



# LUND UNIVERSITY

## Uttorkning av betong : Kirchhoff-potentialen som funktion av vattenfyllda kapillärporvolymen : en mindre studie

Hedenblad, Göran

1995

[Link to publication](#)

### *Citation for published version (APA):*

Hedenblad, G. (1995). *Uttorkning av betong : Kirchhoff-potentialen som funktion av vattenfyllda kapillärporvolymen : en mindre studie*. (Rapport TVBM (Intern 7000-rapport); Vol. 7096). 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



**LUNDS TEKNISKA HÖGSKOLA**  
**Byggnadsmaterial**

---

**UNIVERSITY OF LUND**  
**LUND INSTITUTE OF TECHNOLOGY**  
Division of Building Materials

# **UTTORKNING AV BETONG**

**KIRCHHOFF-POTENTIALEN SOM FUNKTION AV  
VATTENFYLLDA KAPILLÄRPORVOLYMEN**

**En mindre studie**

Göran Hedenblad

TVBM-7096

---

November 1995

## INLEDNING

Vid avd. Byggnadsmaterial vid Lunds Tekniska Högskola har under många år studerats olika fukttransportegenskaper. Speciellt har betongs fukttransportegenskaper undersökts. Detta material är, till skillnad från många andra material, ur bl a fuktsynpunkt "levande" många år efter tillverkningen. Med levande avses att egenskaperna ändras allteftersom betongen hydratiseras (åldras). Porstrukturen ändras med hydratationsgraden, den förfinas. Andelen av de större kapillärporerna minskar och ersätts av de betydligt mindre gelporerna. Fagerlund (1982) har visat att kapillärporositeten kan vara en lämplig parameter då man beskriver vatteninsugningen i ett "torrt" cementbruk (kapillärsugning). Powers et al har visat att vattenpermeabiliteten hos cementpasta kan beskrivas som en funktion av den kapillära porositeten, detta redovisas bl a i Fagerlund (1982).

Idéen till att försöka beskriva även fukttransport vid uttorkning av betong, som funktion av den kapillära porositeten framfördes till mig av Fagerlund redan i början på 1990-talet.

I Betonghandboken, Materialdelen, Kap 10 (Struktur och strukturutveckling) redovisas formler för att beräkna total porositet och dess uppdelning i kapillärporer och gelporer. Generellt kan man dock säga att de endast är gelporerna som är fyllda med vatten då relativa fuktigheten (RF) är mindre än ca 50 %.

## TEORI

I rapporten "Moisture Permeability of Mature Concrete, Cement Mortar and Cement Paste" redovisas i Avsnitt 13.2 ett samband mellan ångpermeabiliteten och fukthalten (eller fuktkvoten). Sambandet gäller då ångpermeabiliteten börjar öka på grund av ökat fukttinnehåll i materialet. Avsnitt 13.2 återges i sin helhet i BILAGA 1. Här redovisas endast en kortare sammanfattning.

Begreppet ångpermeabilitet som det normalt används (enligt bl a en ISO standard) avser den totala fukttransporten i ett material och med ånghalt eller ångtryck som potential (drivkraft). Ångpermeabiliteten kan dock teoretiskt delas upp i två olika delar, nämligen ren ångtransport i luften inne i materialets "tomma" porer och dels vätsketransport i materialets vattenfyllda porer. Relationerna mellan dessa två olika delar beror bl a på RF. Vid låg RF dominerar ångtransporten och vid hög RF dominerar normalt vätsketransporten.

Det finns ett teoretiskt samband, Gilliland et al (1958), mellan "ångpermeabiliteten" över en viss grundnivå och jämviktsfuktkurvan hos ett material. Grundnivån är den nivå där materialet endast är så fuktigt (någon eller några molekyllager vatten är adsorberade på materialets inre porytor eller att vattenångan har kondenserat i mikroporer) att fukttransporten sker i ångform. Vid högre fukttinnehåll börjar vattenånga att kondensera i materialets porer. Detta vatten är betydligt lösare bundet till porstrukturen och har därmed lättare att förflytta sig.

I cementpasta, och därmed i betong, är den delen av vattnet som är kapillärkondenserat i gelporerna normalt så "orörligt" att det endast i mycket liten omfattning deltar i fukttransporten. Vid lägre RF är kapillärporerna tomma på kondenserat vatten och

det är vattenånga som transporteras i kapillärporerna. Vid något högre RF börjar kapillärporerna att fyllas med vatten och man får en ökad total ångpermeabilitet. Vid 100 % RF är det kapillära porsystemet vattenfyllt och den totala ångpermeabiliteten beror endast på vätskeflöde i cementpastan i eller i betongen.

Teorin av Gilliland et al säger i princip att om man i ett diagram plottar den del av av totala ångpermeabiliteten som beror på vätskeflöde (på y-axeln) mot kvoten  $(\Delta w)^2/RH$  eller  $(\Delta u)^2/RH$  (på x-axeln) så erhålls en rak linje.  $\Delta w$  eller  $\Delta u$  är fukthalten respektive fuktkvoten räknat från den grundnivå (i RF) där ångpermeabiliteten börjar öka på grund av vätsketransport. I FIG. 1 till FIG. 3 ges ett exempel på tekniken.

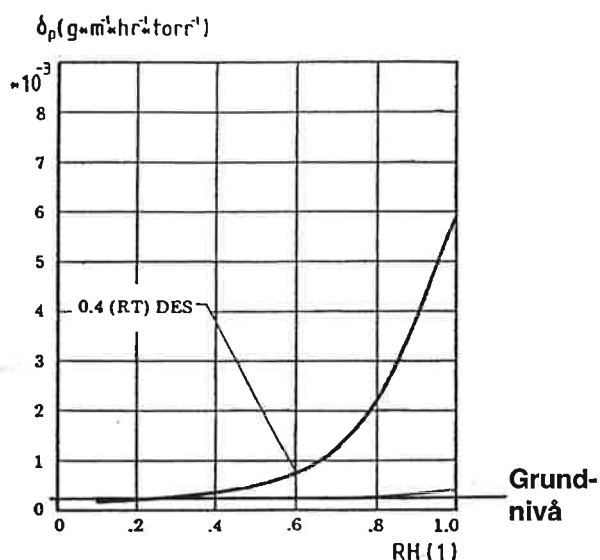


FIG. 1 Ångpermeabilitet hos cementpasta med vct 0.4 som funktion av RF. Sörensen (1980).

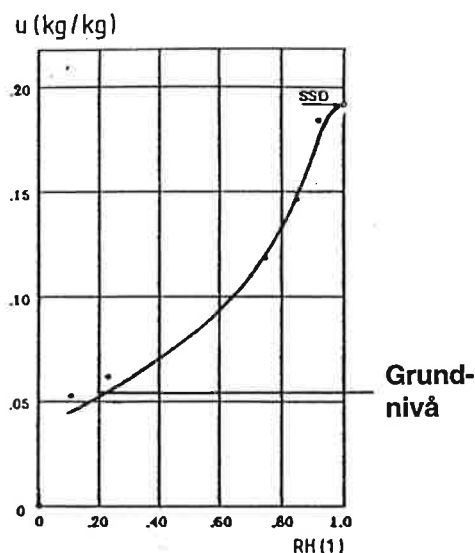


FIG. 2 Jämviktsfuktkurvor för cementpasta med vct 0.4 som funktion av RF. Sörensen (1980).

