



LUND UNIVERSITY

Kapillär mätnadsgrad : ett verktyg för noggrann bestämning av fuktinnehåll i betong : sammanfattande version

Hedenblad, Göran

1990

[Link to publication](#)

Citation for published version (APA):

Hedenblad, G. (1990). *Kapillär mätnadsgrad : ett verktyg för noggrann bestämning av fuktinnehåll i betong : sammanfattande version*. (Rapport TVBM; Vol. 3043). Avd Byggnadsmaterial, Lunds tekniska högskola.

Total number of authors:

1

General rights

Unless other specific re-use rights are stated the following general rights apply:

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal

Read more about Creative commons licenses: <https://creativecommons.org/licenses/>

Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

LUND UNIVERSITY

PO Box 117
221 00 Lund
+46 46-222 00 00



FUKTGRUPPEN VID LTH
AVDELNINGEN FÖR BYGGNADSMATERIAL
LUNDS TEKNISKA HÖGSKOLA

MOISTURE RESEARCH GROUP
DIVISION OF BUILDING MATERIALS
LUND INSTITUTE OF TECHNOLOGY

KAPILLÄR MÄTTNADSGRAD

-ett verktyg för noggrann bestämning
av fuktinnehåll i betong

Sammanfattande version

Göran Hedenblad

KAPILLÄR MÄTTNADSGRAD

-ett verktyg för noggrann bestämning
av fuktinnehåll i betong

Sammanfattande version

Göran Hedenblad

ISSN 0348-7911

SAMMANFATTNING

Denna rapport är en sammanfattning av en tidigare forskningsrapport (TVBM-3022) med samma titel. Den tidigare forskningsrapporten är författad av Göran Hedenblad och Lars- Olof Nilsson. Målet med sammanfattningen har varit att få ned antalet sidor till ca 15, men ändå få med huvudinnehållet i den tidigare forskningsrapporten.

Kapillärmättnadsgraden (KMG) är ett "analysinstrument" för att bestämma fuktinnehållet i betong vid höga fukttillstånd, där mätning av relativ fuktighet och fuktkvot ej fungerar tillfredsställande. Kapillärmättnadsgraden definieras på följande sätt:

$$\text{KMG} = \frac{\text{Mängd vatten i prov in situ}}{\text{Mängd vatten i kapillärmättat prov}}$$

Kapillärmättnadsgraden har fördelen framför fuktkvotsmätning att den tar hänsyn till bl a olika ballastinnehåll i proven och stenseparation vid gjutningen.

Förslag till mätutförande redovisas på sid 14.

1 BAKGRUND

Relativa fuktigheter (RF) i området över ca 95% är svåra att tillförlitligt använda vid analys av fuktförhållandet i en konstruktion. En mätning av fuktkvoten (u) är här, teoretiskt, ett bättre sätt att upptäcka skillnader i fukttillstånd mellan olika punkter, eftersom sorptionskurvans lutning är mycket brant vid höga fukttillstånd.

Fuktkvoten är emellertid svår att bestämma noggrant i betong p g a att uttagna prover lätt kan bli dåligt representativa för den aktuella betongkvaliteten; stenstorleken har här avgörande betydelse. I en betongkonstruktion är också betongen olika komprimerad på olika djup och beståndsdelarna kan mycket väl ha separerat i viss omfattning. Samma u på olika djup kan därför betyda olika fukttillstånd; även det omvända gäller naturligtvis.

Vid höga fukttillstånd nära 100% RF är inte heller en mätning av RF alltid noggrann. Vid bestämning av fördelningen av u i en konstruktion som innehåller olika material eller olika materialkvaliteter går det naturligtvis inte heller att få någon vägledning av enbart att mäta u. En mätning av "kapillärmättnadsgraden", KMG, ger stora möjligheter att eliminera dessa problem.

I flera skadefall vid betonggolv på mark har mätning av KMG gett korrekt information om verklig fuktkälla, då andra mätningar och observationer tidigare har kommit till andra slutsatser. Exempel i TABELL I åskådliggör tydligt hur resultaten kan bli och hur mätvärdena helt kan feltolkas.

TABELL I

Exempel på mätresultat i källargolv av betong, Hammarkullen, Göteborg, Nilsson (1977).

