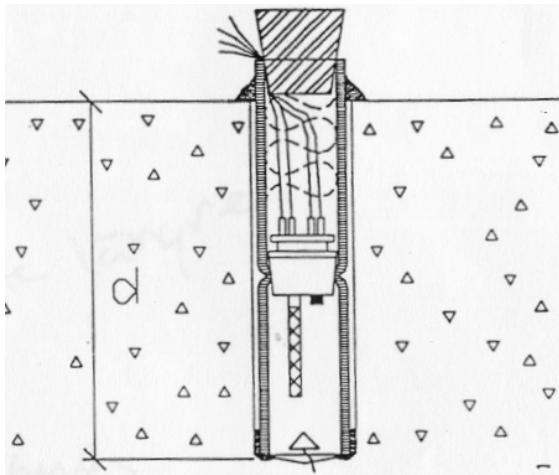
Vid avläsning kan det uppmätta mätvärdet relateras till utslaget hos en referensgivare som sitter över en saltlösning med känd RF. Kvoten mellan mätvärdet och referensvärdet beräknas och den uppmätta RF-nivån utvärderas.

Elektrolytiska RF-sensorer är av engångstyp och har ett arbetsområde på 60 – ca 92 % alternativt 75 – ca 95 % RF. Dock tål de upp till 95 % respektive 98 % RF under två veckor men om de mer än tillfälligt är utanför detta fuktområde förstörs de och måste bytas ut. Detta medför att elektrolytiska

RF-sensorer vanligtvis bara används i speciella tillämpningar, tex kontinuerlig mätning av torkförloppet i nygjutna betongkonstruktioner.

Elektrolytiska RF-sensorer lämpar sig väl att använda vid tillämpningar med kvarsittande givare där fuktnivån med säkerhet håller sig inom sensorernas arbetsområde. Det finns även system för att mäta RF på uttagna materialprover med elektrolytiska RF-sensorer

I Figur 16 visas en elektrolytisk givare monterad i ett PVC-rör placerat i ett borrhål i ett betonggolv.



Figur 16. . En elektrolytisk RF-givare.

#### Några fördelar

- Kvarsittande och inbyggingsbara
- Relativt små
- Billiga
- Knappt någon hysteres

#### Några begränsningar

- Litet arbetsområde: 60-95 %RF
- Känslig för vatten

#### **Resistiva träbaserade RF-sensorer**

Resistiva träsensorer bygger på samma princip som resistiva träfukt-kvotsmätare.

Genom att mäta resistansen mellan två stift i trä kan man bestämma träets fuktnivå. Träets fuktnivå står i sin tur i jämvikt med RF-nivån i omgivningen.

Träbiten med mätstiften kan ha formen av en rondell eller en kort trästäv. En del resistiva träsensorer är kapslade och skyddas av ett filter som enbart släpper genom fukt i ångfas. Användningsområdet kan exempelvis vara för inbyggnad eller vid montage i ett borrhål.

#### Några fördelar

- Kvarsittande och inbyggingsbara
- Relativt små
- Billiga

#### Några begränsningar

- Stor fuktkapacitet
- Hysteres
- Känsliga för kontamination av salter från intilliggande material

## ÖVRIGA METODER

### Gravimetriska metoder

En gravimetrisk metod att mäta RF hos ett material är OE-metoden. Denna består av en serie trätrissor (ringar), åtskilda av gummibrickor, som placeras i ett hål.



Figur 17. OE-metoden för att gravimetriskt mäta RF i ett borrar hål.

Trätrissorna får komma i fuktjämvikt med omgivande material varefter de vägs. Vikten hos varje trätrissa kan, via en kalibreringskurva, översättas till RF.

Metoden kan med fördel användas för att mäta fuktprofilen i en konstruktion. Flera mättrissor sammanfogas då till en mätstav som placeras i ett borrar mätthål.

Det visar sig att, genom omsorgsfull kalibrering, kan osäkerheten i en RF-mätning med OE-metoden ( $\pm 1,5\%$  RF) bli mindre än med en traditionell mätning med kapacitiva RF-givare.

#### Några fördelar och begränsningar

- Kvarsittande
- Mätning av fuktprofil
- Billiga
- Behärskar temperaturgradienter
- Stor fuktkapacitet.
- Hysteres-effekten är ej kontrollerad
- Finns ej i serieproduktion

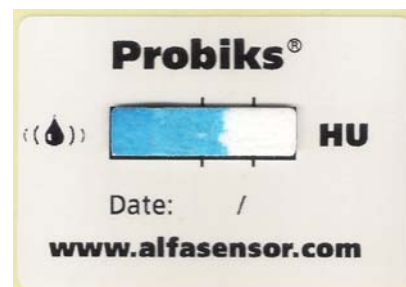
### Kemiska metoder

Det finns ett antal metoder där RF-nivån i luften indikeras med ett färgomslag.

Färgmarkeringen hos dessa sensorer kan vara återgående eller irreversibelt, dvs att det högsta utslaget "stannar kvar". Metoder med återgående utslag används för att indikera luftens aktuella fuktnivå. Metoder med irreversibelt utslag används för att indikera luftens högsta fuktnivå.

En av dessa metoder är en typ av migrationsmetod där ett färgat ämne förflyttas under de tidsperioder då RF överstiger en viss nivå. Längden på markeringen ger en uppfattning om hur lång tid den relativa fuktighetsnivån har överstigits.

Hastigheten hos spridningen av färgutslaget är beroende av temperaturen och hur mycket den relativa fuktighetsnivån har överstigits.



Figur 18. Probiks från Alfasensor AB är en irreversibel kemisk sensor.

#### Några fördelar och begränsningar

- Lättanvända
- Hög tillförlitlighet beträffande fuktnivå
- Ingen strömförsörjning
- Indikerar högsta fuktnivå
- Kvarsittande
- Billiga
- Begränsad livslängd
- Fuktindikering, låg upplösning

# MÄTMETODER FÖR TEMPERATUR

Detta kapitel avser endast att tjäna som upplysning i de fall temperaturmätning utförs i samband med fuktmetningar i byggnader, och behandlar därför inte alla typer av temperaturmätningar och temperaturgivare.

En temperaturgivare visar alltid bara sin egen temperatur. För att den skall visa temperaturen i ett annat ämne, t ex luft eller ett material, måste den vara i termisk jämvikt med detta. Beroende på förhållandet mellan värmekapaciteten och värmeledningsförmågan hos temperaturgivaren respektive ämnet, tar det olika lång tid att uppnå termisk jämvikt. Strålning från omgivande ytor kan dessutom påverka en temperaturgivares temperatur, så att den aldrig visar rätt temperatur.

## VÄTSKETERMOMETER

Vätsketermometern, eller vätske-i-glas-termometern, är den mest välkända och äldsta termometern av alla. Vätsketermometern fungerar genom en vätskepelare som stiger när temperaturen ökar, eftersom vätskan utvidgas mycket mer än glaset runt om vid en temperaturhöjning.

Den bäst lämpade vätskan för temperaturmätning är kvicksilver. På grund av dess höga toxicitet används dock numera ofta andra vätskor, exempelvis xylen, toluen, etanol eller pentan. För mycket noggrann mätning med vätsketermometer används dock fortfarande kvicksilver, vilket bör observeras vid hantering.

För en god noggrannhet bör vätsketermometrar kalibreras med jämna mellanrum. Det är viktigt att

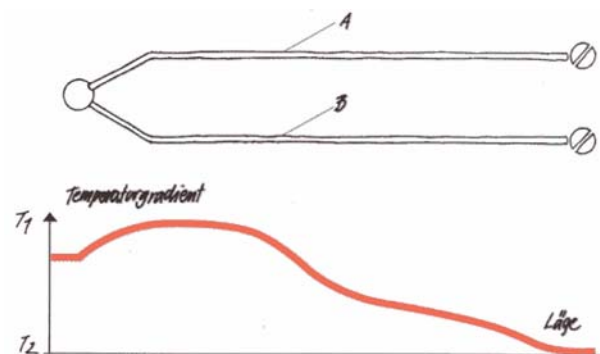
kalibreringen föregås av att termometern har konditionerats vid den referenstemperatur som skall användas. Mer information om kalibrering och konditionering av vätsketermometrar ges av Bentley (1998).

## ELEKTRISKA METODER

### Termoelement

Termoelement är mycket vanliga i byggnadstillämpningar för att mäta yttemperaturer, lufttemperaturer och temperaturer i konstruktionsdelar.

Termoelement består av två trådar av olika metaller som är förenade i ena änden (mätpunkten) och bildar en sluten slinga som utnyttjar den termoelektriska effekten för temperaturmätning. Det innebär att då de två olika ändarna på de förenade ledarna har olika temperatur börjar en ström flyta i kretsen, se Figur 19.



Figur 19. Principen för termoelement av typen T. A är en ledare av koppar, och B består av legeringen konstantan. Mätpunkten finns längst till vänster där ledarna går samman. De enda temperaturerna som är viktiga är i mätpunkten och ändarna. Temperaturen hos trådarna fram till mätpunkten spelar ingen roll.

Storleken på strömmen som flyter i slingan beror på vilka metaller som används, och hur stor temperaturdifferensen är mellan de två ändarna i kretsen.

Temperaturdifferensen är alltså proportionell mot storleken på strömmen.

Termoelement består av olika standardiserade materialkombinationer. Den i byggnadssammanhang vanligaste typen av termoelement är Typ T (koppar-konstantan) som har en tillverknings tolerans på termoelement-materialet på  $\pm 0,5$  °C, dvs. bättre kan en mätning inte bli utan speciell kalibrering av termoelementen. Detta gäller vid mätning mellan temperaturer på  $-40$  °C till  $+125$  °C, i toleransklass 1. I toleransklass 2 och 3 är toleransen  $\pm 1$  °C vid ungefär samma temperaturintervall. Noggrannhet bättre än  $\pm 0,2$  °C är svårt att uppnå med termoelement, för temperaturer under ca  $300$  °C.

Vid tillverkningen av termoelement kan mätutslaget från dessa kontrolleras t.ex. i isbad samt vid en högre temperatur. De termoelement som då ger samma mätutslag väljs sedan till mätning.

De stora fördelarna med termoelement är två: de är billiga och de kan lätt placeras på ytor eller inuti konstruktioner.

### **Resistanstermometer**

Resistanstermometern är den mest noggranna av de vanligt förekommande temperaturmätinstrumenten. Den fysikaliska egenskap som används i dessa termometrar är att motståndet i en ledare ändras om temperaturen ändras. I de flesta fall ökar resistansen med temperaturen. Den idag vanligaste metallen i motståndet är platina (Pt), men tidigare har även nickel (Ni) och koppar (Cu) använts.

Motståndet i Pt-termometrar är väldigt ofta  $100 \Omega$  vid  $0$  °C (Pt100) men även andra motstånd används, tex.  $1000 \Omega$ . Pt-termometrar är ömtåliga instrument som måste skyddas från häftiga vibrationer och skakningar. Speciellt känslig är övergången mellan glastätningen och platinaledaren på utsidan av glaset.

Några fördelar med Pt-termometrar är:

- Knappast någon åldring hos själva givaren.
- Nästan linjärt samband mellan temperatur och resistans.
- Pt-motstånden har samma karakteristik, vilket betyder att man kan byta motstånd utan ny kalibrering av givaren.

Nackdelar:

- Betydligt dyrare än termoelement.
- Vid för stor drivström genom kretsen ( $>1$  mA) kan man riskera att instrumentet värms upp och förlorar i noggrannhet.

Pt100-givare klassas i två grupper, klass A och klass B. Skillnaden är att klass B tillåts ha något lägre renhet i platinalegeringen än vad klass A skall ha. De får därför sämre noggrannhet.

Pt-givare är stabila och har inte någon nämnvärd drift. Pt-givare är sinsemellan mycket lika och ger samma resistans för samma temperatur. De visar den absoluta temperaturen och mätprincipen bygger inte på att mäta skillnaden i temperatur mellan mätpunkten och ett referensställe, som termoelementet gör.

### **Halvledartermometrar (termistorer)**

Halvledare har en elektrisk ledningsförmåga som ligger mellan metallers och isolatorers och ger en elektrisk ström som är proportionell mot den absoluta temperaturen. För det mesta minskar halvledarens resistans med temperaturen.

Det temperaturomfång som kan mätas är inte lika stort som för många andra metoder, men fullt tillräckligt för vanliga byggnadstekniska tillämpningar.

För stor noggrannhet är resistanstermometrar fortfarande bästa valet, men moderna termistorer ligger inte långt efter; numera är en onoggrannhet på upp till 0,1°C vanligt, till en relativt låg kostnad. Termistorer är idealiska för detektering av små temperaturförändringar eftersom de är så känsliga – särskilt när det är förändringen och inte det absoluta värdet som är intressant.

Precis som för resistanstermometrar måste man undvika att använda för stor drivström genom termistorn på grund av risken för egenuppvärmning.

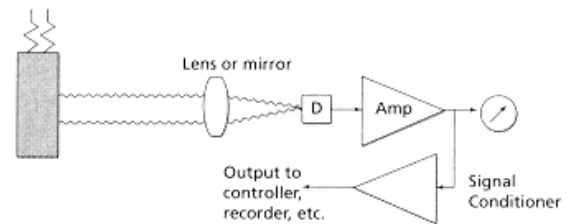
## STRÅLNINGS- ABSORBERANDE TERMOMETRAR

### *Infraröd temperaturmätare*

Energi avges från alla objekt med en temperatur som är högre än absoluta nollpunkten. Ju varmare objektet är, desto större blir energin som avges. Genom att mäta den avgivna energin kan alltså temperaturnivåer bestämmas, genom att använda strålningsabsorberande temperaturmätare. Den vanligaste av dessa är den infraröda termometern.

En infraröd strålningstermometer fungerar enligt principen i Figur 20.

Avståndet till det objekt som ska mätas är viktigt när man använder en infraröd termometer, liksom att storleken på objektet stämmer med mätinstrumentets synfält, eller mätfläck som det kallas.