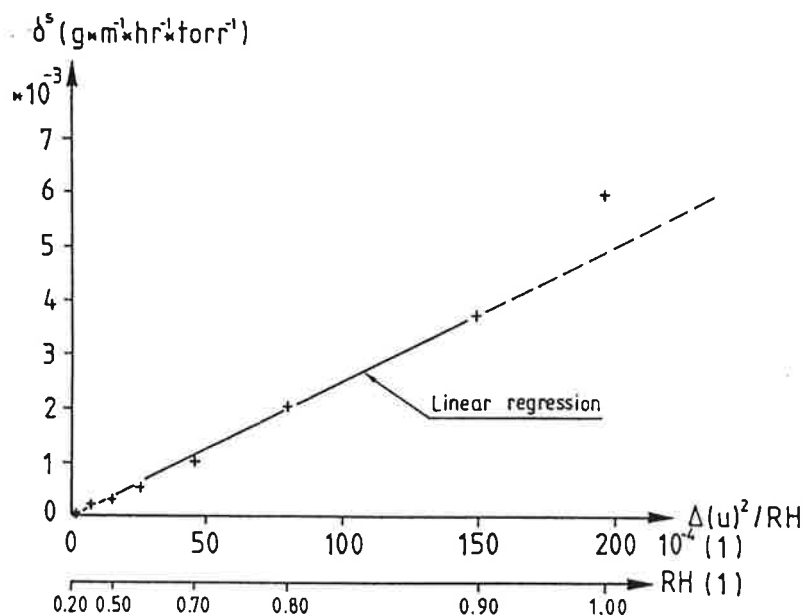


FIG. 3 Samband mellan ångpermeabilitet och jämviktsfuktkurva räknat från "grundnivån" enligt texten ovan. Bearbetning av FIG.1 och FIG.2.

Korrelationskoefficienten för den linjära regressionen i FIG.3 är 0.999 om man exkluderar den sista punkten i Figuren. Denna punkt är inte medräknad därför att desorptionsisotermen kanske är något för låg vid 100 % RF, se FIG.2.

På Y-axeln i FIG. 1 visas hur ångpermeabiliteten ökar (över en viss grundnivå) med ökande fukttinhåll i materialen. Om den variabla ångpermeabiliteten integreras mellan två fuktnivåer (t ex i RF) erhålls Kirchhoff-potentialen. Om vi på Y-axeln redovisar Kirchhoff-potentialen och samtidigt integrerar uttrycket för X-axeln, från  $(\Delta w)^2/RF$  till  $(\Delta w)^3/RF$  alternativt  $(\Delta u)^2/RF$  till  $(\Delta u)^3/RF$ , så bör vi i det nya diagrammet även här få en rak linje.

## RESULTAT

Vid utvärderingen av Kirchhoff-potentialen som funktion av fukthalten för betong har utgångspunkten varit att under 65 % RF är ångpermeabiliteten konstant för de undersökta betongtyperna, se TABELL 1. Samband mellan RF, PSI ( $\psi$ ) och fukthalt ( $w$ ) redovisas i BILAGA 2. På de följande fyra diagrammen redovisas  $\psi$  och  $(\Delta w)^3/RF$  dimensionslöst för betong med vct 0.5, 0.6, 0.7 och 0.8. De undersökta sambanden gäller för "gammal" betong. I diagrammen framgår att sambanden är nästan en rak linje (mellan 0 och 1 på båda axlarna). Med hänsyn till att transportdata kommer från en undersökning och jämviktsfuktkurvorna från en annan undersökning får resultaten betraktas som intressanta.

Resultaten är framtagna på betong tillverkade av Slite Standardcement och utan några tillsatser (t ex silikastoft). Om tillsatser används erhålls troligtvis helt andra samband mellan  $\psi$  och fukthalt.

TABELL 1 Ångpermeabilitet hos "gammal" betong". Hedenblad (1993).

RH	$\delta_v \cdot 10^6 \text{ (m}^2/\text{s)}$				
‡	$w_o/C \text{ 0.4}$	$w_o/C \text{ 0.5}$	$w_o/c \text{ 0.6}$	$w_o/C \text{ 0.7}$	$w_o/C \text{ 0.8}$
33-65	0.13	0.14	0.17	0.17	0.17
80	0.28	0.33	0.38	0.38	0.38
86	0.39	0.59	0.73	0.73	0.73
90	≈0.53	1.0	1.5	1.5	1.5
93	≈0.6	1.7	3.2	3.2	3.2
95	≈0.7	2.8	7.5	7.5	7.5
96	≈0.7	4.2	8.5	9.5	11
97	-	9	14	17	26
97.6	-	-	22	28	42
98	-	-	-	38	63
98.5	-	-	-	-	130

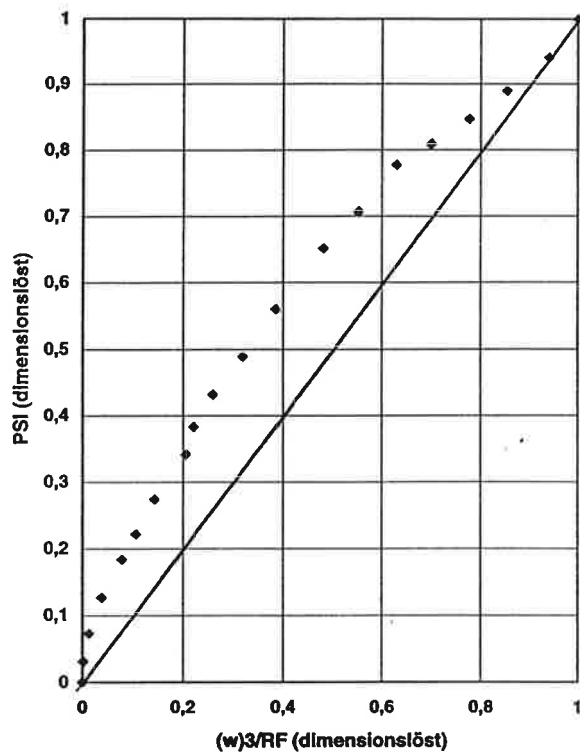


FIG. 4 Kirchhoff-potentialen som funktion av  $(\text{fukthalten})^3/RF$ , (dimensionslös).  
Betong vct 0.5. Fukthalten vid 65 % RF är satt till noll (0).

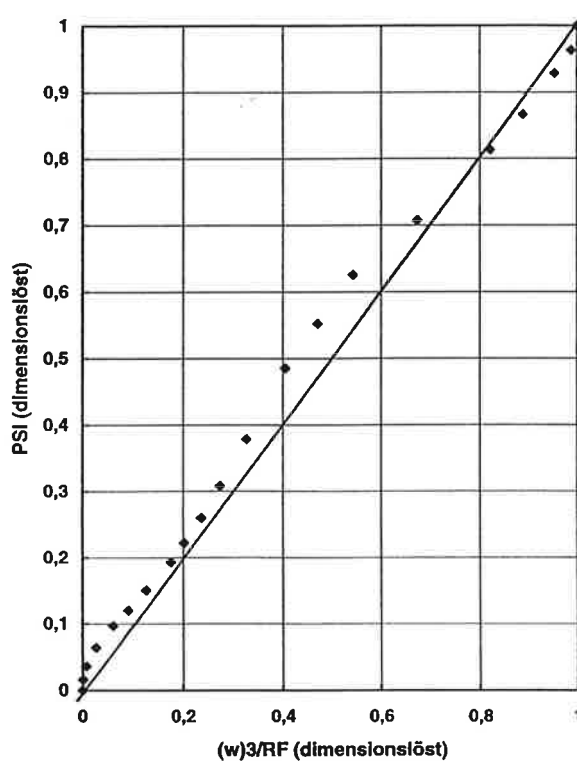


FIG. 5 Kirchhoff-potentialen som funktion av  $(\text{fukthalten})^3/RF$ , (dimensionslös).  
Betong vct 0.6. Fukthalten vid 65 % RF är satt till noll (0).

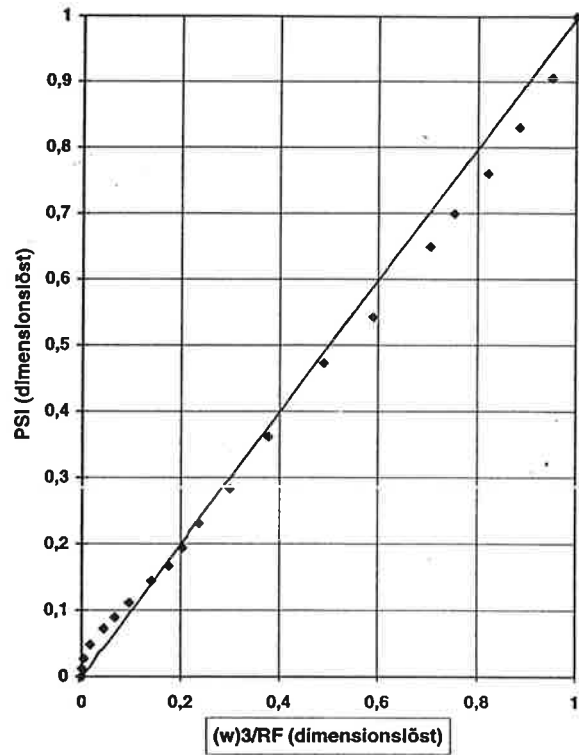


FIG. 6 Kirchhoff-potentialen som funktion av  $(\text{fukthalten})^3/RF$ , (dimensionslöst).  
Betong vct 0.7. Fukthalten vid 65 % RF är satt till noll (0).