MATERIAL	Djup cm	u %	RF %	u efter kapillär sugning $u_{\text{kap}} = \frac{m_{\text{kap}} - m_{\text{torr}}}{m_{\text{torr}}}$	KMG (-) $\frac{u}{u_{\text{kap}}}$
BRUK	0 - 2		100		
	0 - 3	6.7		7.6	0.88
BETONG	3 - 5	5.2		7.3	0.71
	6 - 7		100		
	7 - 10	5.6		6.8	0.82
	10 - 15	5.2	100	6.1	0.85
	15 - 20	4.4	100	5.0	0.88

RF är 100% i hela betongplattan och ger ingen upplysning varifrån fukten tillföres. Fuktkvoten (u) är högst upptill och sjunker nedåt, vilket ibland felaktigt tolkas som att fukten kommer uppifrån. Bestämmas u då de uttagna proverna har mättats kapillärt fås samma tendens, högt u upptill och mindre nedåt. Kapillärmättnadsgraden i betongen är emellertid högst nedtill och minskar successivt uppåt vilket visar att fukten inte alls kommer uppifrån; tvärtom skulle en noggrannare analys säkert visa att fukt tillföres underifrån eller att fukten av hysteresisskäl är i jämvikt i plattan fastän KMG är olika. I cementbruket fås naturligtvis ett helt annat resultat eftersom detta är ett annat material. I FIG 9 framgår att material med olika vct får olika KMG för samma RF.

2 DEFINITION AV KAPILLÄRMÄTTNADSGRADEN OCH DET PRINCIPIELLA MÄTFÖRFARANDET

Kapillärmättnadsgraden definieras på följande sätt:

$$\text{KMG} = \frac{\text{Provets fuktkvot in situ}}{\text{Provets fuktkvot efter kapillärmättnad}} = \frac{u}{u_{\text{kap}}}$$

$$u = \frac{m_1 - m_2}{m_2} \quad u_{\text{kap}} = \frac{m_{\text{kap}} - m_2}{m_2}$$

Vilket medför att KMG kan skrivas

$$\text{KMG} = \frac{m_1 - m_2}{m_{\text{kap}} - m_2} \quad (1)$$

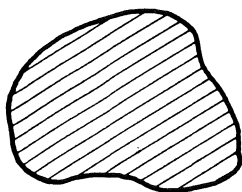
m_1 = provets vikt in situ

m_2 = provets torra vikt efter torkning till konstant vikt vid 105°C

m_{kap} = provets vikt efter mättnad genom kapillärsugning

Mätningen göres på följande sätt. Uttaget fuktprov rensas från bormjöl och "lösa bitar", så snabbt som möjligt så att det inte hinner torka. Efter vägning (m_1) placeras provet i kontakt med en fri vattenyta och avdunstning förhindras. Efter några dygn, då provets överyta är blöt och provet mättat kapillärt, bestäms vikten (m_{kap}) igen. Därefter torkas provet i ugn vid +105°C, varefter torra vikten (m_2) bestäms. Förfarandet åskådliggöres i FIG 1.

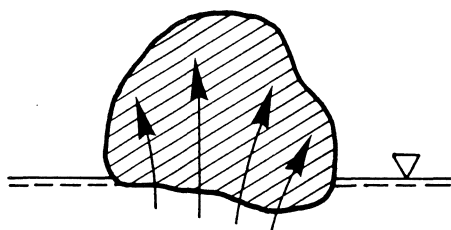
Provbit



Fuktkvot u

(Torkning 105°C; vägning före och efter)

före torkning:



Fuktkvot u_{kap}

(Torkning 105°C; vägning före och efter)

FIG 1. Förfarandet vid bestämning av kapillärmättnadsgrad (KMG).

3 LABORATORIEFÖRSÖK

Laboratorieförsök har gjorts för att analysera fördelarna med att bestämma KMG istället för att enbart mäta u . De olika delarna av mättekniken har också undersökts, med omfattande laboratorieförsök, för att förbättra noggrannheten.

Resultat har erhållits om bl a erforderliga torktider vid ugnstorkning, den ofrivilliga torkningens beroende av provstorlek och betongkvalitet, inverkan av ugnstemperatur och andra felkällor i mätningen.

I FIG 2 ges exempel på resultat av en försöksserie på betong där inverkan av provkroppsstorleken studerats. Fuktkvotsmätningarna visar som väntat på att ju mindre provbitar som tagits desto sämre är representativiteten. Även med prover större än 300 gram är spridningen förhållandevis stor. Avvikelsen vid mätning av KMG är emellertid avsevärt mycket mindre och inte i någon märkbar grad beroende av provbitens storlek.

En förklaring till att KMG har mindre avvikelse än u är att variationer av ballastandelen i uttaget prov har ringa inverkan i KMG men stor betydelse vid mätning av u .

