



# LUND UNIVERSITY

## Fuktflöde genom betongkonstruktioner utsatta för ensidigt vattentryck : en mindre parameterstudie av några beräkningsmodeller

Hedenblad, Göran

1994

[Link to publication](#)

*Citation for published version (APA):*

Hedenblad, G. (1994). *Fuktflöde genom betongkonstruktioner utsatta för ensidigt vattentryck : en mindre parameterstudie av några beräkningsmodeller*. (Rapport TVBM (Intern 7000-rapport); Vol. 7082). 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

# **FUKTFLÖDE GENOM BETONG- KONSTRUKTIONER UTSATTA FÖR ENSIDIGT VATTENTRYCK**

**En mindre parameterstudie av några beräknings-  
modeller**

**Göran Hedenblad**

**Rapport TVBM-7082**

---

**Lund, september 1994**

# FÖRORD

Forskning om fukt i material och byggnader har bedrivits vid Lunds Tekniska Högskola alltsedan skolans start 1964. Från 1981 samordnas verksamheten vid de tre avdelningarna, Byggnadsfysik, Byggnadskonstruktionslära och Byggnadsmaterial, inom Fuktgruppen vid Lunds Tekniska Högskola.

Under många år har vi vid avd Byggnadsmaterial studerat fukttransport i betong. Dock har vi inte i laboratoriet haft utrustning till att studera betong utsatt för vattenövertryck. Denna rapport bygger bl a på den kunskap om fukt och fukttransport i betong som har byggts upp vid vår avdelning.

Idén till rapporten uppstod under semestern 1994. Paul Sandberg (Cementa och Byggnadsmaterial/LTH) förklarade han sig villig att finansiera rapporten. Rapporten har huvudsakligen skrivits under semestern 1994.

## INLEDNING

Det torde idag inte finnas några mer omfattande undersökningar av fuktflöde genom betongkonstruktioner, där det på ena sidan av konstruktionen är vatten under tryck och på andra sidan är luft med olika relativ fuktighet (RF).

Ett vanligt sätt att behandla konstruktionen ovan är att anta att Darcy's lag för vattenpermeabilitet är tillämplig. Denna lag förutsätter dock att det finns vatten på båda sidor om materialet, så att det är mättat med vatten. En annan svårighet är att använda "rätt" permeabilitetskonstant, se BILAGA 1.

Ett andra sätt är att använda de mätningar av fuktflöde och RF-profil i betong av olika kvaliteter som har utförts vid avdelningen Byggnadsmaterial, LTH, se /1/. Dessa mätningar är bl a utförda med fritt vatten utan övertryck på ena sidan och på andra sidan betongen har det varit luft med ca 35 % RF.

Ett tredje sätt är att kombinera Darcy's lag med mätningarna i /1/.

Vilken av metoderna som är den "sanna" bör undersökas med laboriemätningar. Dock kan nedanstående studie tjäna som viss vägledning om man måste göra en fuktdimensionering innan laboriemätningar har utförts.

**Kombinationen av Darcy's lag med mätningarna i 1) kan förklara uppmätta permeabilitetskoefficienters variation med vattentrycket då provkroppen är utsatt för ensidigt vattentryck.**

# TEORI

## 1) Darcy's lag

Behandlar fallet då det på konstruktionens båda sidor finns vatten. Vattnet på de båda sidorna har olika tryck, se FIG 1.

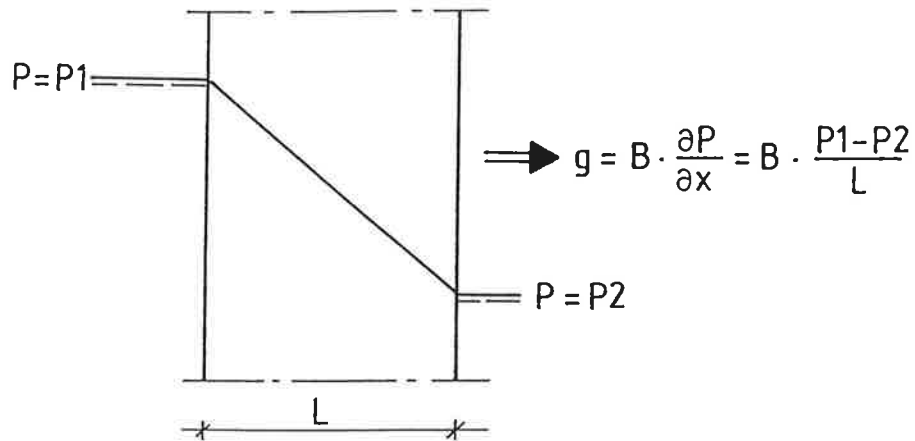


FIG 1 Konstruktion utsatt för vattentryck på båda sidor.