Figur 20. Principskiss över en infraröd strålningstermometer: *Temperature Handbook (2004)*

Om objektet är för litet kommer termometern att bestämma ett medelvärde av de temperaturer den "ser", d v s både från objektet och från bakomliggande material. De flesta IR-termometrar har ett siktavstånd på 50-150 cm men även kortare siktavstånd finns, vilket kan vara av betydelse om en enskild punkt ska mätas. Då brukar instrumentens sikte utrustas med en ljusstråle för att exakt rätt punkt ska kunna mätas.

IR-termometrar passar för mätning av i stort sett alla i byggnadssammanhang förekommande material utom metaller eller andra skinande eller glänsande material, där problem kan uppstå på grund av deras stora reflektionsförmåga. Det finns instrument som tar hänsyn till detta fenomen, men man bör förvissa sig om hur stor osäkerhet som råder vid exempelvis mätning på metaller, för varje instrument.

Andra störningar som kan påverka mätningen är strålningsförluster via fönster som är belägna i närheten av objektet, mätning i vissa atmosfäriska gaser (koldioxid, kolmonoxid, kvävedioxid m.fl.) och i suspenderat material (cementdamm, rök m.m.).

Vanligtvis ligger osäkerheten på ungefär  $\pm 1-2$  °C, för termometrar som används i byggnadssammanhang.





# MÄTFÖRFARANDE

## FUKT I LUFT

För mätning av fuktförhållande i luft i rum och i byggnadsdelar kan flera olika metoder användas, t ex psykrometrar, daggpunktsgivare, mekaniska hygroskopiska metoder och elektriska impedansmetoder. Alla bygger på att instrumenten visar RF eller daggpunkt hos luften som omger givaren, och att givaren kommit i termisk jämvikt och fuktjämvikt med luften.

Kraven på noggrannhet vid en luftfuktighetsmätning är inte överdrivet stora, vilket gör att de flesta välkalibrerade instrument kan användas. Det är dock viktigt att säkerställa att jämvikt mellan givaren och luften erhålls innan mätvärdena avläses.

Mätpunkter och mättillfällena måste väljas med omsorg så att mätvärdena representerar de fuktförhållanden man avser att bestämma. Fuktförhållandena kan vara felaktiga av flera skäl, t ex dörrar och fönster står öppna, extrema väderförhållanden före mättillfället, onormal vädring just innan mätningen, många personer närvarande vid mättillfället etc.

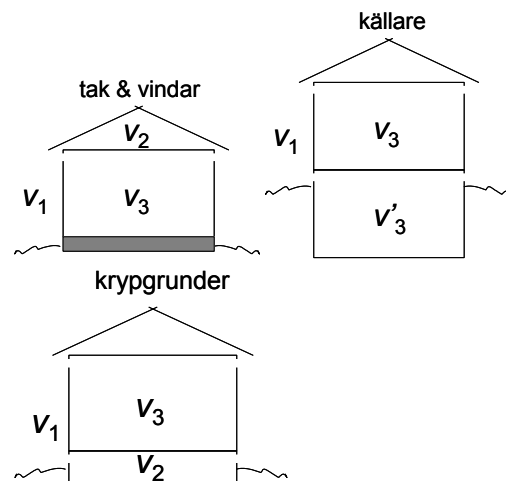
Luftfuktigheten vid ett enstaka mättillfälle kan vara slumpvis beroende av förhållandena just vid mättillfället eller vad som hänt just före mätningen. För att få en säkrare bild av luftfuktighetsförhållanden kan mätning vid enstaka tillfällen i rumsluft kompletteras med följande:

- Loggning av temperatur och RF under längre perioder, särskilt i byggnadsdelar där förhållandena varierar kraftigt, t ex på vindar.
- Mätning av RF på uttaget prov inifrån ett material med stor fuktkapacitet som stått

i fuktkontakt med luften sedan en längre tid.

## FUKTTILLSKOTT HOS VENTILATIONS LUFT

Fukttillskottet mellan två punkter i en ventilerad luftström bestäms genom att mäta RF och temperatur eller daggpunkt i de båda punkterna och ur dessa mätvärden beräkna ånghalten. Fukttillskottet är skillnaden mellan ånghalterna i de båda punkterna. En av de två punkterna är ofta uteluften. Några exempel visas i Figur 21.



Figur 21. Exempel på mätning av ånghalt i olika ventilerade utrymmen för bestämning av fukttillskott

I en sådan mätning ingår normalt fyra mätningar, en temperatur- och en RF-mätning i luften i de båda punkterna. Osäkerheten i bestämningen av fukttillskottet påverkas alltså av osäkerheten i de fyra mätvärdena.

Kraven på noggrannhet är störst på temperaturmätningarna eftersom temperaturen har stor inverkan på mätnadsånghalten. Ett fel i RF-

mätningen på 5 % RF ger bara 5 % fel i ånghalten, medan ett fel på 1°C hos temperaturen också kan ge samma fel i ånghalten!

Vid stora temperaturskillnader mellan olika delar i den ventilerande luftströmmen, t ex mellan inne- och uteluft, måste man korrigera för skillnaden i volym hos en viss luftmängd vid olika temperaturer. Vid långsam luftomsättning eller snabba fuktändringar måste man också tänka på att mätningar i två punkter vid en given tidpunkt kan ge felaktig uppfattning om fukttillskottet. Då måste mätning ske under en viss tidsperiod.

## FKTINDIKATION PÅ YTOR

En fuktindikator kan vara ett hjälpmedel vid undersökningen av en större yta för att se var på ytan materialet är fuktigast. Dessa delar kan sedan undersökas t ex med RF-mätning. Instrument som inte duger för att mäta fukt med någon större noggrannhet eller som kräver omsorgsfull kalibrering, kan många gånger användas för att indikera fuktvariationer. Detta beror på att man inte använder absolutvärdena från instrumenten utan bara utnyttjar skillnader i utslag.

Fuktindikatorer registrerar normalt en elektrisk egenskap, t ex resistans eller kapacitans, i det undersökta materialet. Den elektriska egenskapen beror bl.a. på mängden fukt i materialet men kan även bero på andra egenskaper, t ex temperatur och saltinnehåll i materialet. Fuktinnehållet registreras inte på ett visst bestämt djup utan utslaget på indikatorn beror även på fuktfördelningen i konstruktionen.

Det finns två principer för fuktindikatorer med tanke på deras användning. Den ena typen har elektroder som läggs på ytan av ett material, utan att något ingrepp alls görs i materialet. Den andra typen har två stift som elektroder, vilka skall slås eller

tryckas in i materialet man skall indikera fukt i. Den senare typen inkluderar vanliga resistiva träfuktmätare som också kan användas som fuktindikatorer för träbaserade material, men också många andra material.

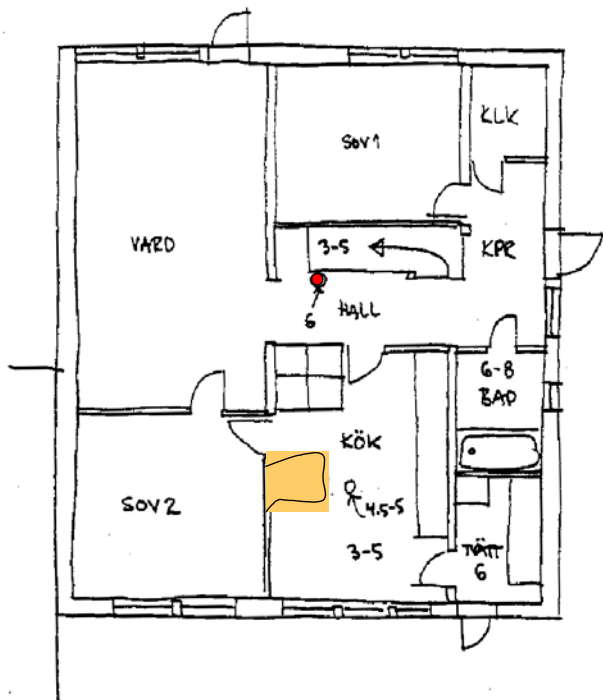
Man måste alltid vara försiktig vid tolkning av utslag från fuktindikatorer, särskilt sådana som registrerar resistansen mellan elektroder. Utslaget beror mer på temperatur och skillnader i saltinnehåll än fukt. Det finns exempel där "fuktfläckar" i mattor visat sig vara rester av katturin!

De flesta fuktindikatorer har mycket liten räckvidd på djupet. Fabrikanter överdriver ofta denna räckvidd. Som regel kan man bara indikera skillnader alldeles nära ytan. Samtidigt ger många fuktindikatorer bara utslag för relativt höga fuktnivåer. Det betyder att fuktvariationer bara kan detekteras om ytskiktet är fuktigt, men inte om det är olika fuktigt djupare in men det är relativt torrt i ytskiktet. Det innebär att fuktindikation bara kan göras på ytor som har ett tätskikt eller som är så fuktiga att avdunstningen inte förmår hålla ytan torr. De flesta fuktindikatorerna når till exempel inte genom ett trägolv och ligger detta på en fuktspärr som det är fuktigt under, kan detta inte upptäckas med de flesta fuktindikatorer.

Olika typer av ytskikt, t ex golvbeläggningar, påverkar indikatorns utslag. Om man får ett utslag på ett golv med en PVC-matta så kan ett annat utslag fås på samma golv med samma fuktinnehåll men med en annan typ av PVC-matta.

Ett exempel visas i Figur 22 där fuktindikation gjorts på alla golvytor. I sovrummen med textilmattor är det torrt i ytskikten och där gav fuktindikatorn inget utslag. I vardagsrummet med parkettgolv kunde inget utslag erhållas trots att det var fuktigt under fuktspärren under trägolvet. Utslagen i våtutrymmena var högre än i köket, men kan inte jämföras eftersom det var olika (tjocka) plastmattor.

Inom hallen respektive köket kunde tydliga fuktvariationer indikeras. På så sätt kunde lämpliga provtagningspunkter identifieras och problemområdena i huset kunde avgränsas avsevärt med hjälp av fuktindikationen.



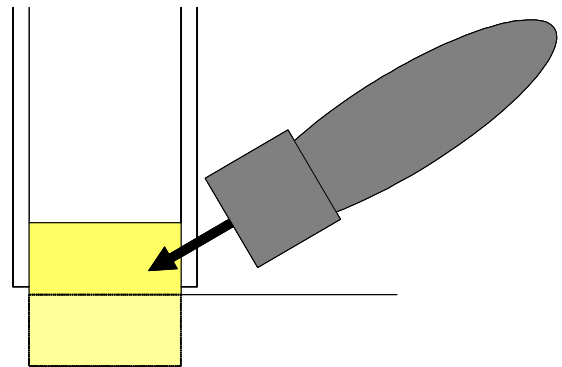
Figur 22. Resultat av mätning med fuktindikator.

## FUKTINDIKATION I TRÄSYLLAR

Anslutningar mellan träväggar och golvkonstruktioner och grunder är ofta källan till fuktproblem. Det gäller i första hand ytterväggsanslutningar, men ibland också anslutningar mellan innerväggar och golv. Sådana konstruktioner har ofta stora lokala variationer vilket innebär att fuktmätning på slumpmässigt valda ställen lätt kan missa problempartier eller kan

peka ut hela väggar som föremål för åtgärder även om problemet bara är ytterst lokalt. Här finns det behov av att kunna hitta de fuktigaste ställena och att kunna bestämma hur stort område en fuktmätning i en punkt är relevant för.

En mycket användbar metod för indikation av fuktvariationer i sådana träväggsanslutningar är att använda en resistiv träfuktmätare med minst ca 50 mm långa isolerade stift som fuktindikator. Metoden visas principiellt i Figur 23.



Figur 23. Principskiss av mätning med fuktkvotsgivare.

Golvsocklarna avlägsnas och kan efteråt sättas på plats så att inga spår av fuktindikationen kommer att synas.

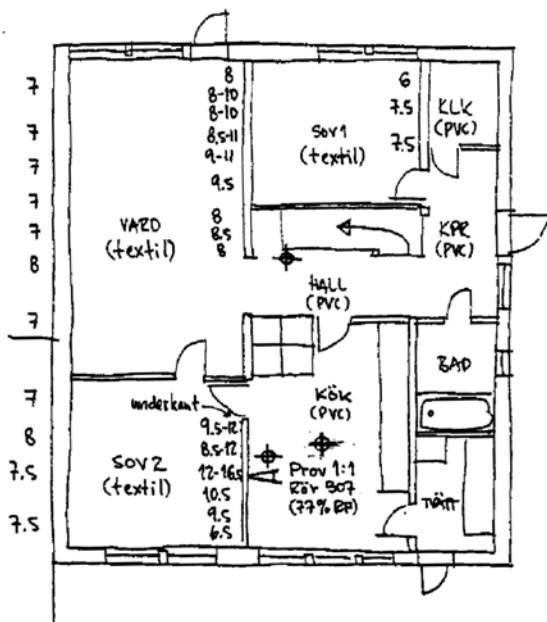
Träfuktmätarens stift sticks in genom gipsskivan så att tre villkor uppfylls samtidigt:

1. Stiftet sticks alltid in på samma höjd över golvnivå.
2. Träfuktmätaren hålls alltid lutad i samma vinkel.
3. Stiftet slås alltid in lika långt.

På så sätt kommer spetsarna på träfuktmätaren alltid att hamna i samma del av träsyllan i vägganslutningen.

Stiftspetsarna varifrån utslaget fås, som en fuktkvot, hamnar naturligtvis inte i den fuktigaste delen av syll. Denna brukar vara det yttre, nedre hörnet av en ytterväggssyll och den undre, centrala delen av en innerväggssyll. Det bör dock som regel vara så att utslaget på det ställe där stiftspetsarna hamnar är korrelerat med fuktkvoten i den fuktigaste delen av syll. Genom att hitta det högsta utslaget, hittar man då också den fuktigaste delen längre in i syll!

Ett exempel visas i Figur 24, där fuktindikation med träfuktmätare har gjorts i ett enfamiljshus, både i ytterväggssyllen längs ena fasaden och i åtkomliga delar av innerväggssyllarna i två innerväggar.