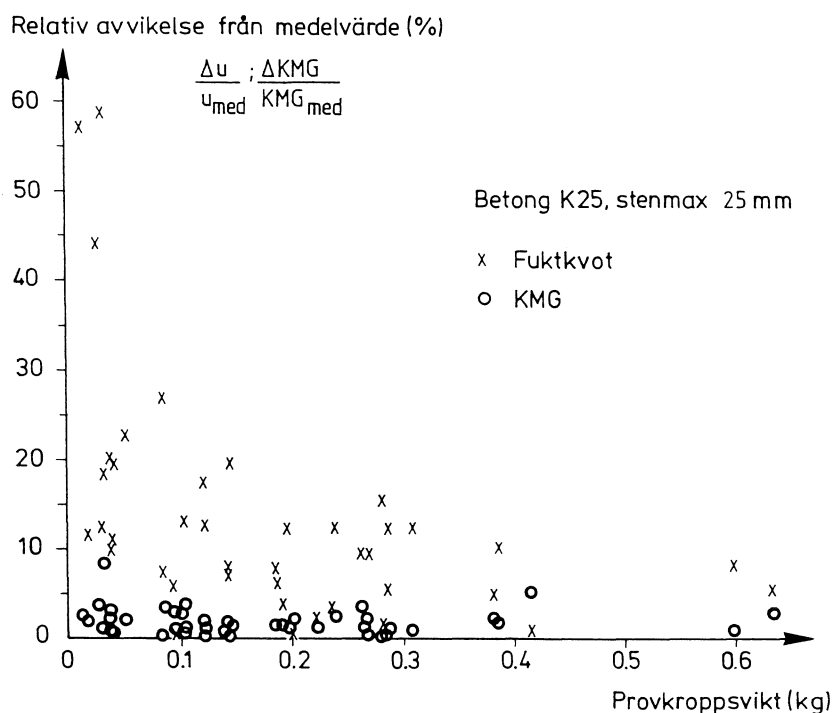


FIG 2. Avvikelse från medelvärde hos u - och KMG värde hos betong med samma fukttinnehåll.

I FIG 3 ges några resultat, för ett cementbruk, från en försöksserie där inverkan av provkroppsstorleken studerades. Spridningen i u - och KMG värdena är i samma storleksordning. Detta kan förklaras av att det finns endast mindre ballast i cementbruket, vilket gör att variationer av ballastandelen i de uttagna proven ej är så stor som för betong. För u -mätningarna är inte avvikelsen från medelvärdeså beroende av provkroppsstorleken som i FIG 2. Observera att skalorna i FIG 2 och FIG 3 inte är samma.