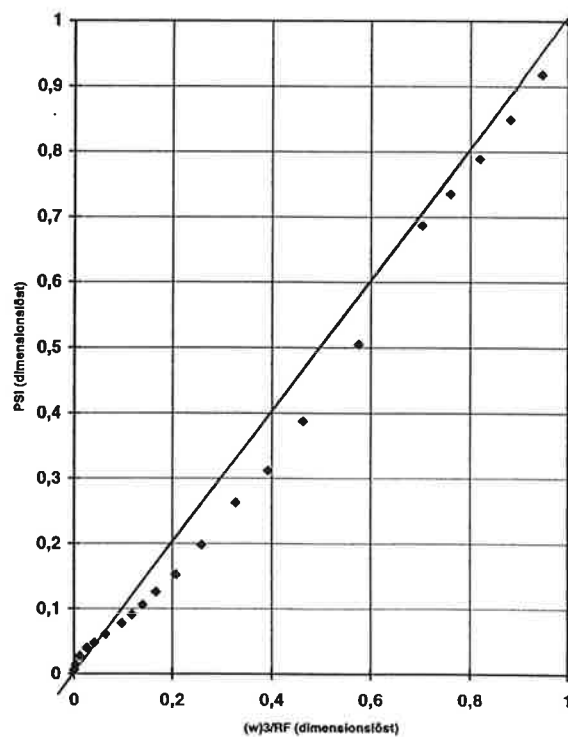


FIG. 7 Kirchhoff-potentialen som funktion av  $(\text{fukthalten})^3/RF$ , (dimensionslöst).  
Betong vct 0.8. Fukthalten vid 65 % RF är satt till noll (0).

I följande två diagram redovisas  $\psi$  för samtliga 4 betongtyper som funktion av fukthalten över "referensnivån" vid 65 % RF. Dessa två diagram visar att  $\psi$  är nästan oberoende av betongkvaliteten i form av vct.  $\psi$  beror nästan enbart av mängden vatten över referensnivån 65 % RF. Detta samband kan vara mycket användbart vid bestämning och beräkning av betongs fukttransportegenskaper. Om det gäller även för nygjuten betong, kan man enkelt *beräkna* fukttransportegenskaperna som funktion av vct och hydratationsgrad.

I diagrammen där data för en betongkvalitet slutar är denna betongs porer helt fyllda med vatten. Eventuellt kan även samma kurvor användas då materialet är under uppfuktning. Detta skulle ytterligare förenkla fuktberäkningarna för betong. Man skulle då inte behöva ha dels transportdata under uttorkning och samhörande jämviktsfuktkurva och dels transportdata under uppfuktning och samhörande jämviktsfuktkurva samt dessutom transportdata för alla scanningkurvor mellan absorptions- och desorptionskurvan. Det skulle räcka med jämviktsfuktkurvorna och ett samband mellan  $\psi$  och fukthalt.

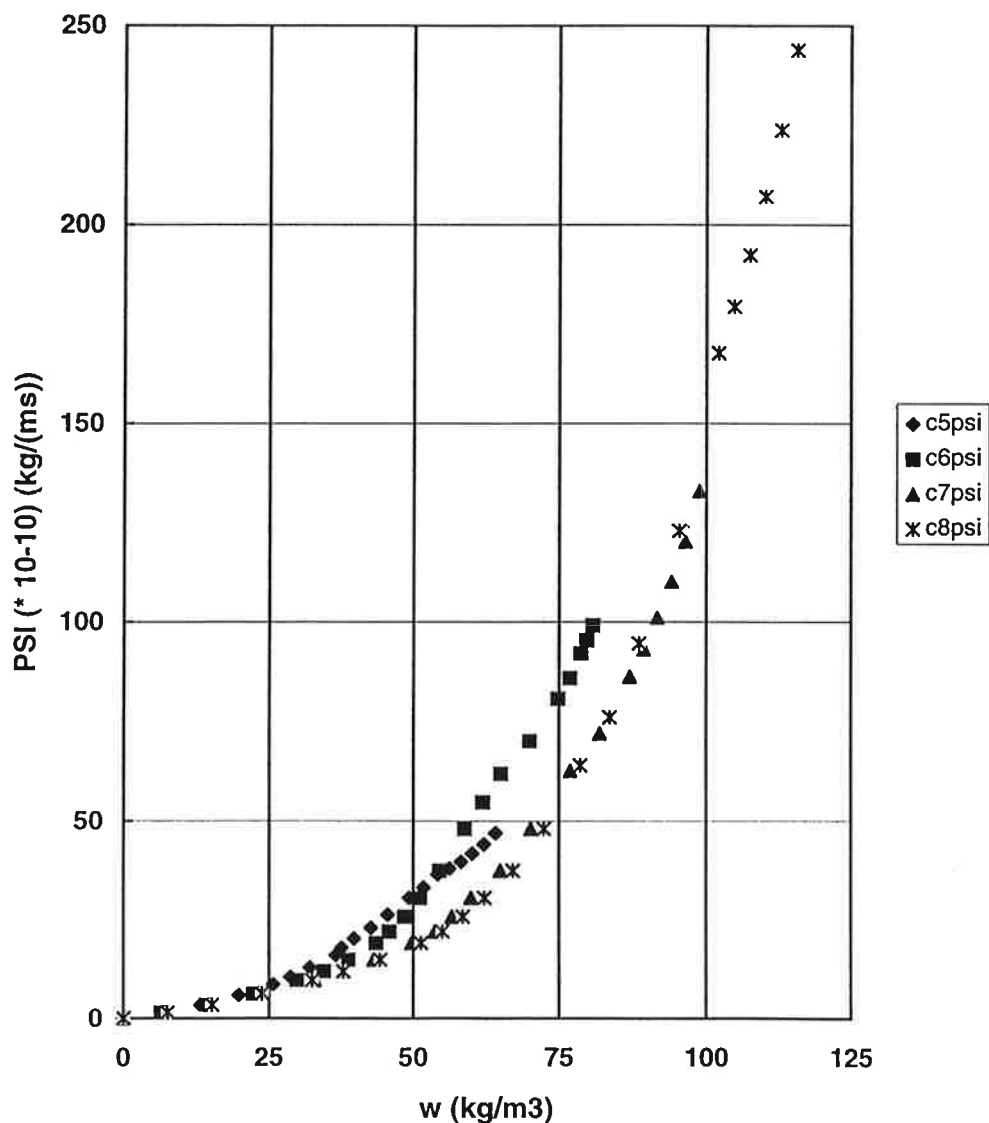


FIG. 8 Kirchhoff-potentialen som funktion av fukthalten för betong med vct 0.5, 0.6, 0.7 och 0.8. Fukthalten vid 65 % RF är satt till noll (0).