Figur 24. Resultat av mätning med fuktkvotsmätare i träsyllarna.

Förhållandena varierade inte alls i ytterväggssyllen, medan innerväggssyllarna gav utslag kring 8-12 vikt-% överallt utom på ett litet parti av syll i köket där utslag upp till 16.5 % erhöles. Här visade det sig att golvkonstruktionen var lokalt undermålig på mindre än 1 m<sup>2</sup>.

## KONTROLL AV LEVERANSFUKT

### Mätförfarande för virke

Virke och träkomponenter köps och levereras "torrt" till byggarbetsplatser. Hur torrt det är beror bland annat på virkets "fuktkvotsklass", men virke i en viss fuktkvotsklass "får" ha relativt stora fuktkvotsvariationer. Det finns därför anledning att "bryta" virkespaket och kontrollera fuktförhållandena i enskilda virkesbitar före inbyggnad. Finns det risk för att virkespaketet blivit utsatt för regn under transport och lagring före och efter leverans till byggarbetsplatsen är anledningen desto större!

Lämpligt mätförfarande beskrivs i detalj av Brander och Esping (2005) och innehåller bland annat följande punkter.

- Kontroll görs med en elektrisk träfuktkvotsmätare med långa isolerade stift.
- Mätaren skall vara fri från synliga defekter som smuts, bark, kvistar och kådfickor.
- Kåddrikt virke skall undvikas.
- Mätningen utförs normalt i virkets längdriktning, men nära virkesändar kan mätning ske tvärs fiberriktningen.
- Mätningen utförs på olika djup i virket, inte bara nära ytan.

### Mätförfarande för andra material

Fuktkvoten i ett material vid leverans kan för många material relativt enkelt bestämmas med gravimetrisk metod på uttaget prov. Detta gäller t ex lättbetong, lättklinkerfyllning, lättklinkerblock etc.

Om material vid leverans misstänks innehålla skadlig byggfukt kan i de

flesta fall en kontroll göras med en elektrisk fuktkvotsmätare, eventuell med korta stift, beroende på typen av material. Absolutvärden på fuktkvoten kanske inte kan erhållas utan noggrann kalibrering, men en indikation på stora fuktvariationer kan erhållas med en sådan teknik, vilket kan vara tillräckligt för att noggrannare fuktmätning skall göras på uttaget prov.

## KONTROLL AV BYGGFUKT

### *Allmänt*

Hur kvarvarande byggfukt kan kontrolleras med hjälp av fuktmätningar är högst olika för olika material och i vilket skede av byggprocessen kontrollen görs. Här ges ett par exempel för viktiga fall.

Valet av mätpunkter bestäms av var det kan förväntas vara mest byggfukt kvar. Kontroll skall naturligtvis göras där det kan misstänkas vara som fuktigast, dvs. där uppfuktning skett, om detta är känt, annars där uppfuktning kan misstänkas ha skett och där fukten i så fall stannar kvar längst. Vid detta val beaktas tänkbara källor till tillkommande byggfukt under byggtiden, utöver det som materialen innehåller vid leverans och möjliga orsaker till variationer.

### *Betongbjälklag*

Hur kvarvarande byggfukt kontrolleras i betongbjälklag specificeras noggrant i den manual som RBK-auktoriserade "fuktkontrollanter" följer (RBK, 2001). RF mäts på ett karakteristiskt mätdjup med endera av två typer av metoder: uttaget prov eller i fodrat borrhål. Detta beskrivs därför inte närmare här.

Vid valet av mätpunkter beaktas särskilt närheten till öppna schakt, sent monterade utfackningsväggar och öppna fönsterhål under byggtiden, svackor och olika tjocklek i bjälklagen och vilka delar som började torkas sist och vilka delar som fått sämst torkmöjligheter.

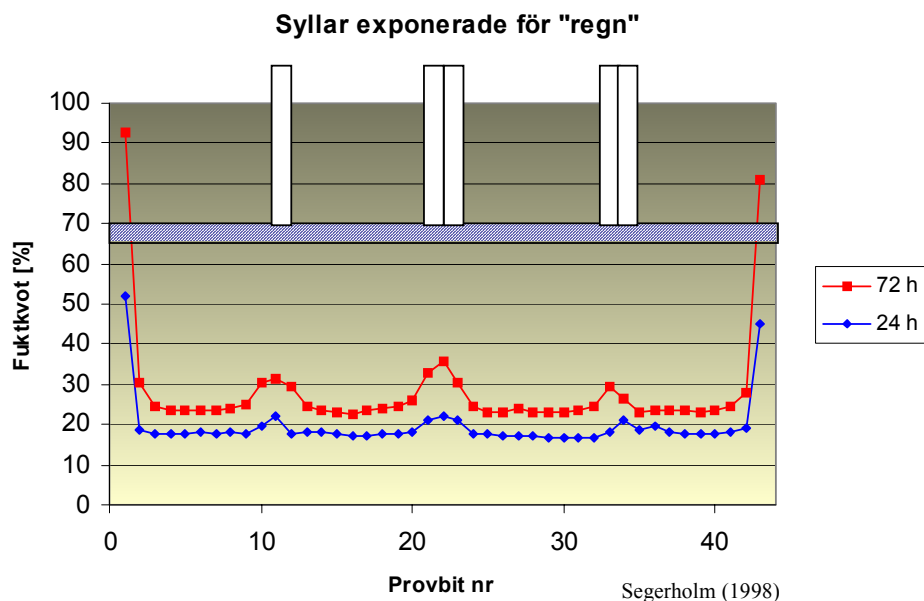
### *Träregelväggar*

Träbyggnadsdelar skall inte utsättas för regn eller hög luftfuktighet, varken under byggtiden eller senare. I olyckliga fall kan naturligtvis detta ändå hända vid plötslig nederbörd i kritiska moment av montage av sådana byggnadsdelar. Effekten av sådana händelser på kvarvarande byggfukt kan kontrolleras med elektrisk träfuktkvotsmätare med långa isolerade stift.

I en träregelvägg innebär detta att i första hand bottensyllarna skall kontrolleras och i dessa särskilt några punkter:

- ändträ intill skarvar
- undre delar av syllar vid svackor i underlaget
- syllpartier under stående reglar
- ändträ vid ytterväggshörn

I Figur 25 visas exempel på kvarvarande byggfukt i ett träregelsystem efter simulerat regn. Höga fuktkvoter upptäcktes särskilt nära sylländar och intill spikhål under stående reglar.



Figur 25. Exempel på kvarvarande byggfukt i ett träregelsystem efter simulerat regn. Segerholm (1998)

### Lättbetongväggar och bjälklag

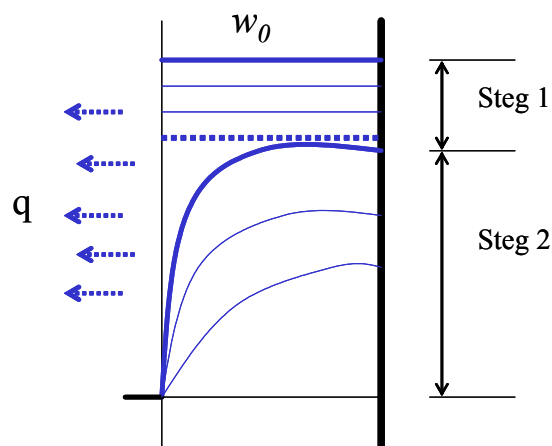
För kontroll av uttorkning av bjälklag och väggar av element eller murblock av lättbetong är det lämpligt att mäta fuktprofiler, dvs. mäta på flera olika djup, eftersom lättbetong torkar på olika sätt i början och i slutet av uttorkningsförloppet. I början sjunker fuktinnehållet på alla djup medan det i slutet blir stora fuktgradienter mellan delarna närmast uttorkningsytorna och delarna djupare in.

RF i lättbetong är nära 100 % under den största delen av uttorkningsförloppet. Om man vill följa ett uttorkningsförlopp måste man därför mäta fuktkvot på uttagna prover. Först i slutet av uttorkningsförloppet är det någon mening med att mäta RF och då först närmast torkytorna.

För att avgöra om byggfukten är tillräckligt uttorkad, mäts en RF-profil på prover eller i borrhål till olika djup. RF-profilen utvärderas sedan med en fuktberäkning, med hänsyn tagen till vilka ytskikt som skall appliceras och vilka de kritiska fuktillstånden är.

### Putsade murverk

Mätning i putsade murverk av murstenar av lättbetong, lättklinkerblock, tegel etc. görs på i princip samma sätt som i lättbetongväggar, men kontroll görs också av putsskiktet så att byggfukten i detta också är uttorkad. I flera typer av murverk påverkas fuktfördelningen av gravitationen, dvs. det är fuktigast i botten av murverket, som alltså alldeles särskilt bör kontrolleras.



Figur 26. Fuktprofiler under olika uttorkningssteg

## FUKT- OCH TEMPERATUR-TILLSTÅND I KONSTRUKTION

Mätning av fuktillstånd i en konstruktion kan ha flera syften. Den vanliga anledningen är i samband med skadeutredningar där följande moment kan motivera fuktmätningar på platsen:

- fuktvariationer skall indikeras,
- absolutvärden hos fuktillstånd skall jämföras med kritiska fuktnivåer,
- fukttransportriktningar skall kunna bedömas och
- konstruktionens fuktmekaniska beteende skall kunna bedömas.

För mätning av absolutvärden, att jämföras med kritiska, rekommenderas mätning på uttaget prov, se nästa avsnitt, om kraven på noggrannhet är stora.

Övriga punkter innebär mätning av RF och temperatur på olika djup i konstruktionen, dvs. fukt- och temperaturfördelningen. Ur dessa kan sedan ånghaltsfördelningen beräknas med följande uttryck

$$v = RF(w) \cdot v_m(T)$$

För noggrann bestämning av ånghaltsprofilen är följaktligen temperaturen minst lika viktig att mäta noggrant som relativa fuktigheten.

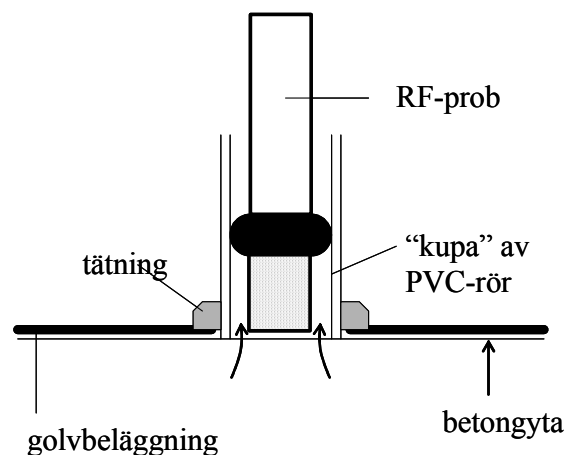
För mätning av fukt och temperatur in situ i en konstruktion finns ett antal metoder som beskrivs i detta avsnitt: under ett ytskikt, i ett (borrhål och i borrhål med foderrör.

För noggrannare mätning av RF och mätning av fuktkvot, rekommenderas mätning på uttaget prov som beskrivs i nästa avsnitt.

Temperaturmätning i konstruktionen görs med termoelement eller ytemperaturmätare som antingen placeras mellan olika materialskikt i konstruktionen eller sätts i direktkontakt med botten av borrhål sedan dessa svalnat.

### Under ett ytskikt

Fuktillståndet alldeles under ett tätt ytskikt, t ex en golvbeläggning, kan relativt enkelt och oförstörande mätas genom att göra hål i ytskiktet och placera ett rör över hålet och täta det mot ytskiktet. I röret mäts sedan RF med en RF-givare.



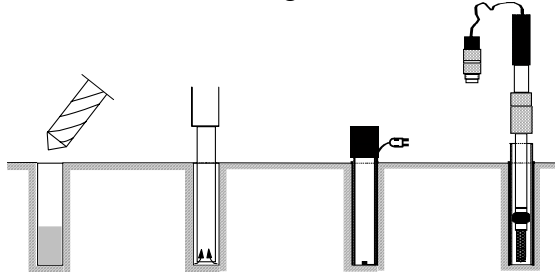
Figur 27. Exempel på RF-mätning under ytskikt genom användning av ett PVC-rör som "kupa".

Materialytan i hålet i ytskiktet görs noggrant ren från t ex limrester.

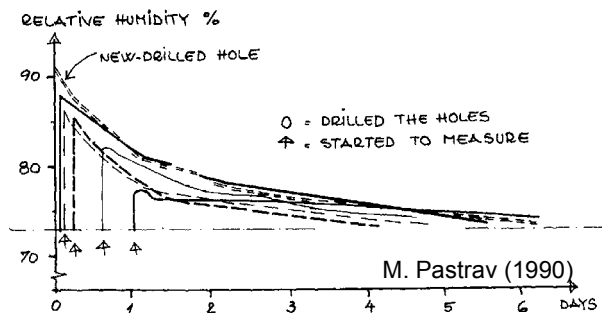
En ännu enklare metod är naturligtvis att sticka in RF-givaren under ytskiktet, om detta är möjligt, och täta öppningen omsorgsfullt.

### I borrhål

Det enklaste sättet att mäta RF på ett visst djup i ett material eller konstruktion är att borra ett hål till avsett mätdjup, göra hålet rent från bormjöl, täta borrhålet och låta det svalna efter borrhningen.



Denna metod kan lätt ge upphov till mycket stora mätfel. Uppvärmningen i samband med borrhningen kan ge mycket för höga RF om RF-givaren placeras i borrhålet för tidigt. För betong är detta undersökt och en väntetid på flera dygn rekommenderas innan RF-givaren får placeras i borrhålet, om osäkerheter bara av denna anledning inte skall överstiga 2-3 % RF.