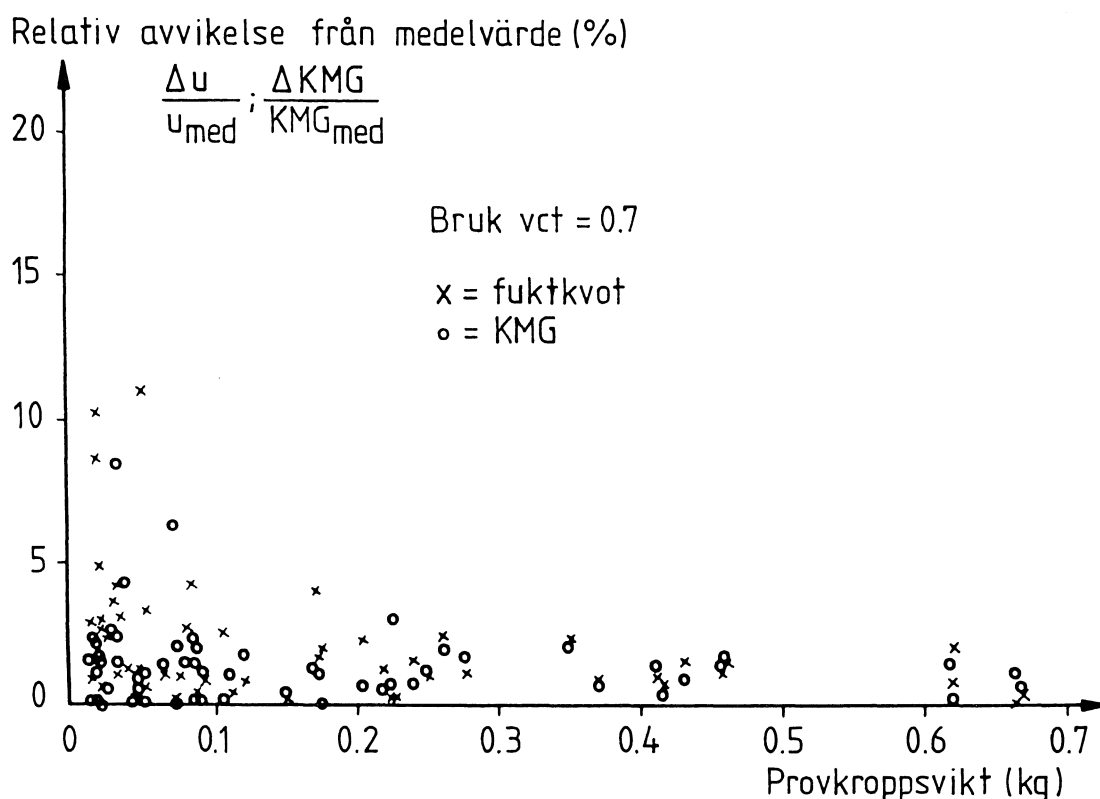


FIG 3. Avvikelse från medelvärde hos u- och KMG värde för ett cementbruk med samma fukttinnehåll.

I FIG 4 ges ett annat exempel. Här ses inverkan av separationen i en betongkonstruktion. Provkroppen är förseglad direkt efter gjutningen och borde alltså ha samma fukttillstånd på hela höjden. Efter härdning har u- och KMG-värden bestämts på provbitar tagna på olika höjd. Fuktkvotsfördelningen visar en antydning till högre u-värde upp- till än nedtill, vilket skulle kunna ha tagits som indikation på en fukttransport nedåt.

Mätning av KMG visar emellertid att det inte alls är så, utan att fukttillståndet mycket väl kan vara detsamma i hela provkroppen. Separationen i betongen medför att ballastandelen blir högre i de undre delarna och då ballasten ej innehåller någon fukt blir u lägre i de undre delarna.

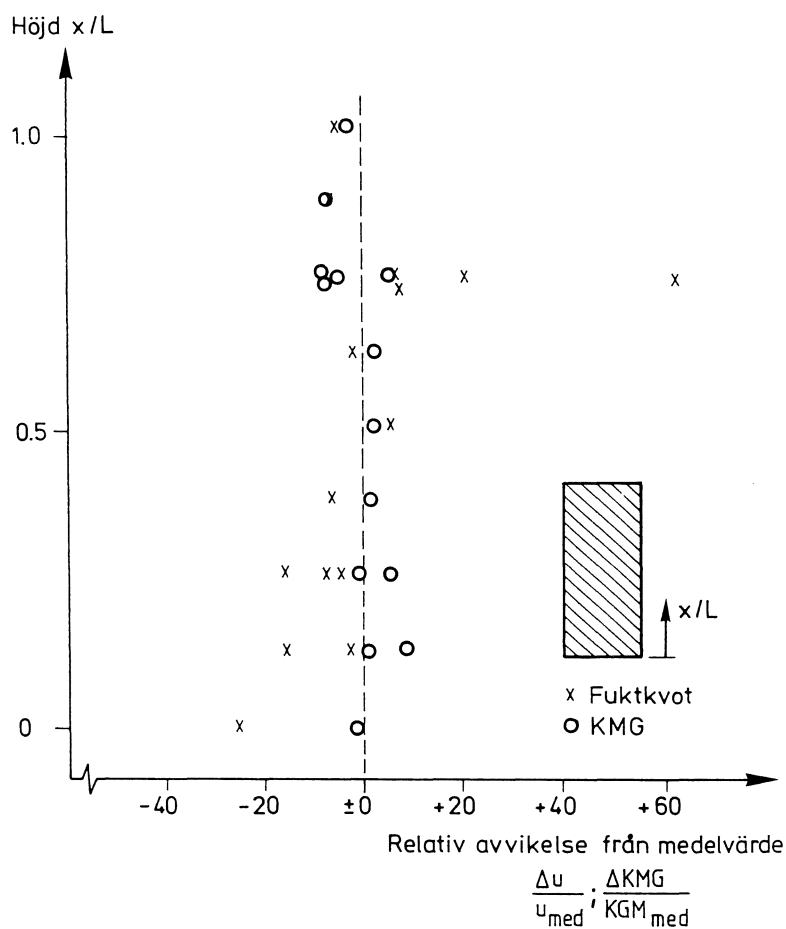


FIG 4. Exempel på mätning av fuktkvotsfördelning i en betongplatta där man erhåller en fuktkvotsgradient nedåt, utan att det pågår någon fukttransport nedåt. Mätning av KMG ger korrekt besked.