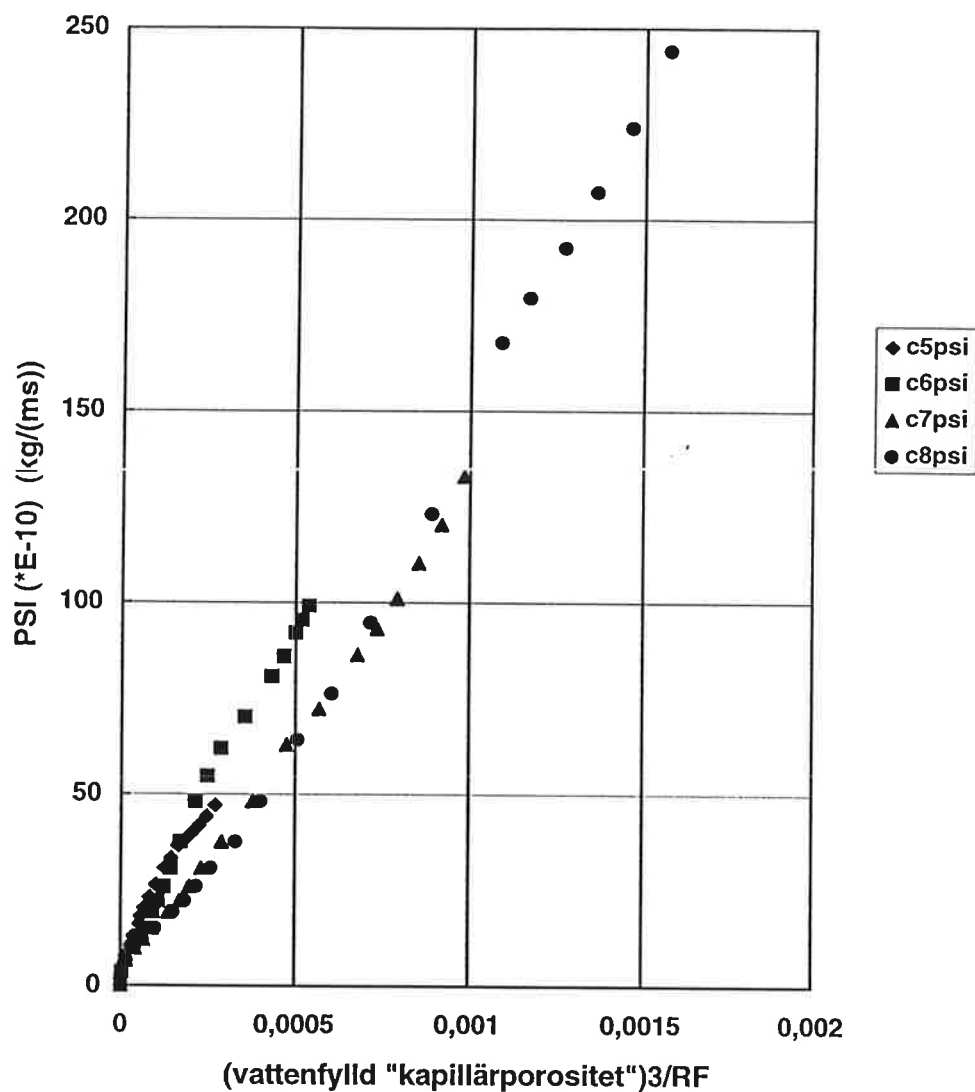


FIG. 9 Kirchhoff-potentialen som funktion av (vattenfylld "kapillärporvolym")<sup>3</sup>/RF, (dimensionslöst). Betong med vct 0.5, 0.6, 0.7 och 0.8. Vattenfylld "kapillärporvolym" vid 65 % RF är satt till noll (0).

## REFERENSER

Arfvidsson J. (1994). "Isoterma fuktförlopp i porösa material. Beräkning och utvärdering av mätdata.". Avdelningen för Byggnadsfysik, Lunds Tekniska Högskola. Rapport TVBH-1007.

Fagerlund G. (1982). Kapitel "Fuktmekaniska egenskaper" i Betonghandboken, Materialdelen. Svensk Byggtjänst, Stockholm.

Gilliland et al. (1958). "Rates of flow through microporous solids". American Institute of Chemical Eng. 4/1958, pp 90-96.

Hedenblad G. (1993). "Moisture Permeability of Mature Concrete, Cement Mortar and Cement Paste. Avdelningen för Byggnadsmaterial, Lunds Tekniska Högskola. Rapport TVBM-1014.

## **BILAGA 1**

Utdrag ur Hedenblad (1993).

Flood et al (1952) proposed an equation that describes the total flow through micropores. The equation for the case when the fluid is considerably below its critical temperature has a simple appearance. The flow rate in a single circular capillary is

$$G = -(\pi r^4 / (8\eta_1)) * (\rho_a / v) * \delta p_v / \delta x \quad (13.8)$$

$\rho_a$  = the actual mean density of the adsorbate

$v$  = the equilibrium vapour density of the adsorbable gas

$\eta_1$  = the dynamic viscosity of the liquid

The actual mean density can be calculated according to Eq. (13.9) and FIG 13.2.

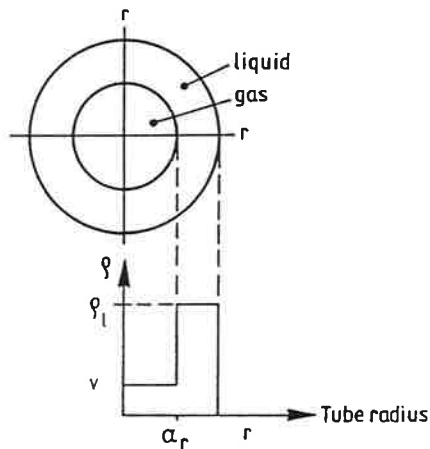


FIG 13.2 The densities of a adsorbate in a capillary tube when some condensation has occurred on the tube wall.

$$\rho_a = v\alpha^2 + \rho_l(1-\alpha^2) \approx \rho_l(1-\alpha^2) \quad (13.9)$$

All the variables are defined in FIG 13.2. One condition for Eq.(13.9) is that  $\rho_a$  is going to  $\rho_l$ . The density of moisture flow rate ( $g$ ) is  $g = G/(\pi r^2)$ , which together with Eq. (13.9) gives

$$g \approx -(r^2 / (8\eta_1)) * ((\rho_l(1-\alpha^2))^2 / v) * \delta p_v / \delta x \quad (13.10)$$

The moisture content mass by volume ( $w_e$ ) for a material with a given pore radius is

$$w_e = \rho_l(\pi r^2 - \pi \alpha^2 r^2) / (\pi r^2) = \rho_l(1-\alpha^2) \quad (13.11)$$

For a material with pores of equal radius, Eq. (13.10) and Eq. (13.11) give

$$g \approx -(r^2 / (8\eta_1)) * (w_e^2 / v) * \delta p_v / \delta x \quad (13.12)$$

It can also be shown that Eq. (13.8) becomes the Poiseuille equation for viscous liquid flow in a capillary, see 13.1.2, when the pore is filled with liquid.

### 13.2 A relation between the moisture transport (permeability) and the sorption isotherm

Eq.(13.7) and in principle even Eq. (13.12) give the relation between the surface flow and the surface concentration. The surface flow is dependent on the (surface conc.)<sup>2</sup>/gas-phase pressure, Eq. (13.7), or the (moisture content mass by volume)<sup>2</sup>/vapour density, Eq. (13.12).

Gilliland et al (1958) have shown, for isobutane at 0°C, that the plot of the surface flow vs the (surface conc.)<sup>2</sup>/gas pressure gives a straight line; see FIG 13.3, FIG 13.4 and FIG 13.5.

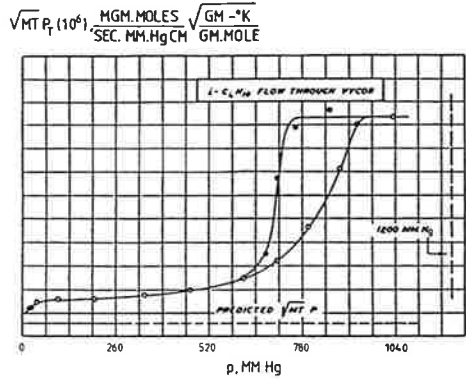


FIG 13.3 Isobutane flow through Vycor glass. Gilliland et al (1958).

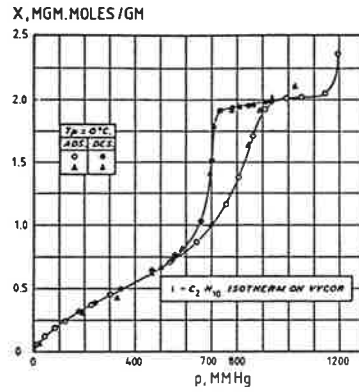


FIG 13.4 Sorption isotherm for isobutene on Vycor glass. Gilliland et al (1958).