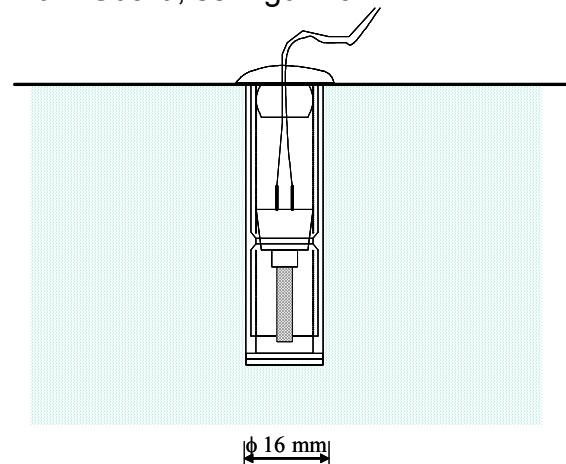
Figur 28. Temperatureffekter vid borrhning vid olika väntetid mellan borrhning och inplacering av RF-givare, Pastrav (1990)

I en betong med RF=73 % kunde värden på upp till 90 % RF (!) erhållas om mätningen gjordes direkt efter borrhning. Genom noggrann rengöring av borrhålet från bormjöl och genom att vänta ett antal dagar kan mätfelet minskas kraftigt.

Exemplet i Figur 28 gäller betong, men effekten blir densamma i andra material.

### I foderrör

Vid placering av en RF-givare i ett borrhål blir mätdjupet dåligt definierat eftersom tätningen mellan givare och borrhål som regel sitter en bit ifrån botten av hålet. Noggrannare definition av mätdjupet kan erhållas genom att placera ett foderrör inuti borrhålet så att bara botten av borrhålet är exponerat mot RF-givaren. Mellan foderrör och borrhål görs en tätning som i RBK-systemet särskilt kontrolleras m a p lufttätet. Ett exempel på RF-givare med foderrör är HumiGuard, se Figur 29.



Figur 29. Exempel på RF-mätning i ett borrhål med foderrör av vp-rör. Endast bottenytan i hålet avger fukt till sensorn.

### Systematiska fel vid mätning i konstruktion

Vid RF- och temperaturmätning i material in situ i en konstruktion är felkällorna många. Förutom att instrumenten måste vara väl kalibrerade, är felkällorna av två slag.

Det är fel RF eller T vid mättillfället på grund av

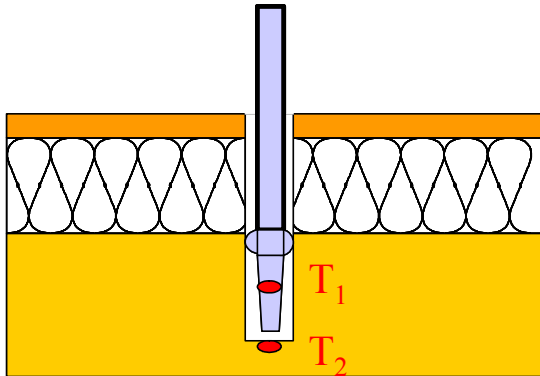
- borrhning, dammsugning
- drag i mätthål



- tillfällig störning vid placering av givare
- hålet har hunnit torka

Man mäter fel RF på grund av att

- givaren leder värme
- givaren har fel temperatur
- materialet har annan temperatur än normalt



Figur 30. Exempel på temperaturskillnader vid RF-mätning i ett borrhål som kan ge stora systematiska fel på grund av att givaren leder ner värme genom isoleringsskiktet.

Varje temperaturskillnad på 1°C, mellan sensorn i RF-givaren och materialytan man vill mäta RF i, ger ett fel på ca 5 % RF!

Sätten att undvika sådana mätfel är att, så långt möjligt, låta givaren komma i temperaturjämvikt med materialet. Om möjligt skall givaren ges direktkontakt med materialytan för att minska denna temperaturskillnad. Dessutom bör de båda temperaturerna  $T_1$  och  $T_2$  i figuren mätas. Ur dessa och uppmätt RF på RF-sensorn kan sedan RF hos materialet beräknas

$$RF_{mtrl} = RF_{sensor} \cdot \frac{v_m(T_{sensor})}{v_m(T_{mtrl})}$$

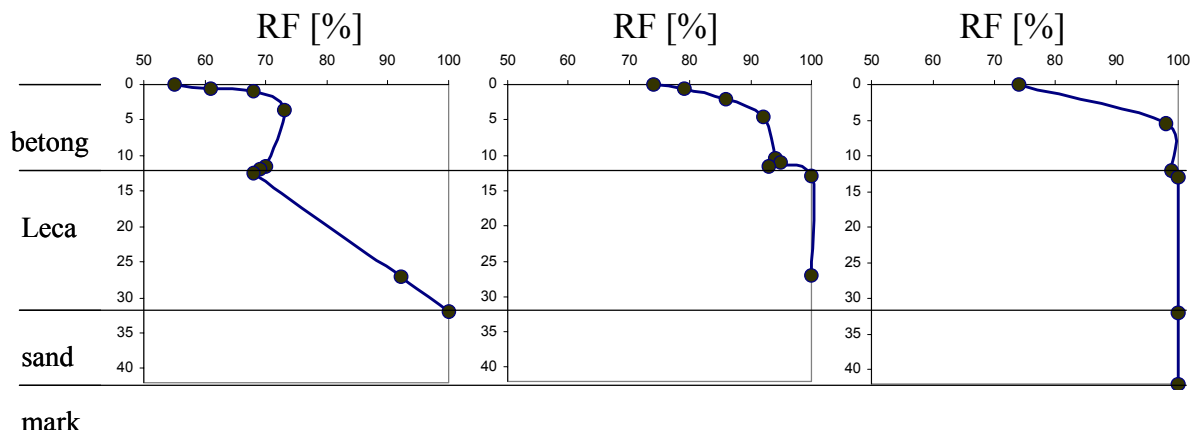
Temperaturstörningar på grund av klimatvariationer är särskilt svåra att bemästra. Mätresultatet varierar beroende på exakt när under dygnet mätningen råkar göras. Genom att då logga RF under ett antal dygn kan osäkerheten minskas kraftigt.

## FUKTINNEHÅLL OCH FUKTTILLSTÅND HOS UTTAGET PROV

Noggrann mätning av fuktfördelning i en byggnadsdel görs säkrast genom att mäta på uttagna prover. På dessa prover från olika djup bestäms RF och eventuellt fuktkvot eller KMG.

Ett exempel visas i Figur 31 från mätningar i tre golvkonstruktioner med platta på mark med underliggande värmeisolering av lättklinker. RF-profilerna har kunnat bestämmas med mycket god upplösning både i betong och lättklinker. Proverna av lättklinker har avsiktligt valts så att de innehöll cementslam som avsevärt ökar provets fuktkapacitet.

Vid provtagningen är det självklart viktigt att dels klart definiera från vilket djup respektive prov tas och dels att undvika att provet torkar innan det placerats i en förseglad behållare. Man eftersträvar en kompromiss mellan små prover för stor geometrisk upplösning och stora prover som är mindre känsliga för uttorkning.

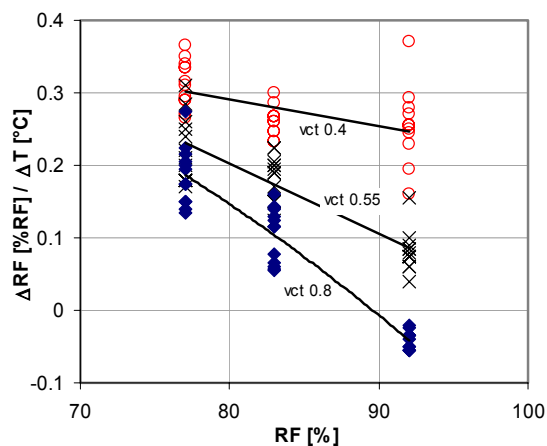


mark  
Figur 31. Exempel på fuktprofiler i form av RF uppmätta på uttagna prover från olika djup i tre hus.

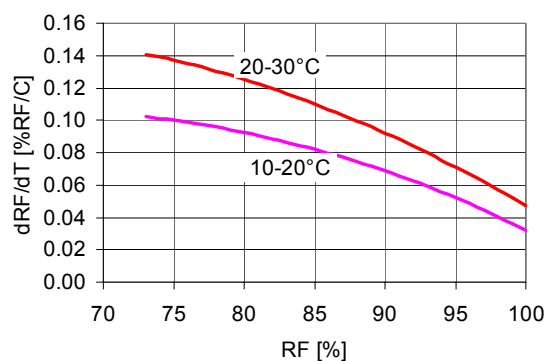
### Systematiska fel vid mätning på uttagna prover

Vid mätning av RF på uttagna prover sker som regel RF-mätningen vid rumstemperatur, vilket kan vara vid en helt annan temperatur än på den plats där provet togs. Om avsikten är att mäta RF vid den temperatur som rådde i konstruktionen, måste dels temperaturen mätas där och dels uppmätt RF korrigeras för **temperaturskillnaden**.

Korrigeringen görs med hjälp av diagram som Figur 32 och 33, för betong respektive trä.



Figur 32. Korrigering för skillnad i temperatur mellan provtagningspunkt och mätplats. Betong.



Figur 33. Korrigering för skillnad i temperatur mellan provtagningspunkt och mätplats. Trä. Kurvorna gäller för olika medelvärden mellan de båda temperaturerna.

Temperaturskillnaden mellan mätpunkten och rumstemperatur multipliceras med värdet  $[\%RF/^{\circ}C]$  i diagrammet.

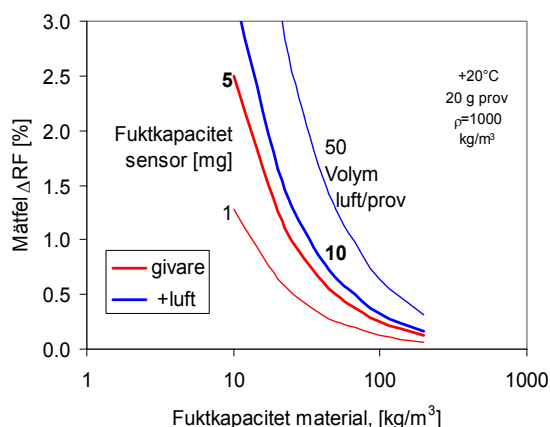
Liknande korrigeringar kan göras för andra material än trä och betong.

Vid mätning på uttaget prov av material med låg fuktkapacitet kan korrigering behöva göras för systematiska fel på grund av att RF-givaren har en fuktkapacitet som inte är försumbar i förhållande till materialprovets **fuktkapacitet**.

Felet kan beräknas med följande uttryck

$$\Delta RF = \frac{m_w + v_m \cdot (RF - RF_0) \cdot V_{luft}}{V_{prov} \cdot K}$$

där  $m_w$  är givarens fuktkapacitet mellan startfuktigheten  $RF_0$  och  $RF$ ,  $v_m$  är mätnadsånghalten vid aktuell temperatur,  $V_{luft}$  är den instängda luftens volym,  $V_{prov}$  är materialprovets volym och  $K$  är fuktkapaciteten hos materialet. Några exempel på effekten av de ingående parametrarna visas i Figur 34.

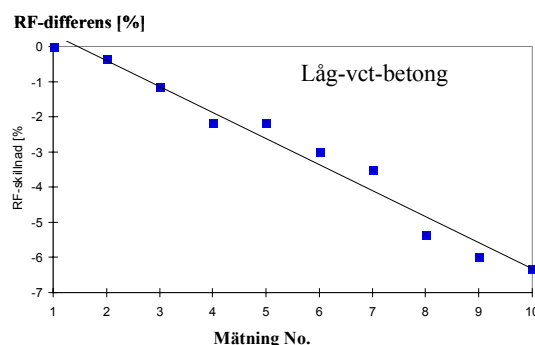


Figur 34. Mätfel vid mätning på uttaget prov beroende på fuktkapacitet hos materialprov, sensor (undre kurvor) respektive instängd luftvolym (övre kurvor).

Den helt dominerande parametern är materialets fuktkapacitet. För normala trä- och cementbaserade material med fuktkapaciteter kring 100-200 kg/m³ blir mätfelet försumbart om sensorns fuktkapacitet är mindre än 1 mg och volymförhållandet luft/prov mindre än 10. För material med mindre fuktkapaciteter än så, ger dessa effekter systematiska mätfel som måste kvantifieras.

Ett exempel visas i Figur 35 där mätning skett på prov av låg-vct-betong med låg fuktkapacitet med en Vaisalagivare med låg fuktkapacitet.

Skillnaden i fuktkapacitet är dock inte större än att varje mätning får ett systematiskt fel på -0.6 % RF.



Figur 35. Upprepade RF-mätningar på betong med lågt vattencementtal

För andra material och andra RF-givare kan detta systematiska fel bli avsevärt större. RF-givarens fuktkapacitet måste alltså vara känd vid noggranna mätningar av RF på uttagna prover. Denna fuktkapacitet är då inte bara fuktkapaciteten hos själva sensorn utan också för t ex ett eventuellt filter runt sensorn. Filtrets fuktkapacitet är många gånger större än sensorns, dvs. det kan vara en möjlighet att avlägsna filtret vid mätning på sådana material.

Mätning på material med extremt liten fuktkapacitet kan ge stora systematiska fel även vid användning av en RF-givare med liten fuktkapacitet.

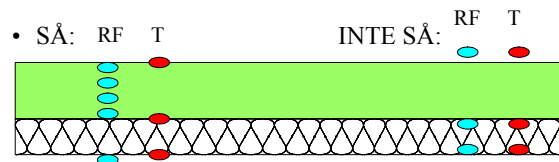
Exempel på sådana material, med liten fuktkapacitet, är sand, grus, sten, cellplast, mineralull, keramiska material, lättklinkerkulor utan cementslam och gips utan kartong. RF-mätningar bör inte göras på sådana material men om de ändå görs, måste korrigering göras för det systematiska felet genom att korrigera för effekten av fuktkapacitet hos materialprovet och då ta hänsyn till provmängden (enligt ekvationen ovan).