Inverkan av ett fel vid viktbestämningen på u och KMG kan uppskattas genom att skriva

$$\ln u = \ln (m_1 - m_2) - \ln m_2$$

$$\frac{\Delta u}{u} = \frac{\Delta (m_1 - m_2)}{m_1 - m_2} - \frac{\Delta m_2}{m_2} \quad (2)$$

$$\ln \text{KMG} = \ln(m_1 - m_2) - \ln(m_{\text{kap}} - m_2)$$

$$\frac{\Delta \text{KMG}}{\text{KMG}} = \frac{\Delta (m_1 - m_2)}{m_1 - m_2} - \frac{\Delta (m_{\text{kap}} - m_2)}{m_{\text{kap}} - m_2} \quad (3)$$

Av (2) och (3) ses att ett fel i m_1 ger ett fel av samma storleksordning i $\Delta u/u$ och $\Delta KMG/KMG$.

Inverkan av m_{kap} är endast i KMG, och om man har relativt höga fuktförhållanden så är m_{kap} i samma storleksordning som m_1 .

Då ger ett fel m_{kap} ungefär samma inverkan på $\Delta KMG/KMG$ som ett fel i m_1 .

Ett fel i m_2 har ungefär samma inverkan på $\Delta u/u$ som m_1 ty i (2) är termen $\Delta m_2/m_2$ liten jämförd med termen $\Delta(m_1 - m_2)/(m_1 - m_2)$. Ett fel i m_2 har liten inverkan på $\Delta KMG/KMG$ eftersom de två termerna i (3) är i samma storleksordning och då nästan tar ut varandra.

För att ge exempel på inverkan av provkroppsvikten på $\Delta u/u$ och $\Delta KMG/KMG$ visas i FIG.5 inverkan av ett viktfel på 0.05 g i m_1 enbart, m_2 enbart och m_{kap} enbart. Av FIG 5 framgår klart att även relativt små fel i vikten har väsentlig inverkan då provkroppsvikten är mindre än 0.1 - 0.2 kg. Vid praktiska mätningar är provkroppsvikten i regel mindre än ca 0.2 kg.

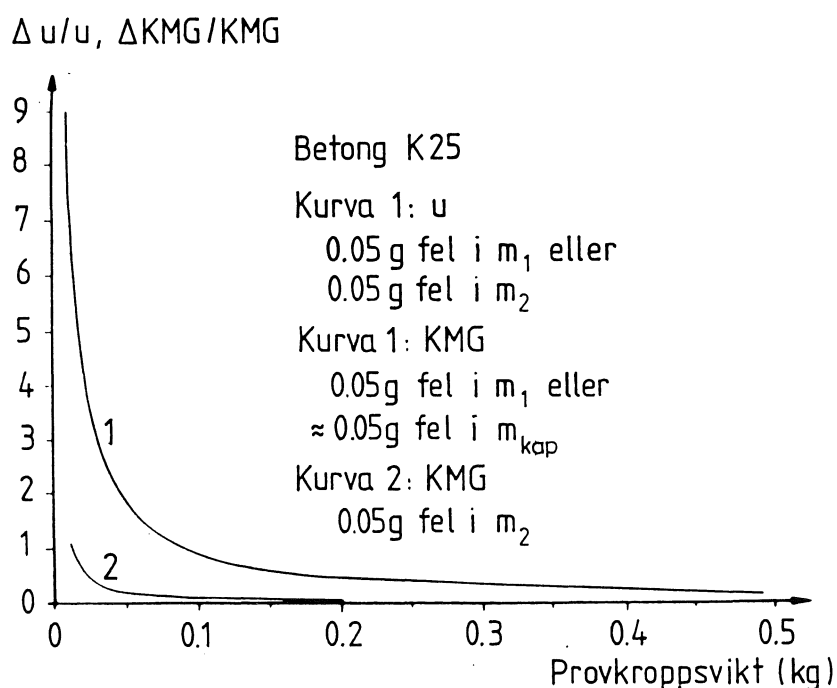


FIG 5. Inverkan av ett fel på 0.05 g vid olika provkroppsvikter.