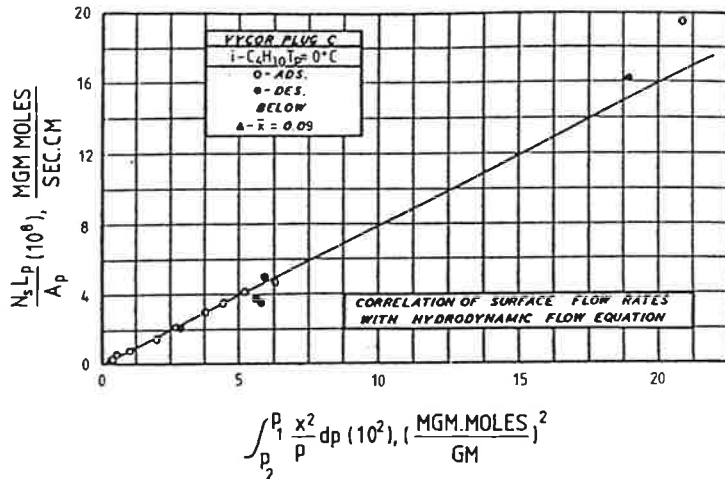


FIG 13.5 Correlation of surface flow and (surface conc.)<sup>2</sup>/gas-phase pressure. Gilliland et al (1958).

The surface flow in FIG 13.5 is evaluated, in FIG 13.3, as the total flow minus the gas-phase flow (marked with line of short dashes). Both adsorption and desorption are considered in FIG 13.5.

Gilliland's treatment might perhaps also be applied to water flow in building materials. Some examples are investigated, namely wood, cellular concrete and cement paste.

Bertelsen (1983) has measured the moisture permeability and the sorption isotherm for spruce; see FIG 13.6 and FIG 13.7.

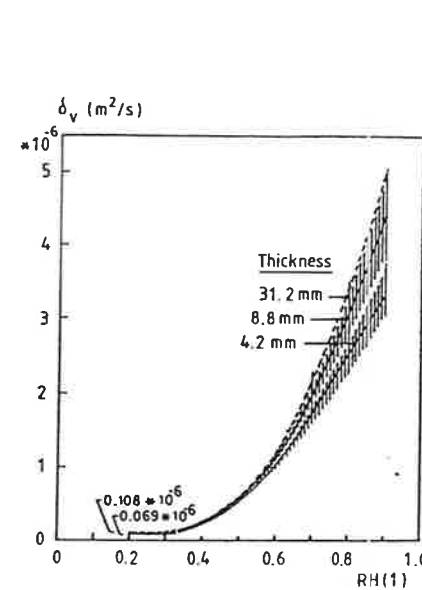


FIG 13.6 Moisture permeability for spruce as a function of RH. Bertelsen (1983).

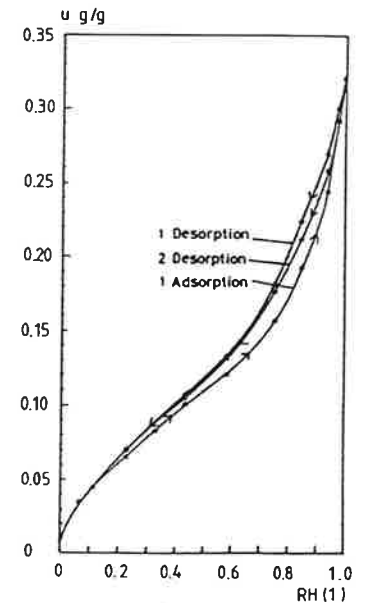


FIG 13.7 Sorption isotherms for water in spruce. Bertelsen (1983).

The moisture permeability in FIG 13.6 seems to depend somewhat on the thickness of the samples (4.2, 8.8 and 31.2 mm). Whether this is correct or whether it is an error in the measurements, is not known; see also section 10.4.

In FIG 13.8 the moisture permeability for the sample with a thickness of 8.8 mm is used. The moisture permeability at 20 % RH is taken as the gas-phase flow, as below this value the moisture permeability is nearly constant. The difference in the measured moisture permeability and the moisture permeability at 20 % RH is taken as dependent on the surface flow. The moisture content ( $u$ ) up to 20 % RH is supposed not to influence the surface flow. The moisture content at 20 % RH is therefore taken as a zero-level for the surface concentration. The desorption isotherm for the first desorption is used.

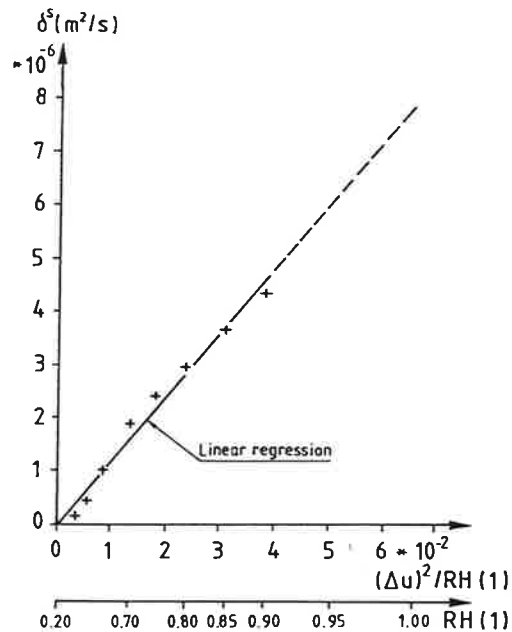


FIG 13.8 The surface moisture permeability dependent on surface flow as function of  $(\Delta u)^2/\text{RH}$ . Spruce.

The correlation coefficient in FIG 13.8 for the linear regression line is 0.994. If the line is extrapolated to 100 % RH, the dotted line,  $\delta^s$  will be  $7.87 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ . The total

moisture permeability is then  $(7.87+0.108) \cdot 10^{-6} \approx 8.0 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$  at 100 % RH. At 100 % RH most of the pores are filled with liquid water, and it is of course a simplification to add the gas-phase permeability to the surface permeability to get the total permeability. Spruce is a most complicated material, but the model seems to be applicable.

Hedenblad et al (1991) have measured the moisture permeability for cellular concrete (quality 500) under absorption at +20 °C; see FIG 13.9. The absorption isotherm is taken from Nevander et al (1981), FIG 13.10.

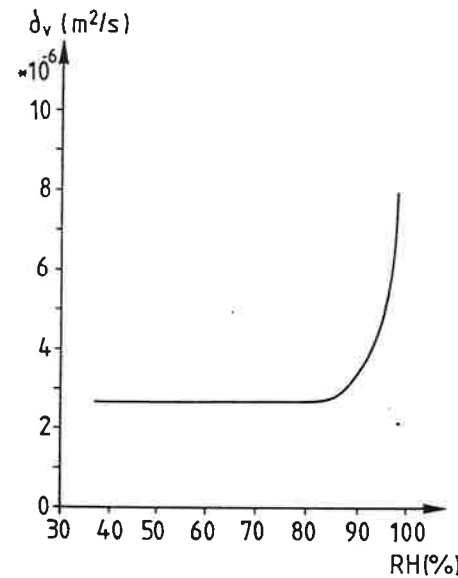


FIG 13.9 Moisture permeability for cellular concrete as a function of RH. Hedenblad et al (1991).

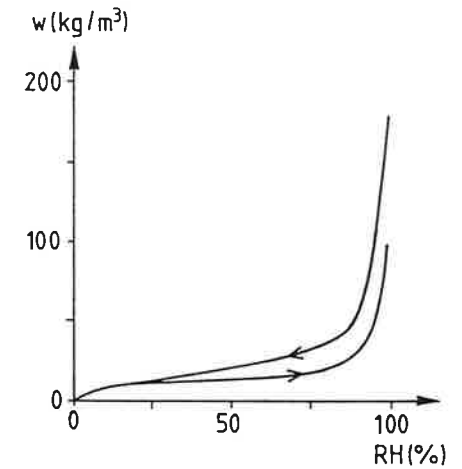


FIG 13.10 Sorption isotherms for water in cellular concrete. Nevander et al (1981).