Tryckskillnaden mellan de båda sidorna är  $P_1 - P_2$  och tryckfallet i konstruktionen är linjärt.

Darcy's lag kan skrivas på flera olika sätt, men här används

$$g = B \cdot \frac{\partial P}{\partial x} \quad (1)$$

$g$ = fuktflödestäthet	( $\text{kg}/(\text{m}^2\text{s})$ )
$B$ = permeabilitetskoefficient	( $\text{s}$ )
$P$ = vätsketryck	( $\text{Pa}$ )
$x$ = längd	( $\text{m}$ )

## 2) Metod enligt Byggnadsmaterial, LTH

Behandlar bl a fallet då det på ena sidan av konstruktionen är fritt vatten med atmosfärstryck och på andra sidan är luft med olika RF, se FIG 2.

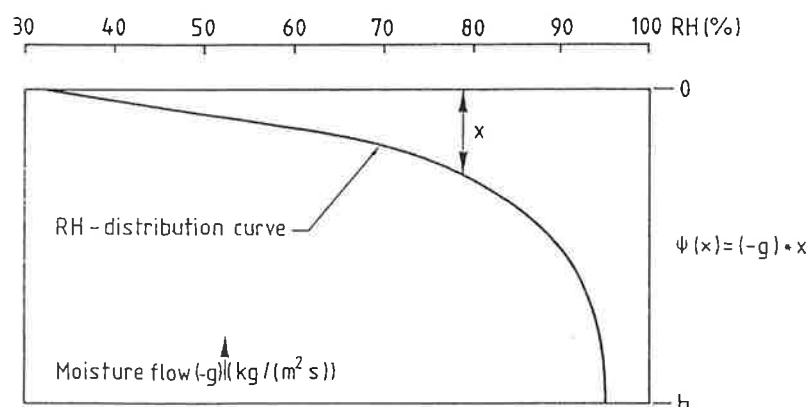


FIG 2 RF-profil i betong med 35 % RF på översidan och "fritt" vatten på undersidan.

Vid stationära förhållanden, dvs ingenting ändras med tiden, är flödet in i, genom och ut från konstruktionen konstant.

Fuktflödet tecknas

$$g = \delta_v \cdot \partial v / \partial x \quad (2)$$

$g$ = fuktflödestäthet	(kg/(m <sup>2</sup> s))
$\delta_v$ = ångpermeabilitet	(m <sup>2</sup> /s)
$v$ = ånghalt	(kg/m <sup>3</sup> )
$x$ = längd	(m)

Ekvation (2) ovan skrivs om så att  $\delta x$  flyttas upp på vänstra sidan likhetstecknet och båda sidorna integreras. Vänstra sidan integreras mellan tjockleken 0 och L. Högra sidan integreras mellan ånghalten på ena sidan och ånghalten på andra sidan. Ekvationen blir då

$$g \cdot L = \int_{v_0}^{vL} \delta_v \cdot \partial v \quad (3)$$

Vid givna randvillkor blir den högra delen av ekvation (3) konstant, vilket betyder att även det vänstra ledet blir konstant och är  $g \cdot L$ . Dvs om tjockleken fördubblas halveras flödet då ånghalten (eller RF vid konstant temperatur) är samma vid materialets ytor i de båda fallen.

Högra ledet kallas fundamentalpotentialen eller Kirchhoffs potential ( $\Psi$ ), (kg/(ms)). Dock är för betong  $\Psi$  inte helt konstant vid givna randvillkor utan har ett visst beroende av konstruktionstjockleken.  $\Psi$  med hänsyn till konstruktionstjockleken kan approximativt skrivas, där  $\Psi_0$  är  $\Psi$  vid tjockleken  $L_0 = 0.10$  m

$$\Psi = \Psi_0 \cdot (L/L_0)^{0.4} \quad (4)$$

$L$  = konstruktionstjocklek (m)

Exempel på  $\Psi_0$  som funktion av RF och betongkvalitet ges i BILAGA 2.

### Exempel 1

Betong med vct 0.4, där  $\Psi_0$  ges av nedanstående figur

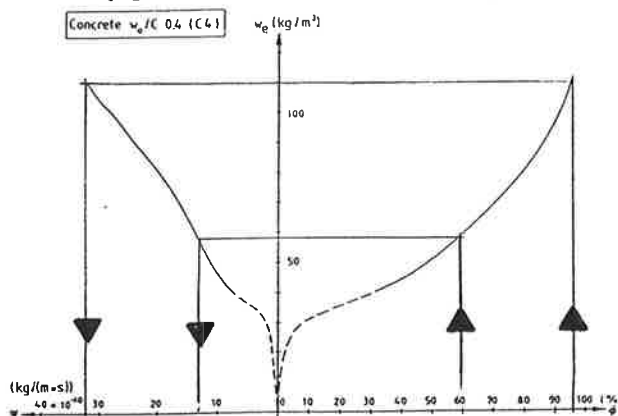


FIG 3 Samband  $\Psi$  och RF för betong med vct 0.4.