## REKOMMENDATION

**MÄT RF & T I MATERIAL MED STOR VÄRME- RESP. FUKTKAPACITET!**  
(=tung resp. finporösa material; är inte lika känsliga för störningar)

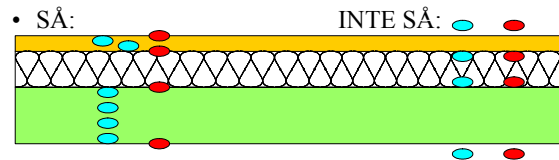
Alternativen är att noggrant kontrollera att störningen har utjämnats (=lång mättid) respektive att mäta störningens storlek.

Detta innebär att i till exempel en konstruktion med betongplatta på underliggande värmeisolering bör mätning av fukt- och temperaturprofilen göras genom att mäta på olika djup i betongplattan samt i marken under värmeisoleringen, inte i luften ovanför betongplattan eller i det lätta isoleringsmaterialet. Särskilt viktigt är det att mäta RF alldeles i underkanten av betongplattan respektive temperatur i gränssytan mellan betong och isolering.



Figur 36. Rekommenderade respektive ej rekommenderade mätpunkter vid mätning i betongplatta på mark med underliggande värmeisolering.

I konstruktioner med överliggande värmeisolering och golvspånskiva rekommenderas på motsvarande sätt mätning av RF på olika djup dels i spånskivan och dels i betongplattan eftersom dessa material har många gånger större fuktkapacitet än isoleringsmaterialet och marken.



Figur 37. Rekommenderade respektive ej rekommenderade mätpunkter vid mätning i betongplatta på mark med överliggande värmeisolering.

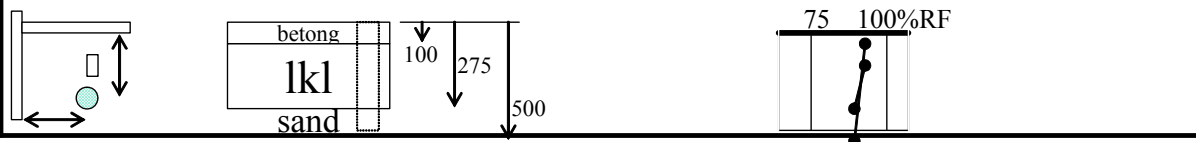
# RESULTATREDOVISNING

Resultat av fuktmätning i en byggnadsdel skall redovisas på ett överskådligt sätt. Ett exempel visas i Tabell 3. Mätplatsen är noga angiven, liksom vilket material och mätdjup de

olika mätvärdena härrör ifrån. En tabell med mätvärdena bör kompletteras med figurer där fukt- och temperaturprofilerna uppritats.

Tabell 3. Exempel på resultatredovisning vid mätning av fukt- och temperaturprofiler i två punkter i ett hallgolv med PVC-matta på betong med underliggande värmeisolering av lättklinker.

| PROV-PLATS  | PROV NR | MATERIAL    | DJUP [mm] | FUKTKVOT (vt-%) | KMG  | RF [%]   | T [°C]   | ÅNGHALT [g/m <sup>3</sup> ] |
|---|---------|-------------|-----------|-----------------|------|----------|----------|-----------------------------|
| Hallgolv<br>Intill<br>1"x4"<br>planka i<br>golv             |         | PVC-matta   |           |                 |      |          |          |                             |
|   | 500     | Betong      | 30-60     |                 |      | 95       |          |                             |
|   | 501     |             | 90-110    |                 |      | 96       |          |                             |
| Hallgolv<br>Ca 10 cm<br>från<br>1"x4"<br>planka i<br>golvet |         | PVC-matta   |           |                 |      |          |          |                             |
|   |         |             |           |                 |      |          | TE1 20.0 | 15.5                        |
|   | 5&1     | Spackel+btg | 0-8       | 6.2             | 0.79 | 90       |          |                             |
|   | 910     | Betong      | 25-45     |                 |      | 89       |          |                             |
|   | 2       |             | 10-60     | 4.0             | 0.74 |          |          |                             |
|   | 502     |             | 30-60     |                 |      | 88       |          |                             |
|   | 504     |             | 90-110    |                 |      | 86       |          |                             |
|   | 3       |             | 70-100    | 3.0             | 0.84 |          |          |                             |
|   |         |             |           |                 |      |          | TE2 19.9 | 14.6                        |
|   | 506     | lättklinker | 110-130   |                 |      | 85       |          |                             |
| 4   |         | 140-275     | 6.1       |                 |      |          |          |                             |
|   |         |             |           |                 |      | TE3 16.1 | 13.7     |                             |



# FEL OCH MÄTOSÄKERHET

## INLEDNING

Vi skiljer på fel och mätosäkerhet. Med fel menas en avvikelse från ett "sant" värde. Det sanna värdet är ett idealt begrepp och naturligtvis okänt för oss (annars hade vi inte behövt mäta). Vet vi storleken på ett fel kan vi korrigera för detta. Denna korrektion är dock i allmänhet behäftad med en osäkerhet som vi måste beakta.

Mätosäkerhet är den oskärpa vi har i mätresultatet. Men varför uppstår då mätosäkerheter? Kan man inte genomföra en exakt mätning?

På den senare frågan är det generella svaret att det inte går! Vi kan däremot förbättra mättekniken och utföra allt mer sofistikerade mätningar för att minska mätosäkerheten. Men ett exakt värde kan vi inte åstadkomma på grund av att naturen sätter en yttersta gräns genom att innerst inne vara statistisk till sitt väsen.

Storleken på mätosäkerheten, dvs. oskärpan i mätningen, kan alltid bestämmas med en viss grad av sannolikhet, men kan aldrig elimineras genom någon korrektion eller liknande.

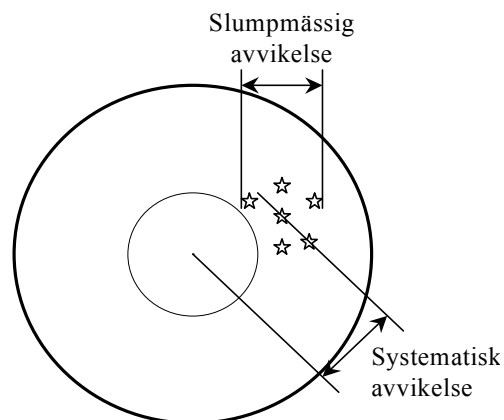
## OLIKA FELTYPER

Vanligtvis samverkar en mängd olika typer av felkällor och påverkar tillsammans resultatet av mätningen. Dessa felkällor delas normalt in i tre kategorier:

- grova fel
- systematiska fel
- slumpmässiga fel

Systematiska och slumpmässiga fel kan beskrivas med träffbilden på en måltavla enligt Figur 36.

Slumpmässiga fel motsvarar spridningen i träffbilden. Systematiska fel är skillnaden mellan måltavlans mittpunkt och mitten av träffbilden. Grova fel kan närmast liknas vid att skytten glömt fälla upp siktet eller att han skjuter på grannens måltavla.



Figur 36. Systematiska och slumpmässiga fel illustrerade med träffbilden på en måltavla.

### **Grova fel**

Grova fel är en allvarlig typ av fel som i många fall gör mätningen ogiltig. Dessa fel beror vanligen på den mänskliga faktorn eller instrumentfel.

Exempel på grova fel som kan uppkomma vid fuktmätning är:

- omkastning av siffror i tal vid registrering av mätdata.
- råkat sätta decimalkommat fel.
- fel kalibreringskurva använd vid omvandling av mätutslaget till RF.
- fel mätområde avläst (tex vid vissa typer av träfuktmätare med flera mätområden).
- kondens på givare och betongprover

Storleken på de grova felen kan man inte beräkna, uppskatta eller korrigera på något sätt. Mätningar där grova fel upptäckts skall inte användas och under inga omständigheter skall felen tas med i en statistisk felvärdesanalys. Fel som sifferomkastning kan dock korrigeras (exakt), i synnerhet om de uppkommer i den första siffran.

Grova fel är inte alltid uppenbara. När ett tillräckligt antal "upprepade" mätningar utförts kan det vara lämpligt att ta en närmare titt på de värden som "sticker ut". Det är dock i allmänhet inte klokt att förkasta ett mätvärde bara för att det skiljer sig från det förväntade värdet.

### **Systematiska fel**

Med systematiska fel avses fel som återkommer på samma sätt vid varje mätning som utförs med en metod. Dessa fel kan vara konstanta, ändras monotont med tiden (tex. drift) eller vara periodiska.

Vid en mätning kan flera olika typer av systematiska fel förekomma samtidigt.

Systematiska fel vid fuktmätningar kan orsakas av exempelvis:

- Temperaturvariationer
- Dygnsvariationer
- Tryckförhållanden
- Störande fuktkällor
- Belastande mätningar
- Nätspänningsvariationer
- Luftläckage till/från omgivningen

Med belastande mätning avses att mätningen i sig kan påverka det uppmätta resultatet. Ett exempel är RF-mätning på uttagna betongprover. Vid en sådan mätning placeras betongprovet och RF-givaren i ett slutet provrör för att fuktnivåerna skall komma i jämvikt.

Givarens fuktkapacitet måste vara försumbar jämfört med betongprovets fuktkapacitet för att inte påverka betongprovets fuktnivå.

Fuktkapaciteten hos luften i provröret ger i normala fall (50g prov, 200ml luft) ett systematiskt fel som är försumbart, se ekvationen under RF-mätning på uttagna prov, se sid. 41.

Eftersom dessa fel är systematiska är det möjligt att bestämma storleken på dem. En korrektion (eller korrektionsfaktor) bör alltid användas för att kompensera för varje systematiskt fel som påverkar mätresultatet.

Eftersom vi inte vet mätningens "sanna" värde finns det i allmänhet en viss osäkerhet vid bestämningen av storleken på de systematiska felen. Denna osäkerhet överförs sedan till korrektionen av felet, och skall därför behandlas som ett slumpmässigt fel.

Osäkerheten hos korrektionen som används för att kompensera för ett systematiskt fel är alltså inte detsamma som det systematiska felet. Utan det är ett mått på otillräcklig kännedom om värdet på korrektionen.

### Slumpmässiga fel

Slumpmässiga fel utgör den oförutsägbara variationen mellan olika mätvärden när mätningen upprepas med allting lika (samma förutsättningar), med samma metod på samma plats.

Slumpmässiga fel vid fuktmätningar kan orsakas av exempelvis:

- Temperaturvariationer
- Ojämnt uttagna provbitar

Eftersom dessa fel är slumpmässiga kan man inte veta exakt hur stora de är i varje mätning. Det går alltså inte att kompensera för dem. Däremot är det alltid möjligt att uppskatta storleken av de slumpmässiga felen med en viss sannolikhet.

Det är denna uppskattning av de slumpmässiga felen tillsammans med osäkerheten i korrektionen av de systematiska felen som i huvudsak utgör mätningens osäkerhet (mätosäkerhet).

## MÄTOSÄKERHET

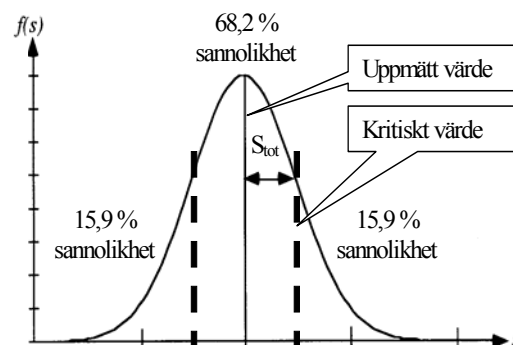
Mätosäkerheten kan beskrivas som den osäkerhet vi har i mätresultatet på grund av inverkan av slumpmässiga fel samt osäkerhet vid korrektion av de systematiska felen.

Det uppmätta värdet kan ibland vara mycket nära det "sanna värdet", alltså ha ett mycket litet fel. Men osäkerheten kan ändå vara stor eftersom vi är osäkra och inte vet hur nära resultatet egentligen ligger.

### Standardiserad mätosäkerhet (S)

Standardiserad mätosäkerhet bygger på den statistiska termen "standardavvikelse" och innebär i praktiken att 68,3 % av mätningarna (statistiskt sett) har en osäkerhet som är lika stor eller mindre än detta värde.

Detta gäller vid så kallat dubbelsidigt konfidensintervall, se Figur 37. Vid standardiserad mätosäkerhet (en standardavvikelse) menas det att "täckningsfaktorn" är lika med ett,  $TF=1$ .



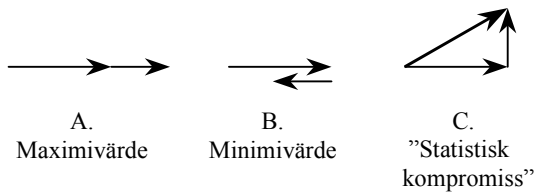
Figur 37. Sannolikhetsfördelning vid dubbelsidigt konfidensintervall.  $f(s)$  är frekvensen (antalet) av utfall med ett visst värde ( $s$ ).



### Kombinerad mätosäkerhet

Kombinerad (total) mätosäkerhet innebär att man summerar samtliga slumpmässiga fel och osäkerheter vid korrektion av systematiska fel till ett enda gemensamt värde.

Man antar ofta att många små fel samverkar och att dessa är normalfördelade, dvs. har en spridning enligt Figur 37. I sådana fall är chansen att alla faktorerna samverkar fullt ut åt samma håll mycket liten. Likaså är chansen att alla faktorerna ska ta ut varandra, alltså helt motverka varandra, även den väldigt liten. En lämplig "statistisk kompromiss" brukar vara att summera faktorerna enligt metod C i Figur 38.



Figur 38. Tre möjligheter att kombinera mätosäkerheter. A och B ger för höga resp. för låga värden medan C kan anses vara en lämplig kompromiss.

### Kombinerad standardiserad mätosäkerhet ( $S_{tot}$ )

Kombinerad standardiserad mätosäkerhet kallas ibland även "Total standard (mät)osäkerhet" och innebär att man först beräknat standardiserade värden (en standardavvikelse) för samtliga slumpmässiga fel samt osäkerheter vid korrektion av systematiska fel.

Därefter kombineras eller summeras samtliga dessa standardiserade värden till ett enda värde, "kombinerad standardiserad mätosäkerhet".