För att studera inverkan av ofrivillig torkning då provet toges ut och behandlas har uttorkningen av kapillärmättade prover studerats. Uttagning och behandling kan ta relativt lång tid; provet skall tas ut från konstruktionen och rensas från bormjöl och lösa delar samt därefter läggas i tät plastpåse för transport till laboratoriet, där det tas ut och väges. Avdunstningen per areaenhet hos proven har mätts för olika provstorlekar och med olika förhållanden mellan area (A) och volym (V). För betong K25 är $\Delta u/u$ och $\Delta KMG/KMG$ beräknade för olika tider då RF i luften omkring proverna är 40%, se FIG 6. I FIG 6 visas tydligt att om felen i u och KMG skall vara små, så bör hanteringstiden, då hela provet exponeras mot omgivningens luft, fram till vägning av m_1 , vara mindre än ca $\frac{1}{2}$ minut för små prover och maximum 1 minut för större prov.

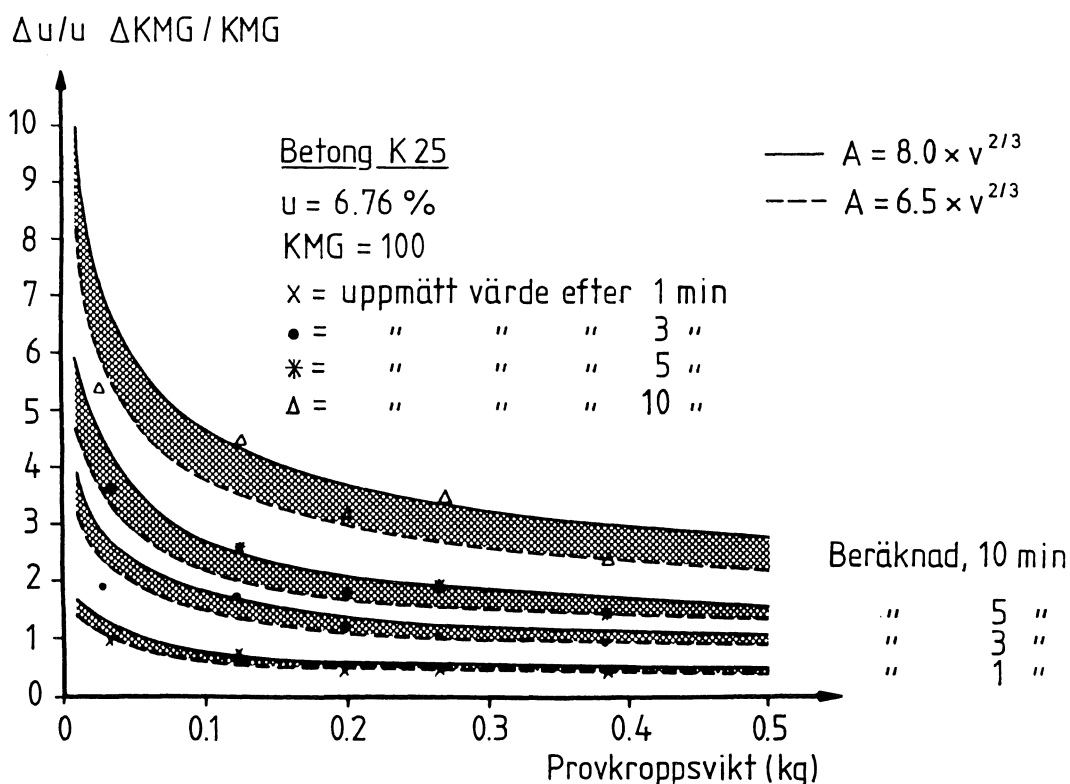


FIG 6. Inverkan av torkning vid provens hantering.

För att studera inverkan av ugnstemperaturen på u och KMG undersöktes cementbruk med vct 0.7. Proverna torkades först ut vid 90°C och efter det att provvikterna hade stabiliserats ökades temperatu-

ren med 5°C osv upp till 115°C. I FIG 7, som är ett medelvärde av resultaten, syns att ugnstemperaturen har avsevärt större inverkan på u än på KMG.