The moisture permeability in FIG 13.9 up to 80 % RH is taken as only dependent on the gas-phase flow as the moisture permeability is constant up to this RH. The moisture content mass by volume ( $w$ ) at 80 % RH, in FIG 13.10, is taken as the zero-level for the surface concentration. The absorption isotherm is used.

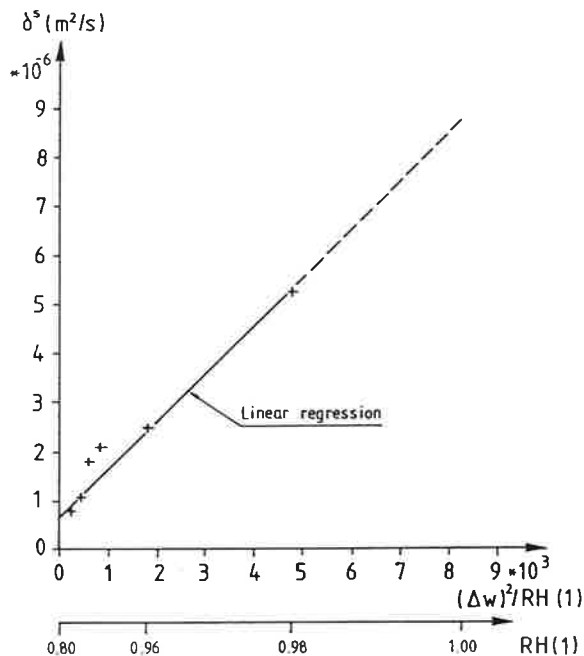


FIG 13.11 The surface moisture permeability dependent on surface flow as function of  $(\Delta w)^2 / RH$ . Cellular concrete.

The correlation coefficient for the linear regression in FIG 13.12 is 0.971. If the line is extrapolated to 100 % RH,  $\delta^s$  will be  $8.75 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ . The total moisture permeability, at 100 % RH, is then about  $11.4 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ . As the measurements of the moisture permeability and the absorption isotherm are not made on the same specimens and not at the same time, the correlation coefficient is not that bad.

Sørensen (1980) has measured the moisture permeability and the sorption isotherm for cement paste with  $w_o/C$  0.4; see FIG 13.12 and FIG 13.13.

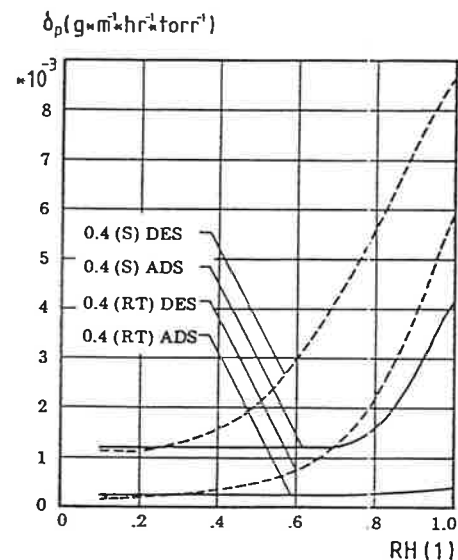


FIG 13.12 Moisture permeability for cement paste with  $w_o/C$  0.4 as a function of RH. Sørensen (1980).

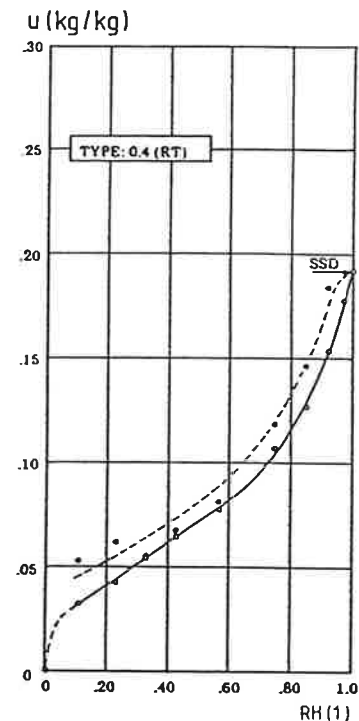


FIG 13.13 Sorption isotherms for water in cement paste with  $w_o/C$  0.4. Sørensen (1980).

The moisture permeability in FIG 13.12 up to 20 % RH for cement paste under desorption (DES) and at room temperature (RT) is supposed to be only dependent on the gas-phase flow as the moisture permeability is constant below this RH. The moisture content at 20 % RH, in FIG 13.13, is taken as zero-level for the surface concentration.

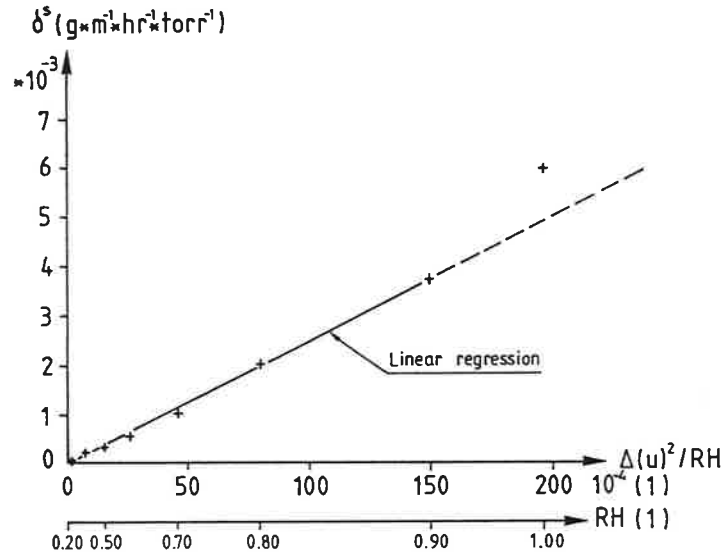


FIG 13.14 The surface moisture permeability dependent on surface flow as function of  $(\Delta u)^2/RH$ . Cement paste  $w_o/C$  0.4

The correlation coefficient of the linear regression in FIG 13.14 is 0.999 if the last point is excluded. This point is excluded because the desorption isotherm may be somewhat low at 100 % RH, see FIG 13.13.

When the linear regression line is extrapolated up to  $\delta^s = 5.9 \cdot 10^{-3}$ , the  $u$  value will be 0.208 instead of 0.192.

The surface flow is of course not only a surface flow in material with different pore sizes. When the larger pores have a water surface of a few molecules' thickness, the smaller pores will be filled with liquid. The larger pores will have surface flow but in the filled pores the flow is of Poiseuille type. As a conclusion one can say that the moisture transport

at high relative humidities is well described by the relation between surface flow and the amount of adsorbed water given by Gilliland et al (1958).

## **BILAGA 2**

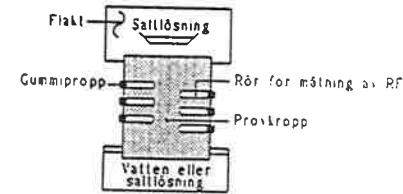
Utdrag ur Arfvidsson (1994)



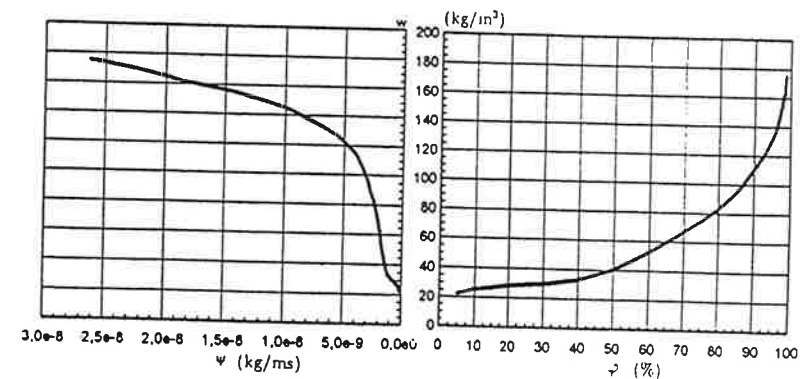
## Appendix, Materialdata för betong

### Betong med vatten cement tal 0.8

- Material: Betong med vatten cement tal 0.8
- Mätmetod:



- Materialspecifikation: cement=270 kg/m<sup>3</sup>, vatten=216 kg/m<sup>3</sup>, sand=990 kg/m<sup>3</sup>, macadam=810 kg/m<sup>3</sup>
- Historia: Membranhärdning minst en månad följd av kapillärsugning några veckor.
- Randvillkor: Översida: 33 % relativ fuktighet, undersida: vatten eller fuktig luft. Temperatur: 20° C.
- Följande har mätts: Relativ fuktighet och fuktflöde vid desorption.
- Utvärdering: Alla korrektioner är utförda, se rapport TVBM-1014, Byggnads-material.
- Referens, transportdata:  
*Hedenblad Göran*, Moisture Permeability of Mature Concrete, Cement Mortar and Cement Paste, 1993, LUTVDG/(TVBM-1014)/1-250/, ISSN 0348-7911, Dept. of Building Technology, University of Lund, [10].
- Referens, sorptionsisoterm:  
*Nilsson Lars-Olof*, Hygroscopic Moisture in Concrete-Drying, Measurements and related material properties, Rapport TVBM-1003,[13].