Normalt används kvadratisk summering av felen enligt metod C i Figur 38. Den kombinerade standardiserade mätosäkerheten (statistisk kompromiss) kan beräknas enligt:

$$S_{tot} = \sqrt{S_a^2 + S_b^2 + S_c^2 + \dots + S_s^2 + S_t^2 + S_u^2}$$

där:

$S_{tot}$  = kombinerad standardiserad mätosäkerhet

$S_a \dots S_u$  = standardiserad mätosäkerhet från fel a till u

Vid användning av kombinerad standardiserad mätosäkerhet är det alltså 68,27 % sannolikhet att det sanna värdet ligger innanför mätetalet  $\pm$  kombinerad standardiserad mätosäkerhet.

### Utvidgad mätosäkerhet (U)

Ofta nöjer man sig inte med att den standardiserade mätosäkerheten som bara täcker in 68,27 % av alla mätningar. Detta innebär ju att nästan 1/3 av alla mätningar har en större osäkerhet än det angivna värdet.

Då används istället en utvidgad mätosäkerhet. Denna skrivs oftast med index som anger tillhörande konfidensintervall.

Exempelvis betecknas utvidgad mätosäkerhet med 75% konfidensintervall med  $U_{75}$ . Väljer man exempelvis ett dubbelsidigt 95% konfidensintervall vid RF-mätning är det endast 5 % sannolikhet att det "sanna värdet" ligger utanför mätetalet  $\pm$  utvidgad mätosäkerhet ( $U_{95}$ ).

Observera att alla slumpmässiga faktorer som man antar är normalfördelade därmed alltid har ett dubbelsidigt konfidensintervall.

Den utvidgade mätosäkerhet (U) för olika konfidensintervall beräknas ur tabell Y enligt formeln:

$$U = TF \cdot S_{\text{tot}}$$

där:

U = utvidgad mätosäkerhet

TF = täckningsfaktor enligt Tabell

$S_{\text{tot}}$  = kombinerad standardiserad mätosäkerhet

Till exempel är den utvidgade mätosäkerheten för ett dubbelsidigt konfidensintervall som med 95% säkerhet omfattar det "sanna" värdet lika med:

$$U_{95} = 1,960 \cdot S_{\text{tot}}$$

Vid summering av den kombinerade mätosäkerheten bör man vara observant på vilken täckningsfaktor som anges för de olika felens bidrag.

Exempelvis kan instrumenttillverkare ange prestandan i produktbladen med täckningsfaktor 2. Kalibreringsprotokoll anger ofta värden baserade på dubbelsidigt konfidensintervall och täckningsfaktor 3.

Ibland saknas dock uppgifter om täckningsfaktorn. I de fall då det inte går att få fram täckningsgraden för en mätosäkerhet får man använda sunt förnuft och göra en rimlig uppskattning.

Tabell 4. Täckningsfaktorer och motsvarande konfidensintervall.

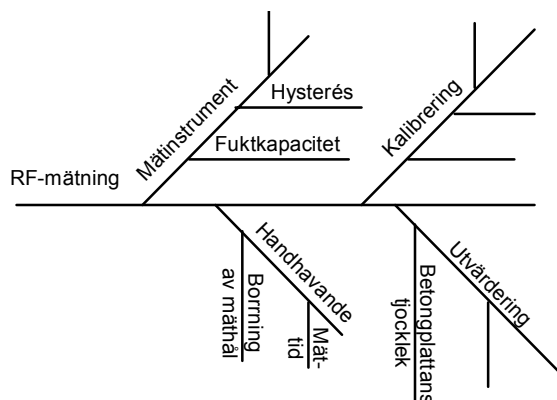
| Täckningsfaktor<br>(TF) | Konfidensnivå (%) |             |
|-------------------------|-------------------|-------------|
|                         | Dubbelsidigt      | Enkelsidigt |
| 0,68                    | 50                | 75          |
| 1                       | 68,2              | 84,1        |
| 1,64                    | 90                | 95          |
| 1,96                    | 95                | 97,5        |
| 2                       | 95,4              | 97,7        |
| 2,58                    | 99                | 99,5        |
| 3                       | 99,7              | 99,9        |

## UTVÄRDERING AV MÄTOSÄKERHETEN

Det går aldrig att korrigera för mätosäkerheten. Däremot går det alltid att bestämma storleken på mätosäkerheten, med en viss sannolikhet.

### Ishikawa-diagram

Det finns olika sätt att gå tillväga för att uppskatta mätosäkerhetens storlek. En vanlig metod som med fördel kan användas när både systematiska och slumpmässiga fel förekommer, är att först bryta ned mätsituationen med hjälp av ett Ishikawa-diagram (fiskbensdiagram), se Figur 39.



Figur 39. Identifiering av felkällor i en mätsituation mha Ishikawa-diagram (fiskbensdiagram). (Ishikawa. 1982).

Ishikawa-diagram är ett behändig verktyg som ger en bra överblick över mätningens delmoment. Detta ligger sedan till grund för att kunna identifiera samtliga felkällor i mätsituationen.

Efter att mätsituationen "benats ut" kan storleken på samtliga felkällor och korrektioner beräknas eller uppskattas med någon av de metoder som beskrivs nedan.

Slutligen summeras de slumpmässiga felen och osäkerheten i korrektionerna. Detta utgör mätningens "kombinerade standardiserade mätosäkerhet".

Det är vanligt att skilja på två principiellt olika sätt att bestämma storleken på felkällor och korrektioner. Dessa metoder kallas oftast för A och B.

### Metod A

Metod A bygger på att man uppskattar felet i en mätning, mätserie eller löpande process genom att enbart studera det erhållna mätresultatet i sig självt. Vanligtvis innebär detta att man statistiskt utvärderar mätresultatet med avseende på spridning och andra variationer.

En utvärdering av felet enligt Metod A kan exempelvis innehålla:

- Statistisk utvärdering av mätdata
- Enstaka observation av felet direkt i en löpande mätprocess
- Upprepade observationer av felet i mätprocessen
- Bedömningar som är baserad på erfarenhet av mätningen.

### Metod B

Metod B omfattar alla andra sätt att bestämma felens storlek. Oftast görs detta genom att man tar hjälp av information "utifrån" om fel och osäkerheter. Den informationen kan hämtas från andra mätningar eller från studier som gjorts. Oavsett hur detta sker, så länge det inte enbart är en strikt analys "inåt" av de erhållna mätresultaten, så faller detta arbete under metod B.

En utvärdering av felet enligt Metod B innehåller ofta "importerad" information som exempelvis härstammar från:

- tidigare utredningar av felet, för samma eller liknande metod
- instrumenttillverkarens data

- kalibrerade mätnormaler
- certifierade referensmaterial
- referensdata från handböcker
- egna uppskattningar.
- statistisk utvärdering av mätdata (i kombination med annat)
- övrigt

Det är viktigt att inse att denna klassificering endast gäller sättet att bestämma storleken hos felen. Felen som sådana har inte olika karaktär.

Uppskattningar av felen enligt Metod A är nödvändigtvis inte mer pålitliga än uppskattningar enligt Metod B. Metod A kan möjligen lämpa sig bättre för att bestämma storleken av de slumpmässiga felen i en mätserie. Men annars finns det inte något generellt samband mellan Metod A och B samt den vanliga klassificeringen i systematiska och slumpmässiga fel.

## RIMLIGHETSKONTROLL

Vissa mätfel kan identifieras genom att noggrant granska mätresultaten. Vissa resultat är högst osannolika och sådana ger då genast en signal om att mätningen måste starkt ifrågasättas. Här ges några sådana exempel vid temperatur- respektive fuktmätningar.

### *Temperaturprofiler*

I konstruktioner där temperaturfördelningen borde vara stationär, dvs. inte ändras särskilt fort med tiden, måste temperaturskillnader  $\Delta T$  vara proportionella mot värmemotstånden  $R$  mellan mätpunkterna

$$\frac{\Delta T_1}{R_1} = \frac{\Delta T_2}{R_2}$$

I en konstruktion där t ex betong kombinerats med en värmeisolering måste nästan hela temperaturskillnaden finnas över värmeisoleringen. Mäts temperaturskillnader på olika djup i betongplattan som är större än någon tiondels grad är inte mätresultaten riktiga eller representativa.

### *Fuktprofiler*

På samma sätt måste ånghaltsskillnader  $\Delta v$  i en konstruktion, där stationärt tillstånd borde ha uppnåtts, vara proportionella mot ångmotstånden  $Z$

$$\frac{\Delta v_1}{Z_1} = \frac{\Delta v_2}{Z_2}$$

Detta stämmer naturligtvis inte vid icke-stationära förhållanden t ex då uttorkning eller uppfuktning pågår. I uttorkade konstruktioner där omgivningsförhållandena är stabila måste villkoret vara uppfyllt. Ger

mätresultaten stora ånghaltsskillnader i material som kombinerats med fukt- eller ångspärrar och små ånghaltsskillnader över dessa, föreligger sannolikt ett mätfel.

En speciell anledning till att ånghaltsdifferenserna inte är proportionella mot ångmotståndet är om fukttransporten inte bara är ren diffusion utan en viss vätsketransport sker i porsystemet. Detta kan vara fallet i vissa material, t ex i cementbaserade material, även om RF är något lägre än 100 %.

### **Mätvärden på sorptionskurvan**

Mätning av relativ fuktighet och fuktkvot i en punkt i ett material måste ge mätvärden som ligger på sorptionskurvan för det aktuella materialet. Ligger samhörande värden på fuktkvot och RF tydligt långt från sorptionskurvan är minst ett av de båda värdena felaktiga eller är de mätta i olika punkter.

#### Exempel:

En fuktkvot på 18 vikt-% i trä och en RF på 60 % ligger inte på sorptionskurvan för trä. Är värdena från

samma mätpunkt, är någon av mätningarna felaktig. 18 % fuktkvot motsvarar RF=70-80 %.

Självklart kan inte denna typ av jämförelse göras för små avvikelser eftersom sorptionskurvan har en viss hysteres så att olika fukthistoria kan ge något olika värden på samhörande talpar.

### **RF i mark**

Relativa fuktigheten i mark är normalt 100 %. Lägre uppmätt RF än så måste starkt ifrågasättas, alldeles särskilt om mätningen gjorts i ett material med liten fuktkapacitet, t ex i sand, grus, singel eller makadam. Måste en RF lägre än 100 % i mark verifieras, rekommenderas att placera en RF-givare i marken under en längre period på så sätt att hela givaren antar samma temperatur som marken, dvs. inte genom ett hål genom konstruktionen. Alternativt kan ett material med stor fuktkapacitet placeras i marken under lång tid och sedan tas upp för mätning på uttaget prov.

# KALIBRERING

## HUR KALIBRERA?

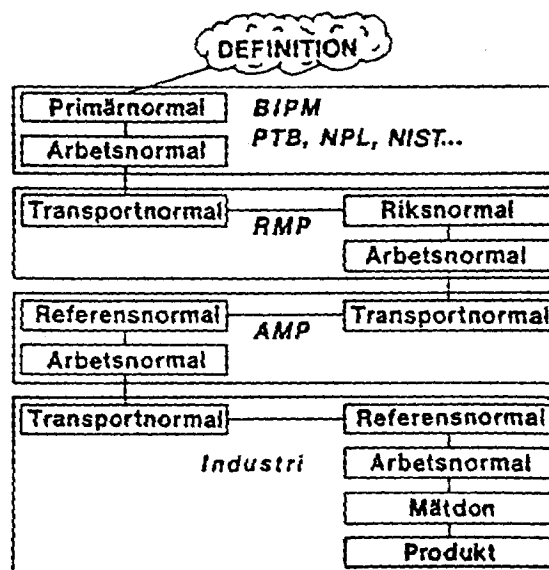
Vanligtvis innebär en kalibrering att mätvärdet hos instrument jämförs mot en normal, även kallad referens, under strikt kontrollerade förhållanden.

Vid kalibreringen försöker man att så noggrant som möjligt jämföra sitt mätinstrument mot ett "sant värde". Detta "sanna värde" är ofta mycket svårt att skapa, så en viss osäkerhet måste alltid accepteras vid alla kalibreringar.

För att hantera svårigheten med det "sanna värdet", som egentligen inte kan mätas, har man historiskt sett skapat en "primärnormal" med ett exakt värde.

Denna enda primärnormal har sedan definierats som det "sanna värdet" och förvarats under strikta förhållanden på en säker plats. Med en kedja av "Huvudnormaler", "Arbetsnormaler" och "Transportnormaler" fortsätter sedan i flera steg ner till mätinstrumentet och "produkten" enligt Figur 40.

I varje steg i kedjan som normaler jämförs med varandra tillkommer en osäkerhet. Detta innebär att industrins "Referensnormal" har en större osäkerhet än riksmätplatsens "Riksnormal" som i sin tur har en större mätosäkerhet än "Primärnormalen".



Figur 40. Exempel på kedjan från primärnormal ner till mätinstrument och "produkt", (Frank, 1998)

För att minska osäkerheten vid kalibrering av mätinstrument är det därför viktigt att minimera osäkerheten i varje steg i kedjan, eller om möjligt hoppa över vissa steg.

Med dagens förnäma transporter är det exempelvis möjligt att direkt jämföra sin "Transportnormal" för RF med "Arbetsnormalen" på NIST i USA. (NIST = National Institute of Standards and Testing). Därmed har man hoppat över flera steg i kedjan och kan i många fall reducera osäkerheten markant.

## KALIBRERING AV RF-GIVARE

Vid Kalibrering av RF-givare skiljer vi på kalibrering mot en normal och så kallad "salt-kalibrering".

Kalibrering mot en normal sker vanligtvis på en kalibreringsplats, dvs. genom att skicka RF-givarna till ett specialiserat företag.

För regelbundna kontroller, mellan de noggrannare kalibreringarna, kan salt-kalibrering användas för egenkontroll. Kalibrering mot en mättad saltlösning kan man göra själv men osäkerheten är betydligt större än vid kalibrering mot en normal.

### ***Kalibrering mot Normal***

Vid kalibrering mot en Normal sänder man vanligtvis iväg RF-instrumentet till en kalibreringsplats. I Sverige kan det vara SP i Borås eller FuktCentrum i Lund. Internationellt kan det vara NPL i England eller NIST i USA.