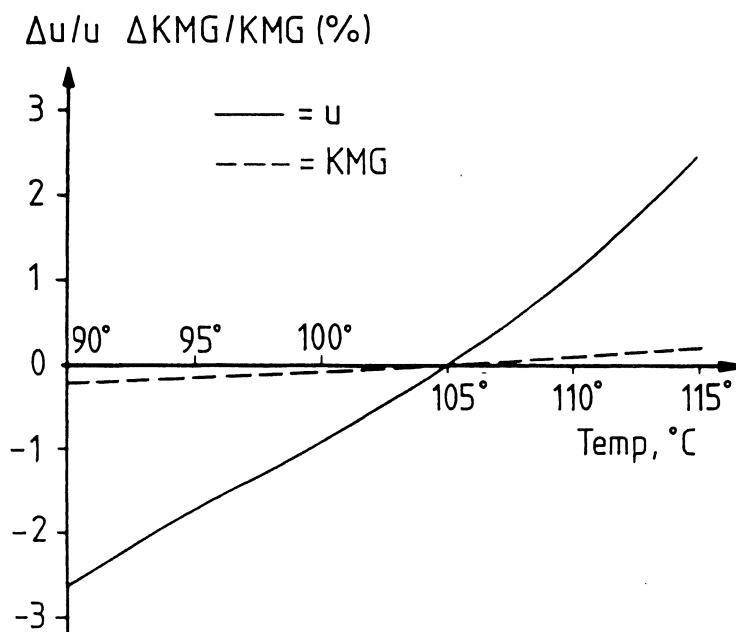


FIG 7. Inverkan av ugnstemperatur på u och KMG.

4 ÖVERSÄTTNING TILL RF

Med kännedom om sorptionskurvans utseende och den aktuella betongens fukthistoria, bör en utvärdering av RF kunna göras då KMG har bestämts. I normala fall, då bara fuktkvoten bestämts, kan en sådan översättning ej göras pga den stora osäkerheten i bestämningen av u. Denna osäkerhet medför att översättningen till RF kan bli fel på flera tiotals procent RF även om både sorptionskurva och fukthistoria är väl kända.

Om man begränsar sig till, eller utgår ifrån punkter som ligger på desorptionsisotermen, kan en översättning från KMG till RF erhållas med hjälp av desorptionstermer för betong enligt Hedenblad (1987),

se FIG 8. Dessa isotermer är en bearbetning av isotermer redovisade av Nilsson (1980) mht alkaliinnehåll i cementen. Cementets innehåll av alkali torde sänka maximal RF till ett värde lägre än 100%.

Fuktkvoten u i betong kan tecknas

$$u = \frac{W_e}{C + B + W_n} = \frac{W_e/C}{1 + B/C + W_n/C} \quad (4)$$

W_e = den förångningsbara fukthalten (kg/m^3)

C = cementhalten (kg/m^3)

B = ballasthalten (kg/m^3)

W_n = kemiskt bundet vatten (kg/m^3)

Vid kapillär mättnad kan fuktkvoten " u_{100} " tecknas, Nilsson (1980) om kapillärporerna är fyllda

$$u_{100} = \frac{W_o - 0.19\alpha C}{C + B + W_n} = \frac{W_o/C - 0.19\alpha}{1 + B/C + W_n/C} \quad (5)$$

W_o = ursprunglig vattenhalt vid blandning (kg/m^3)

α = hydrationsgraden

W_o/C = vattencementtalet (vct)

Ur de båda uttrycken (4) och (5) fås KMG

$$\text{KMG} = \frac{u}{u_{100}} = \frac{W_e/C}{W_o/C - 0.19\alpha} \quad (6)$$

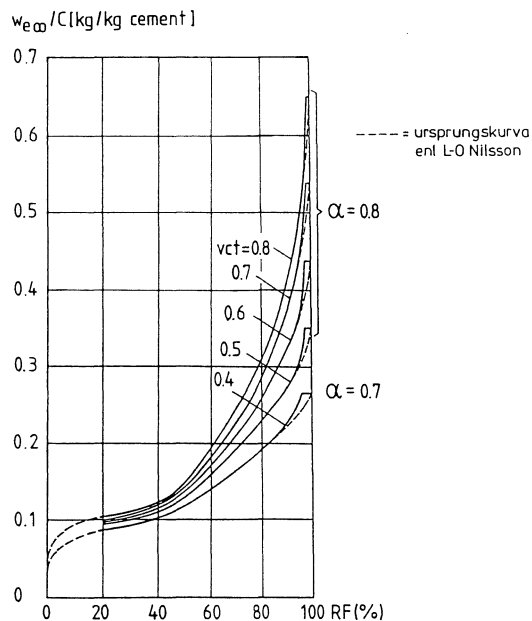


FIG 8. Desorptionsisoterm för betong enligt Hedenblad (1987)

I FIG 9 visas desorptionsisotermerna, uttryckta i KMG, för de bruksammansättningar som använts i laboratorieförsöken. Hydrationsgraderna har härvid inte uppmätts utan bedömts med ledning av provkropparnas ålder och litteraturuppgifter. Avvikelsen mellan beräknade och uppmätta RF är maximalt 1 - 2% RF, en respektive 2 punkter undantagna (utan och med hänsyn till alkalimetaller). Med så stor noggrannhet kan dock varken desorptionsisotermerna konstrueras eller RF uppmättas. Den goda överensstämmelsen är därför inte den man kan förvänta sig i praktiska tillämpningar.