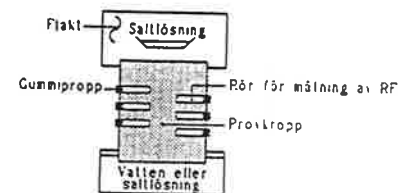
Figur 4.5. Materialdata för uttorkning av betong med vattencementtal 0.8.

$\varphi$ %	$w$ kg/m <sup>3</sup>	$\psi$ (flöde x tjocklek) kg/ms
5	22.4	$1.47 \cdot 10^{-10}$
10	25.4	$2.94 \cdot 10^{-10}$
20	28.4	$5.88 \cdot 10^{-10}$
30	30.0	$8.82 \cdot 10^{-10}$
40	33.2	$11.76 \cdot 10^{-10}$
50	40.5	$14.70 \cdot 10^{-10}$
60	52.7	$17.64 \cdot 10^{-10}$
65	59.9	$19.11 \cdot 10^{-10}$
70	67.5	$20.67 \cdot 10^{-10}$
75	75.1	$22.65 \cdot 10^{-10}$
80	83.7	$25.45 \cdot 10^{-10}$
84	92.3	$28.73 \cdot 10^{-10}$
86	97.7	$30.97 \cdot 10^{-10}$
88	104.2	$33.93 \cdot 10^{-10}$
90	111.2	$38.21 \cdot 10^{-10}$
91	114.8	$41.15 \cdot 10^{-10}$
92	118.3	$44.85 \cdot 10^{-10}$
93	122.0	$49.65 \cdot 10^{-10}$
94	126.9	$56.55 \cdot 10^{-10}$
95	132.3	$67.15 \cdot 10^{-10}$
96	138.5	$83.15 \cdot 10^{-10}$
96.5	143.5	$95.15 \cdot 10^{-10}$
97	148.5	$113.65 \cdot 10^{-10}$
97.5	155.3	$142.15 \cdot 10^{-10}$
98	162.0	$186.65 \cdot 10^{-10}$
98.1	164.7	$198.35 \cdot 10^{-10}$
98.2	167.4	$211.45 \cdot 10^{-10}$
98.3	170.1	$226.15 \cdot 10^{-10}$
98.4	172.8	$242.95 \cdot 10^{-10}$
98.5	175.5	$262.95 \cdot 10^{-10}$

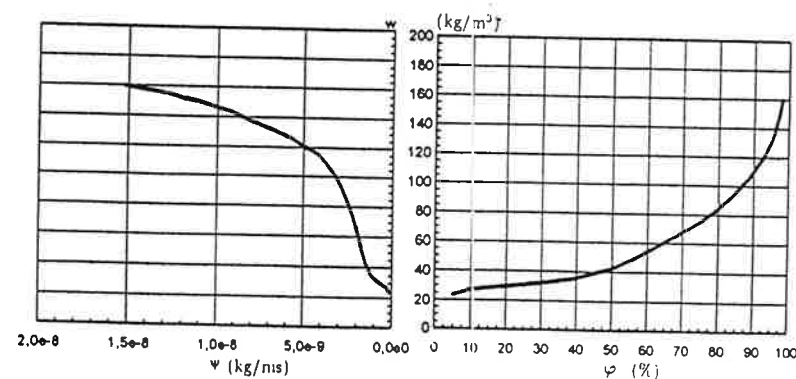
Materialdata för uttorkning av betong med vattencementtal 0.8.

## Betong med vatten cement tal 0.7

- Material: Betong med vatten cement tal 0.7
- Mätmetod:



- Materialspecifikation: cement=296 kg/m<sup>3</sup>, vatten=207.2 kg/m<sup>3</sup>, sand=990 kg/m<sup>3</sup>, macadam=810 kg/m<sup>3</sup>
- Historia: Membranhårdning minst en månad följd av kapillärsugning några veckor.
- Randvillkor: Översida: 33 % relativ fuktighet, undersida: vatten eller fuktig luft. Temperatur: 20° C.
- Följande har mätts: Relativ fuktighet och fuktflöde vid desorption.
- Utvärdering: Alla korrekationer är utförda, se rapport TVBM-1014, Byggnads-material.
- Referens, transportdata:  
*Hedenblad Göran, Moisture Permeability of Mature Concrete, Cement Mortar and Cement Paste, 1993, LUTVDG/(TVBM-1014)/1-250/, ISSN 0348-7911, Dept. of Building Technology, University of Lund, [10].*
- Referens, sorptionsisoterm:  
*Nilsson Lars-Olof, Hygroscopic Moisture in Concrete-Drying, Measurements and related material properties, Rapport TVBM-1003,[13].*



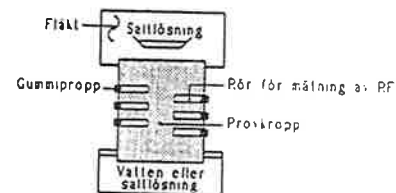
Figur 4.5. Materialdata för uttorkning av betong med vattencementtal 0.7.

$\varphi$ %	$w$ kg/m <sup>3</sup>	$\psi$ (Böde x tjocklek) kg/ms
5	23.7	$1.47 \cdot 10^{-10}$
10	27.2	$2.94 \cdot 10^{-10}$
20	29.6	$5.88 \cdot 10^{-10}$
30	32.0	$8.82 \cdot 10^{-10}$
40	35.5	$11.76 \cdot 10^{-10}$
50	42.3	$14.70 \cdot 10^{-10}$
60	53.9	$17.64 \cdot 10^{-10}$
65	61.0	$19.11 \cdot 10^{-10}$
70	68.1	$20.67 \cdot 10^{-10}$
75	75.5	$22.65 \cdot 10^{-10}$
80	84.7	$25.45 \cdot 10^{-10}$
84	93.8	$28.73 \cdot 10^{-10}$
86	98.9	$30.97 \cdot 10^{-10}$
88	104.2	$33.93 \cdot 10^{-10}$
90	110.7	$38.21 \cdot 10^{-10}$
91	114.6	$41.15 \cdot 10^{-10}$
92	117.5	$44.85 \cdot 10^{-10}$
93	120.8	$49.65 \cdot 10^{-10}$
94	125.8	$56.55 \cdot 10^{-10}$
95	131.1	$67.15 \cdot 10^{-10}$
96	137.9	$81.85 \cdot 10^{-10}$
96.5	142.9	$91.18 \cdot 10^{-10}$
97	148.0	$105.30 \cdot 10^{-10}$
97.2	150.4	$112.10 \cdot 10^{-10}$
97.4	152.7	$120.10 \cdot 10^{-10}$
97.6	155.1	$129.30 \cdot 10^{-10}$
97.8	157.4	$139.40 \cdot 10^{-10}$
98.0	159.8	$152.10 \cdot 10^{-10}$

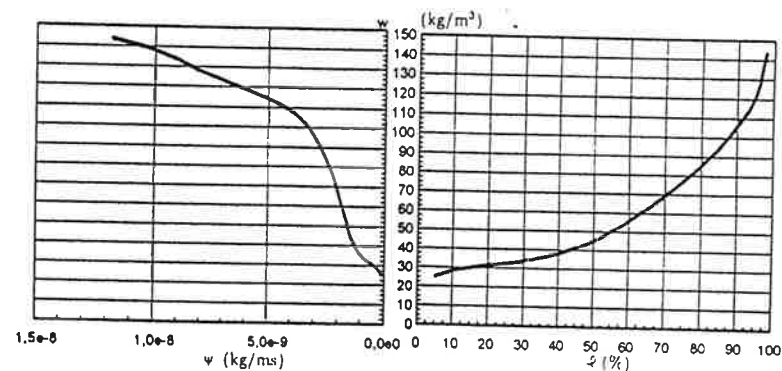
Materialdata för uttorkning av betong med vattencementtal 0.7.