På kalibreringsplatsen jämförs mätvärdet hos RF-instrument mot en Normal, vid ett antal fuktnivåer. Vanligtvis sker detta genom att Normalen och RF-givaren som skall kalibreras placeras tillsammans och läses av i en fuktkammare som genererar ett antal fuktnivåer under strikt kontrollerade förhållanden.

### ***Precisionsfuktkammare***

En annan typ av Normal som används vid kalibrering av RF-givare är precisionsfuktkammare. Denna utrustning genererar strikt definierade fuktnivåer med samma noggrannhet som en vanlig "Normal" kan registrera. Kalibreringsmetod benämns ofta vara av typen "tvåtryckskammare".

I utrustningen används tryckluft som först fuktmätas vid en stabil

temperatur. Luften leds sedan in i själva kammaren genom en ventil, varvid trycket sänks till atmosfärstryck. När trycket på den fuktmättade luften sjunker sänks RF. Genom att styra dessa tryck och hålla en mycket stabil temperatur på luften, kan RF ställas in mycket noggrant. RF kan normalt åstadkommas i intervallet 10-98 %. Kalibrering med denna teknik kan åstadkommas med en osäkerhet som är mindre än  $\pm 0.5$  % RF [AS04].

Precisionsfuktkammaren används ibland som en mobil utrustning så att kalibreringen kan utföras "insitu", dvs. på plats. Fördelen med detta är att RF-givare som är inbyggda i ett större övervakningssystem kan kalibreras tillsammans med hela systemet. Systemets totala mätosäkerhet beaktas då.

### ***Kalibreringsprotokoll***

Ett kalibreringsprotokoll innehåller vanligtvis en "kalibreringskurva", dvs. en kurva som visar sambandet mellan utslaget från givaren / instrumentet och verklig relativ fuktighet som anges av Normalen / tvåtryckskammaren.

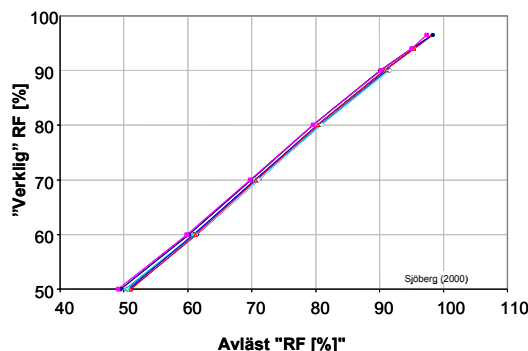
Denna kalibreringskurva är oftast "as found" då jämförelsen är gjord utan att några inställningar hos instrumentet har ändrats. Dvs. inga inställningar alls har ändrats på RF-instrumentet under kalibreringen.

Ibland vill man ändra instrumentets inställningar, exempelvis för att man önskar att det skall visa det korrekta mätvärdet direkt i displayen. I de fallen justerar man instrumentets inställningar utifrån resultatet av "as found". Efter justeringen görs en ny jämförelse mellan instrumentet och normalen och en ny kalibreringskurva upprättas. Denna kalibreringskurva är "as left" eftersom inga inställningar hos

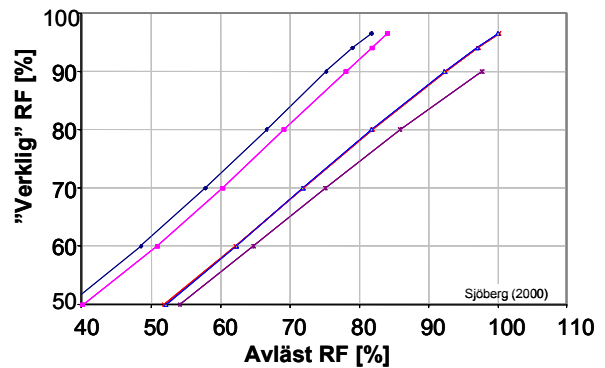
instrumentet därefter ändras innan det lämnar kalibreringsplatsen

De noggrannaste resultaten fås dock genom att kalibrera enligt "as found" och använda kalibreringskurvan för att korrigera det avlästa värdet. Detta är på grund av att inställningen på instrumentet ofta inte kan korrigera avvikelserna fullt ut. Dessutom kan man följa instrumentets långsiktiga drift om man inte rör dess inställningar.

Två exempel på kalibreringskurvor "as found" för två RF-givare vid nio respektive fem olika tillfällen visas i Figur 41 och Figur 42. Figur 41 visar en mycket stabil kalibrering under hela perioden då nio kalibreringar gjorts. I Figur 42 ses att kalibreringen har ändrats mellan två kalibreringstillfällen, i detta fall beroende på att RF-sensorn utsatts för nedbrytningsprodukter vid mätning på förorenade betongprover.



Figur 41. Exempel på kalibreringskurvor vid nio olika tillfällen för en RF-givare.



Figur 42. Exempel på kalibreringskurvor vid fem olika tillfällen för en RF-givare som har fått en "drift" efter två kalibreringar.

Denna typ av förändring hos kalibreringskurvan hade kunnat upptäckas genom en regelbunden kontroll med hjälp av saltlösningar.

Många RF-givare ger utslag som är graderade i "RF-%", men detta utslag är egentligen ett utslag i mV, ofta elektroniskt "lineariserat", dvs. omvandlat så att kalibreringskurvan blir nära en rät linje. Utslaget kan därför mycket väl bli högre än 100 "RF-%", vilket inte alls är konstigt; det är egentligen mV!

Utan linearisering blir kalibreringskurvan krökt för många RF-sensorer. Detta beror på att utslaget är en funktion av fukttinnehållet i sensor-materialet, dvs. sambandet mellan verklig RF och utslaget blir en omvänd sorptionskurva och därmed S-formad.

Tänk även på att kalibreringens osäkerhet alltid skall vara angiven i protokollet. Osäkerheten mellan olika kalibreringsplatser kan skilja markant. Exempel på osäkerheter som kan uppkomma på en kalibreringsplats;

- osäkerheten hos transportnormalen
- osäkerheten hos arbetsnormalen
- klimatstabilitet vid jämförelsen
- instrumentens upplösning



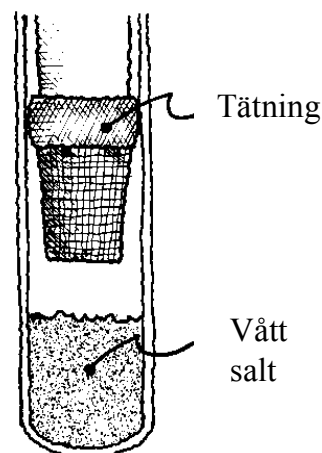
### Kalibrering mot saltlösning

För regelbunden kontroll av att RF-givare inte radikalt ändrat sitt utslag (kalibreringskurva) kan en enklare form av kalibrering göras med hjälp av mättade saltlösningar.

Vid noggranna mätningar av RF används kalibrering mot saltlösning som egenkontroll för att avgöra om något plötsligt och oväntat har hänt instrumentet. Det kan också avgöra om driften är onormalt stor eller när det är dags att sända iväg instrumentet för noggrann kalibrering på en kalibreringsplats.

För att åstadkomma en mättad saltlösning blandas ett salt med en liten mängd vatten. Ett tydligt tecken på att lösningen är mättad är att det syns saltkorn som inte lösts upp, men det finns ingen anledning att använda mer vatten än att saltet bara blir "vått".

Det behöver alltså inte vara en stor vätskemängd hos "lösningen"!



Figur 43. Kalibrering över mättad saltlösning.

Olika salter ger olika RF i luften ovanför en mättad lösning. I Tabell 5 anges RF för olika mättade saltlösningar vid olika temperaturer. Data har tagits ur ASTM (1985).

Tabell 5. RF för mättade saltlösningar (enligt ASTM E 104-85)

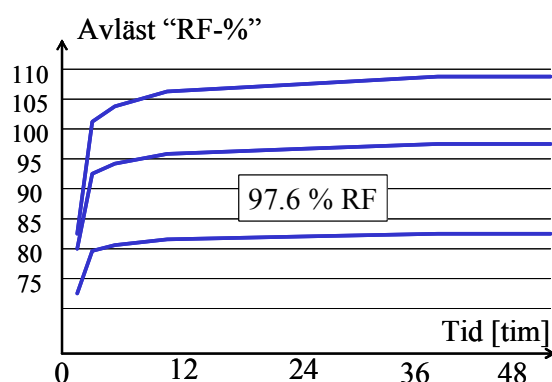
| Salt            |                                   | RF (%)     |            |            |
|-----------------|-----------------------------------|------------|------------|------------|
| Handelsnamn     | Beteckning                        | T = + 15°C | T = + 20°C | T = + 25°C |
| Litiumklorid    | LiCl                              | 11,3 ± 0,4 | 11,3 ± 0,3 | 11,3 ± 0,3 |
| Magnesiumklorid | MgCl <sub>2</sub>                 | 33,3 ± 0,2 | 33,1 ± 0,2 | 32,8 ± 0,2 |
| Magnesiumnitrat | Mg(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> | 55,9 ± 0,3 | 54,4 ± 0,2 | 52,9 ± 0,2 |
| Natriumklorid   | NaCl                              | 75,6 ± 0,2 | 75,5 ± 0,1 | 75,3 ± 0,1 |
| Kaliumklorid    | KCl                               | 85,9 ± 0,3 | 85,1 ± 0,3 | 84,3 ± 0,3 |
| Bariumklorid    | BaCl <sub>2</sub>                 | 92 ± 2     | 91 ± 2     | 90 ± 2     |
| Kaliumnitrat    | KNO <sub>3</sub>                  | 95,4 ± 1,0 | 94,6 ± 0,7 | 93,6 ± 0,6 |
| Kaliumsulfat    | K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>    | 97,9 ± 0,6 | 97,6 ± 0,5 | 97,3 ± 0,5 |

Saltkalibrering fordrar dels ett kort avstånd mellan saltlösning och sensor och dels stabila temperaturförhållanden. Minsta temperaturvariation ger temperaturskillnader mellan saltlösningens yta och RF-sensorn, vilket medför att det blir en annan RF vid sensorn än över saltlösningen.

För att inte få orimligt stora osäkerheter bör burkarna med saltlösning helst placeras i ett temperaturstabil utrymme, eller ännu hellre i ett temperaturstabil bad, vilket kan innehålla flera kalibreringsburkar.

RF-sensorn eller det filter som skyddar sensorn får inte komma i kontakt med saltlösningen. Då förstörs givaren eller blir mycket otillförlitlig.

Eftersom en saltkalibrering baseras på att vattenånga diffunderar från saltlösningens yta genom luften till RF-sensorn, kommer sensorn att uppfuktas eller uttorkas långsamt. Sensorn består normalt av ett hygroskopiskt material med stor fuktkapacitet, för att öka känsligheten. Vid höga RF är fuktkapaciteten speciellt stor vilket medför att det tar särskilt lång tid för RF-sensorn och saltlösningen att komma i fuktjämvikt. Ett exempel visas för tre givare i Figur 44.



Figur 44. Långsam anpassning till jämvikt med omgivande luft med hög RF

Den amerikanska standarden för RF-kalibrering (ASTM E 104-85) redovisar bla vilka salt som kan användas, krav på renhet hos salt och vatten, förvaring av saltlösning, maximal ålder hos saltlösning mm. Nedanstående är en kort sammanfattning av standarden.

**Saltets kvalitet** skall vara av kvalitet "pro analysi".

**Vattnet** som används skall vara antingen destillerat eller framställt med jonbytarfilter.

**Behållaren med saltlösning** skall vara liten för att i största möjliga mån minska de temperaturvariationer som verkar på behållaren och dess innehåll. Det föreslås att man maximalt har en luftvolym på 25 cm<sup>3</sup> per cm<sup>2</sup> saltlösningens yta. Behållaren skall vara av korrosionsfritt, icke hygroskopiskt material, t ex glas.

**Saltlösningarna** i Tabell 5 kan normalt användas i ett år eller mer. Det finns ytterligare salter som kan användas för att alstra en viss RF. De salter som anges i Tabell 5 är dock de bästa med hänsyn till bla noggrannhet, temperaturokänslighet och kemisk stabilitet mm.

De osäkerheter ( $\pm$  värden) som anges i Tabell 5 skall uppfattas så att det korrekta RF-värdet inte är helt känt. Under ideala förhållanden ligger saltlösningens jämvikts-RF mellan de angivna gränserna.

**Blandning:** Placera den kvantitet salt som behövs för att täcka botten på behållaren med ett ca 4 cm tjockt saltlager för salter med låg RF (som tar upp fukt) eller med ett ca 1,5 cm tjockt lager för salter med hög RF. Tillsätt lite vatten åt gången och blanda väl efter varje gång. Fortsätt tills saltet inte kan

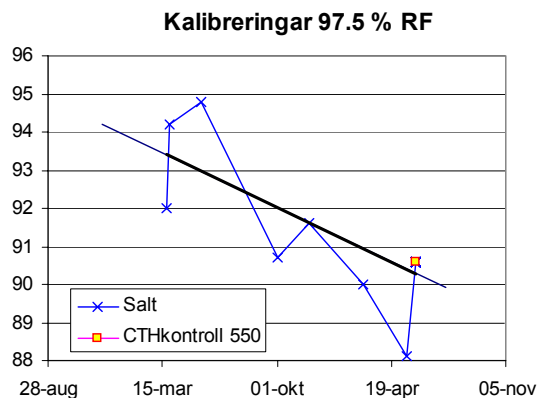
absorbera mer. Detta visar sig genom att en fri vätskeyta bildas.