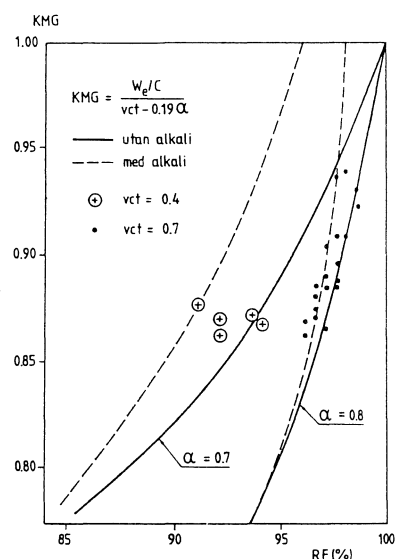


FIG 9. Övre delen av beräknade desorptionsisotemer för bruksprovkroppar använda i laboratorieförsöken. Punkterna motsvarar mätresultat.

5 SLUTSATS

Den viktigaste slutsatsen av våra försök är att kapillärmättnadsgraden, KMG, är betydligt mer noggrann än fuktkvoten, u , vid analys av fukttillstånd i betong.

6 FÖRSLAG TILL MÄTUTFÖRANDE

- * Ta ut provet ur konstruktionen så snabbt som möjligt och lägg det omedelbart i en diffusionstät plastpåse, för transport till laboratoriet.
- * Ta fram provet ur plastpåsen och ta bort bormjöl och lös delar på provet, vilket därefter omedelbart väges. (Vikt m_1). Om provet exponeras mer än ca $\frac{1}{2}$ minut mot rumsluften innan vikten m_1 är bestämd, så bör arbetet göras i klimatrum med hög relativ luftfuktighet.
- * Placera provet i en skål vars botten är täckt med ett nät. Fyll på vatten så att det precis täcker nätets överyta och lägg i proverna. Skålen täckes så att avdunstning förhindras. Kapillärsugning tar olika lång tid beroende på sughöjd och area mellan vatten provbit (sugarea). Försök få så stor sugarea och så liten sughöjd som möjligt. För betong och bruk syns en tydlig "färgskillnad" då provet är genomfuktigt. Låt provet kapillärsuga i ytterligare några dagar och väg provet varje dag tills vikten har stabiliserats (m_{kap}). Före vägning torkas provet av med en fuktig fiberduk. Väg därefter omedelbart.
- * Torka i ugn vid 105°C och väg därefter (m_2). Då inverkan av torktiden har mindre betydelse för KMG än för u så är redovisade tider mht u .

Betong K25 minst 2 dygn vid vikt $< 700 \text{ g}$

Betong K40 minst 2 dygn vid vikt $< 300 \text{ g}$

Bruk vct 0.4 5 - 6 dygn vid vikt $< 500 \text{ g}$

$$* \text{ Beräkna KMG} = \frac{(m_1 - m_2)}{(m_{kap} - m_2)}$$

Om ovanstående följes så kan man för prov med vikt över ca 150 g räkna med att kapillärmättnadsgraden ger ett värde som avviker med ca 0.5 % från slutvärdet. Viktavvikelserna vid kapillärsugningen har då räknats in.

7 REFERENSER

- Nilsson, L-O (1977) "Fuktmätning i betonggolv på mark, Hammar-kullen, Göteborg". Intern rapport, Byggnadsmaterial-lära, Lunds Tekniska Högskola.
- Nilsson, L-O (1980) "Hygroscopic Moisture in Concrete-Drying, Measuring & Related Material Properties". Report TVBM-1003, Lund Institute of Technology.
- Hedenblad, G & Nilsson, L-O (1985) "Kapillärmättnadsgrad - ett verktyg för noggrann bestämning av fuktinnehåll i betong". Rapport TVBM-3022, Byggnadsmateriallära, Lunds Tekniska Högskola.
- Hedenblad, G (1987) "Inverkan av salt på jämviktsisotermen". Rapport TVBM-3031, Byggnadsmateriallära, Lunds Tekniska Högskola.