## Betong med vatten cement tal 0.6

- Material: Betong med vatten cement tal 0.6
- Mätmetod:



- Materialspecifikation: cement=328 kg/m<sup>3</sup>, vatten=196.3 kg/m<sup>3</sup>, sand=990 kg/m<sup>3</sup>, macadam=910 kg/m<sup>3</sup>
- Historia: Membranhårdning minst en månad följt av kapillärsugning några veckor.
- Randvillkor: Översida: 33 % relativ fuktighet, undersida: vatten eller fuktig luft. Temperatur: 20° C.
- Följande har mätts: Relativ fuktighet och fuktflöde vid desorption.
- Utvärdering: Alla korrektioner är utförda, se rapport TVBM-1014, Byggnads-material.
- Referens, transportdata:  
*Hedenblad Göran*, Moisture Permeability of Mature Concrete, Cement Mortar and Cement Paste, 1993, LUTVDG/(TVBM-1014)/1-250/, ISSN 0348-7911, Dept. of Building Technology, University of Lund, [10].
- Referens, sorptionsisoterm:  
*Nilsson Lars-Olof*, Hygroscopic Moisture in Concrete-Drying, Measurements and related material properties, Rapport TVBM-1003,[13].



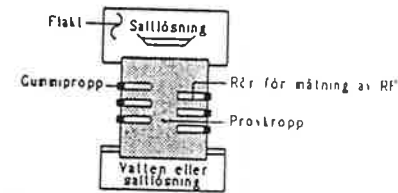
Figur 4.5. Materialdata för uttorkning av betong med vattencementtal 0.6.

$\varphi$ %	$w$ kg/m <sup>3</sup>	$\psi$ (flöde x tjocklek) kg/ms
5	25.3	$1.47 \cdot 10^{-10}$
10	28.2	$2.94 \cdot 10^{-10}$
20	31.5	$5.88 \cdot 10^{-10}$
30	33.8	$8.82 \cdot 10^{-10}$
40	38.0	$11.76 \cdot 10^{-10}$
50	44.9	$14.70 \cdot 10^{-10}$
60	56.1	$17.64 \cdot 10^{-10}$
65	63.0	$19.11 \cdot 10^{-10}$
70	69.5	$20.67 \cdot 10^{-10}$
75	77.1	$22.65 \cdot 10^{-10}$
80	85.3	$25.45 \cdot 10^{-10}$
84	92.8	$28.73 \cdot 10^{-10}$
86	97.4	$30.97 \cdot 10^{-10}$
88	101.7	$33.93 \cdot 10^{-10}$
90	106.6	$38.21 \cdot 10^{-10}$
91	108.9	$41.15 \cdot 10^{-10}$
92	111.5	$44.85 \cdot 10^{-10}$
93	114.1	$49.65 \cdot 10^{-10}$
94	117.4	$56.55 \cdot 10^{-10}$
95	121.7	$67.15 \cdot 10^{-10}$
95.5	124.8	$73.85 \cdot 10^{-10}$
96	127.9	$81.00 \cdot 10^{-10}$
96.5	132.9	$89.20 \cdot 10^{-10}$
97	137.8	$99.70 \cdot 10^{-10}$
97.2	139.8	$104.90 \cdot 10^{-10}$
97.4	141.7	$111.10 \cdot 10^{-10}$
97.5	142.7	$114.50 \cdot 10^{-10}$
97.6	143.7	$118.20 \cdot 10^{-10}$

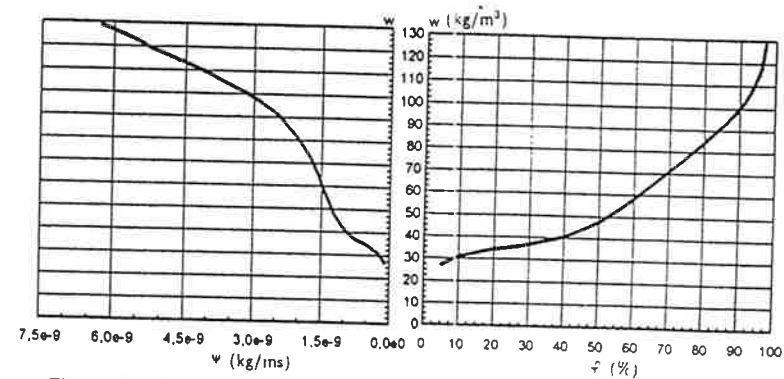
Materialdata för uttorkning av betong med vatten cement tal 0.6.

### Betong med vatten cement tal 0.5

- Material: Betong med vatten cement tal 0.5
- Mätmetod:



- Materialspecifikation: cement=368 kg/m<sup>3</sup>, vatten=184 kg/m<sup>3</sup>, sand=990 kg/m<sup>3</sup>, macadam=910 kg/m<sup>3</sup>
- Historia: Membranhårdning minst en månad följt av kapillärsugning några veckor.
- Randvillkor: Översida: 33 % relativ fuktighet, undersida: vatten eller fuktig luft. Temperatur: 20° C.
- Följande har mätts: Relativ fuktighet och fuktflöde vid desorption.
- Utvärdering: Alla korrektioner är utförda, se rapport TVBM-1014, Byggnadsmaterial.
- Referens, transportdata:  
*Hedenblad Göran*, Moisture Permeability of Mature Concrete, Cement Mortar and Cement Paste, 1993, LUTVDG/(TVBM-1014)/1-250/, ISSN 0348-7911, Dept. of Building Technology, University of Lund, [10].
- Referens, sorptionsisoterm:  
*Nilsson Lars-Olof*, Hygroscopic Moisture in Concrete-Drying, Measurements and related material properties, Rapport TVBM-1003,[13].



Figur 4.5. Materialdata för uttorkning av betong med vattencementtal 0.5.

$\varphi$ %	$w$ kg/m <sup>3</sup>	$\psi$ (flöde x tjocklek) kg/ms
5	27.2	$1.21 \cdot 10^{-10}$
10	30.9	$2.42 \cdot 10^{-10}$
20	34.6	$4.84 \cdot 10^{-10}$
30	36.8	$7.26 \cdot 10^{-10}$
40	40.5	$9.68 \cdot 10^{-10}$
50	47.5	$12.10 \cdot 10^{-10}$
60	58.5	$14.52 \cdot 10^{-10}$
65	64.8	$15.73 \cdot 10^{-10}$
70	71.4	$17.20 \cdot 10^{-10}$
75	78.0	$19.15 \cdot 10^{-10}$
80	84.6	$21.65 \cdot 10^{-10}$
84	90.5	$24.33 \cdot 10^{-10}$
86	93.5	$26.13 \cdot 10^{-10}$
88	96.8	$28.57 \cdot 10^{-10}$
90	100.5	$31.75 \cdot 10^{-10}$
91	102.3	$33.66 \cdot 10^{-10}$
92	104.5	$35.97 \cdot 10^{-10}$
93	107.5	$38.67 \cdot 10^{-10}$
94	110.4	$41.97 \cdot 10^{-10}$
95	114.1	$46.27 \cdot 10^{-10}$
95.5	116.5	$48.92 \cdot 10^{-10}$
96	118.9	$52.17 \cdot 10^{-10}$
96.2	120.9	$53.71 \cdot 10^{-10}$
96.4	122.9	$55.45 \cdot 10^{-10}$
96.6	124.8	$57.47 \cdot 10^{-10}$
96.8	126.8	$59.85 \cdot 10^{-10}$
97	128.8	$62.71 \cdot 10^{-10}$

Materialdata för uttorkning av betong med vattencementtal 0.5.