**Osäkerheter:** Exempel på osäkerheter som kan uppkomma vid en saltkalibrering;

- temperaturavvikelser i badet
- temperaturvariationer i luften
- slumpmässiga faktorer hos saltet
- instrumentets upplösning

### **Drift**

Vissa exemplar av RF-sensorer har en märkbar drift som måste upptäckas genom regelbunden kalibrering mot saltlösning eller Normal enligt ovan. Ett exempel ges i Figur 45 där en RF-givare regelbundet salt-kalibrerats (kryss) under ca 1,5 år och efter mätperioden kalibrerats i en precisionsfuktkammare (fyrkant). Driften vid 97,5 % RF är ca 4 % RF! I figuren indikeras också osäkerheten vid salt-kalibrering.



Figur 45. Exempel på drift hos RF-givare under 1,5 år.

## **KALIBRERING AV VÅGAR**

Vid bestämning av fuktkvot, fukthalt eller kapillärmättnadsgrad är det viktigaste arbetsredskapet en våg. För att vågens absolutvärde skall vara tillförlitligt behöver den kalibreras regelbundet.

Precis som vid kalibrering av RF-instrument kan en våg kalibreras på en kalibreringsplats eller "insitu". Om vågen ingår som en del i ett större system är det lämpligt att kalibrera vågen på plats.

Egenkontroll av vågen bör regelbundet ske med kontrollvikter inom vågens arbetsområde. Egenkontrollen utförs innan vägning genom att väga kontrollvikterna och notera den eventuella avvikelserna. Detta ger en uppskattning av vågens fel och korrigering kan ske för felet. Är avvikelserna betydande bör vågen kalibreras omgående.

Vid inköp av kvalificerade laboratorievågar kan dessa fås med kalibreringsbevis, som redovisar vågens noggrannhet.

# ORDLISTA

## FUKT

**Fukt** = vatten i gasfas, vätskefas eller fast fas. Med fukt avses oftast ånga, vatten eller is i annan materia.

**Vattenånga** = fukt i gasfas.

**Absorption** = upptagning av fukt i ett material.

**Desorption** = uttorkning av fukt i ett material.

**Daggpunkt** = den temperatur vid vilken vattenånga med viss ånghalt kondenserar.

**Ånghalt** = mängd vattenånga per volym luft ( $\text{kg/m}^3$ ). Beteckning:  $v$ .

**Mättnadsånghalt** = maximal ånghalt som kan existera vid en given temperatur. Beteckning  $v_m$ .

**Relativ fuktighet** = kvoten mellan verklig ånghalt och mättnadsånghalt. Beteckning:  $\phi$  (0-1) eller RF(%)

$$\phi = \frac{v}{v_m}$$

$v$  = ånghalt

$v_m$  = mättnadsånghalt

**Porfuktighet** = relativ fuktighet i materials porsystem.

**Fukttinhåll** = ett mått på mängden fukt i ett material. Anges som fuktkvot, fukthalt eller mättnadsgrad.

**Fukttillstånd** = tillståndet hos fukten i ett material, dvs. hur "fuktigt" materialet är. Anges som relativ fuktighet, porfuktighet eller som porvattentryck.

**Fukthalt** = kvoten av massa förångningsbart vatten och total volym ( $\text{kg/m}^3$ ). Beteckning:  $w$ .

**Fuktkvot** = kvoten av massa förångningsbart vatten och massa torrt material ( $\text{kg/kg}$ ). Beteckning:  $u$ .  
Fuktkvoten anges oftast i vikt-%.  
I byggnadssammanhang är det normalt att torrt material avser material som är torkat vid  $+105^\circ\text{C}$ . Sambandet mellan fukthalt och fuktkvot skrivs

$$w = u \cdot \rho$$

där  $\rho$  är torra densiteten uttryckt i [ $\text{kg/m}^3$ ].

**Hygroskopisk** = förmåga att ta upp eller avge fukt från/till omgivande luft.

**Jämviktsfuktkurva** = sorptionskurva.

**Hygroskopisk sorptionskurva** = sambandet mellan fukthalt eller fuktkvot i ett poröst material och den relativa fuktigheten i omgivande luft, eller i materialets porer, vid jämvikt.

**Fuktkapacitet** = ändring av fukthalt då RF ändras dvs. ett materials förmåga att binda fukt. Denna storhet utgör lutningen hos den hygroskopiska sorptionskurvan.

**Vattenmättnadsgrad** = kvoten av massa vatten i en porös kropp och massa vatten vid mättnad (-).  
Beteckning:  $S$ .

**Kapillärmättnadsgrad** = kvoten mellan massa vatten i ett poröst material och massa vatten efter kapillärsugning från en vätskeyta (-).  
Beteckning:  $S_{kap}$  eller *KMG*

**Hygroskopiskt område** = fuktnivå motsvarande relativ fuktighet 0-98 % RF.

**Scanningkurva** = resultatet av en sorptionskurva där materialet växlar mellan uttorkning och uppfuktning.

**Fukthistoria** = det fukttillstånd eller fukttinnehåll som ett material haft vid olika tidigare tidpunkter.

## MÄTINSTRUMENT

**Sensor** = den aktiva eller kännande delen hos ett mätinstrument.

**Prob** = den del av ett mätinstrument som innehåller den aktiva delen (sensorn). Proben kan vara ansluten till instrumentets huvuddel t.ex. med hjälp av en elektrisk kabel.

**Stabilitet** = mätinstrumentets förmåga att bibehålla sitt utslag konstant med tiden.

**Drift** = långsam ändring av ett utslag hos ett mätinstrument som borde vara konstant.

**Kalibrering** = jämförelse, under strikt kontrollerade förhållanden, som fastställer sambandet mellan avläst värde hos ett mätinstrument och motsvarande "korrekta" värde.

**Spårbarhet** = egenskap hos ett mätresultat eller hos värdet på en normal som anger att detta kan relateras till angivna referenser, vanligen nationella eller internationella

normaler, genom en obruten kedja av jämförelser som alla har osäkerheter.

**Kapacitans** = förmåga hos en elektrisk ledare att uppta (magasinera) elektrisk laddning.

**Resistans** = motstånd hos en elektrisk ledare mot strömtransport.

# LITTERATUR

American Society for Testing and Materials. ASTM: Manual on the use of thermocouples in temperature measurements. STP 470B, 1987.

American society for testing and Materials. ASTM: Standard Practice for maintaining humidity by means of aqueous solutions. Designation E:104-85, 1991.

A Guide to the Measurement of Humidity. The Institute of Measurement and Control. London, England 1996.

Bentley, R E., Temperature and Humidity Measurement Vol. 1, Springer-Verlag Singapore Ltd, 1998.

Bentley, R E., Resistance and liquid in glass thermometry, Temperature and Humidity Measurement Vol 2, 1998.

Brander, P. & Esping, B. Manual för fuktmätning i trä, SBUF, Stockholm, 2005.

BS EN 60751: Industrial platinum resistance thermometer sensors. ISBN 0 580 25491 7, 1996.

European cooperation for Accreditation of Laboratories. Angivande av mätosäkerhet vid kalibrering. Publikation EAL-R2-Sv. Svensk utgåva, SWEDAC, Stockholm, 1999.

Forest Products Laboratory. Wood handbook—Wood as an engineering material. Gen. Tech. Rep. FPL—GTR—113. Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products, 1999.

Frank, L. Krav på kalibrering med spårbarhet. Seminariekompodium Kalibrering och mätosäkerhetsberäkning i industrin. IIR Seminarier, Stockholm, 1998.

Grahm, L., Jubrink, H-G, Lauber, A. Modern industriell mätteknik – Givare. Teknikinformation, Lund och Linköping, 1996.

Harderup, E. & Roots, P. Mätinstrument. Seminarierapport, Avdelningen för byggnadsfysik, Lund, 1991.

Hedenblad, G. och Nilsson, L-O. Kapillärmättnadsgrad - ett verktyg för noggrann bestämning av fuktinnehåll i betong. Byggnadsmaterial, Lunds tekniska högskola. Rapport TVBM-3022. Lund, 1985.

Hedenblad, G. Kapillär mättnadsgrad - ett verktyg för noggrann bestämning av fuktinnehåll i betong - sammanfattande version. Byggnadsmaterial, Lunds tekniska högskola. Rapport TVBM-3043. Lund, 1990.

Hedenblad, G. Uttorkning av byggfukt i betong, torktider och fuktmätning. Byggeforskningsrådet, Rapport T12:1995, Stockholm, 1995.

Hedenblad, G. Fuktsäkerhet i byggnader. Materialdata för fukttransportberäkningar. Byggeforskningsrådet, Rapport T19:1996, Stockholm, 1999.

Hedenblad, G. Kompendium i mätosäkerhetsberäkningar för relativ fuktighet i betong. Sveriges byggindustrier, Stockholm, 1999.

International Organisation for Standardization. Guide to the expression of uncertainty in measurement (Vägledning för uttryckande av mätosäkerhet). 2:a utgåvan, Genève, 1995.

Kauro Ishikawa. Guide to Quality Control. Asian Productivity Organization; 1982.

James, W. L. Electric Moisture Meters for Wood. General Technical report FPL-GTR-6, Forest Products Laboratory, US dept of Agriculture, 1998.

Lindskog, J. Mätvärdesbehandling och rapportering av mätresultat. Sandtorp Consult, Hjo, 1997.

Monfore, G.E. A small probe-type gage for measuring relative humidity. Journal of the PCA Research and Development Lab, 1963.

Nilsson, L-O. Byggfukt i betongplatta på mark. Torknings- och mätmetoder. Del 2: Fuktmätning TVBM-3008. Byggnadsmaterial, Lunds Tekniska Högskola, Lund, 1977.

Nilsson, L-O, Englund, H., Ericsson, U. & Rising, C. Byggfukt i betongplatta på mark. Torknings- och mätmetoder. Del 3: Skadeinventering och fältmätningar, TVBM-3009, Byggnadsmaterial, Lunds Tekniska Högskola, Lund, 1977.

Nilsson, L-O. RF-mätning i undergolv enligt HusAMA 98. AMA-nytt Mark•Hus 1/98. Svensk Byggtjänst, Stockholm, 1998.

Nilsson, L-O. Fuktmätning i betonggolvet på mark, Hammarkullen, Göteborg. Byggnadsmaterial, Lunds Tekniska Högskola. Intern rapport. Lund, 1977.

Nilsson, L-O. Hygroscopic moisture in concrete. Drying, measurement and related material properties. TVBM-1003, Byggnadsmaterial, LTH, Lund, 1980.

Nilsson, L-O. Temperature effects in relative humidity measurements on concrete - Some preliminary studies. Proc. Nordic Symposium on Building Physics, Lund, 1987.

Nilsson, L-O. Fuktmätning i byggnadsmaterial. Publikation P 87:5. Kompendium, avd f Byggnadsmaterial, Chalmers, Göteborg, 1987.

Nilsson, L-O. Fuktegenskaper. Kap 11, Betonghandboken Högpriesterande betong, Svensk Byggtjänst, Stockholm 2000.

Nilsson, L-O & Aavik, J. Fuktmätning i betongbjälklag med PW-givare under byggtiden - utvärdering av ny utrustning och metodik. Publikation P-93:5 avd f Byggnadsmaterial, Chalmers, Göteborg, 1993.

Olbjer, L. Kompendium i experimentell och industriell statistik. Institutionen för matematisk statistik, Lunds tekniska högskola, Lund, 1988.

Pastrav, M. Fukt- och temperaturmätning i betong : risk för felmätning i borrhål, SP-rapport 1989:05, 1989.

Pentronics temperaturhandbok 1, Pentronic, Gunnebo, 1997.

Pihlajavaara, S.E. CIB Symposium on Moisture in Buildings, Rotterdam 1974

EN 13183-2:2002. Moisture content of a piece of sawn timber - Part 2: Estimation by electrical resistance method. CEN standard, 2002.

RBK . Manual version 3, Fuktmätning i betong. Sveriges byggindustrier, Stockholm, 2001.

Sandin, K. (1974) Fukt- och temperaturundersökning i Vadstena Klosterkyrka, rapport 50, Institutionen för Byggnadsteknik, LTH, Lund

Segerholm, I. Moisture in wood – Sill/stud-element exposed to simulated precipitation. P-98:16. Inst. för byggnadsmaterial, Chalmers tekniska högskola, Göteborg, 1998.

Sjöberg A. & Blomgren J, 2004. Fuktmätning med trådlösa sensorer inom byggindustrin, en studie av byggbranschens framtida fuktmättningsbehov. Avdelningen för byggnadsmaterial, Lunds tekniska högskola. Lund, 2004.

Sjöberg A.. Mätosäkerhet vid fuktmätning i betong med kapacitiva fuktgivare. Institutionen för byggnadsmaterial, Chalmers, Göteborg. P-98:1. 60 sidor. [www.bm.chalmers.se/research/publika/p981.htm](http://www.bm.chalmers.se/research/publika/p981.htm), 1998.

Svensk Standard SS 02 42 03. Byggnadsfysik – Masstransport – Storheter och enheter. SIS – Standardiseringskommisionen, Stockholm, Sverige. 1990.

Svensk Standard SS 02 01 06. Metrologi – Terminologi. SIS – Standardiseringen i Sverige, Stockholm, Sverige. 1994.

Taylor, B.N. & Kuyatt, C.E. Guidelines for Evaluating and Expressing the Uncertainty of NIST Measurements Results. National Institute of Standards and Technology (NIST), NIST Technical Note 1297, Edition, Washington, USA, 1994.

Temperature Handbook, 14th Edition, Calex Electronics Limited, Bedfordshire, 2004.

Tong, A.. Mät temperaturen noggrannare. Elektronik i Norden, 14, 2001, s. 52—53.

Weydert, R. Randbedingungen bei der Instandsetzung nach dem Schutzprinzip W bei der Bewehrungskorrosion im karbonatisierten Betong. Deutscher Ausschuss für Stahlbeton, Heft 552, Beuth Verlag Berlin, 2005.

Wiederhold, P.R. Water Vapor Measurement: methods and instrumentation. Dekker Inc., New York, 1997.

Voutilainen et al. Novel Measurement Method of Humidity within Construction Structures. Helsinki University of Technology Applied Electronics Laboratory, Series E: Electronics Publications E2, Espoo, Finland, 2002.

Åhs, M. Fältnätning av RF i betong. Skanska Asphalt och Betong, SBUF nr 11308, Malmö, 2005.