Betongens ena yta är i 60 % RF och dess andra yta är i kontakt med "fritt" vatten.  
 $\Psi_0 = \Psi_{\max} - \Psi_{60}$  där  $\Psi_{\max}$  är  $\Psi$  vid maximal RF och  $\Psi_{60}$  är vid 60 % RF.  
 Konstruktionen är 300 mm tjock  $\Psi = \Psi_0 \cdot (300/100)^{0.4} = \Psi_0 \cdot 1.55$ . Fuktkflödestätheten  $g = \Psi/L = \Psi_0 \cdot 1.55 / 0.30$

RF-fördelningen i betongen kan beräknas genom att indela  $\Psi$ -axeln i FIG 3 i 5 lika delar. Detta motsvarar att konstruktionen indelas i 5 lika tjocka delar. För varje del avläses RF i FIG 3. Dessa RF motsvarar RF på de olika nivåerna i konstruktionen

### 3) Kombination av 1) och 2) ovan

I nedanstående figur har de båda metoderna (1 och 2) kombinerats. Den gemensamma punkten för 1) och 2) är där vätsketrycket motsvarar atmosfärstryck, dvs noll i övertryck (RF är här "100 %"). Figuren visar förhållanden vid stationaritet, dvs ingenting ändras med tiden.

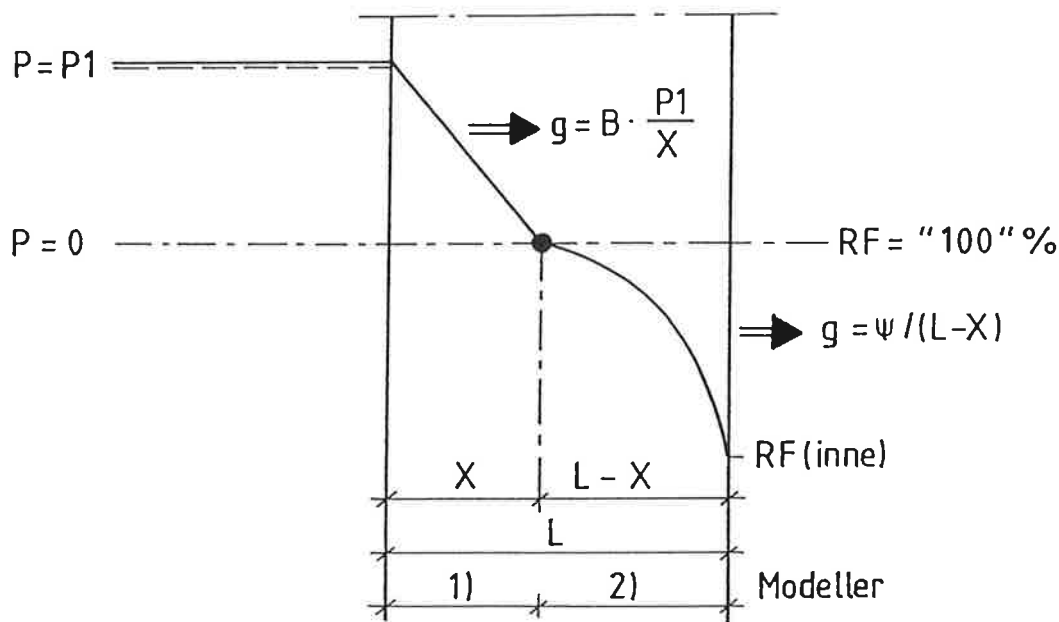


FIG 4 Tryck och RF-fördelning i en konstruktion utsatt för ensidigt vattentryck.

$$\begin{aligned} g &= B \cdot P_1 / X \\ g &= \Psi / (L - X) \end{aligned}$$

(5)

vilket ger

$$B \cdot P_1 / \Psi = X / (L - X)$$

ekv 4 insatt i ovan ger

$$B \cdot P_1 / \Psi_0 = ((L - X) / L_0)^{0.4} \cdot X / (L - X)$$

Vänstra ledet i ekvation (5) ovan innehåller endast vätsketrycket och materialparametrar för fukttransport. Högra ledet innehåller endast totaltjocklek på konstruktionen och inträngningsdjupet ( $X$ ) för vattentrycket. Ekvationen kan utvecklas i nomogramform så att om man vet materialparametrarna ( $B$  och  $\Psi_0$ ) samt vätsketrycket, dvs vänstra ledet i ekvationen ovan, så kan "inträngningsdjupet" ( $X/L$ ) avläsas vid känd konstruktionstjocklek, se FIG 5 nedan.

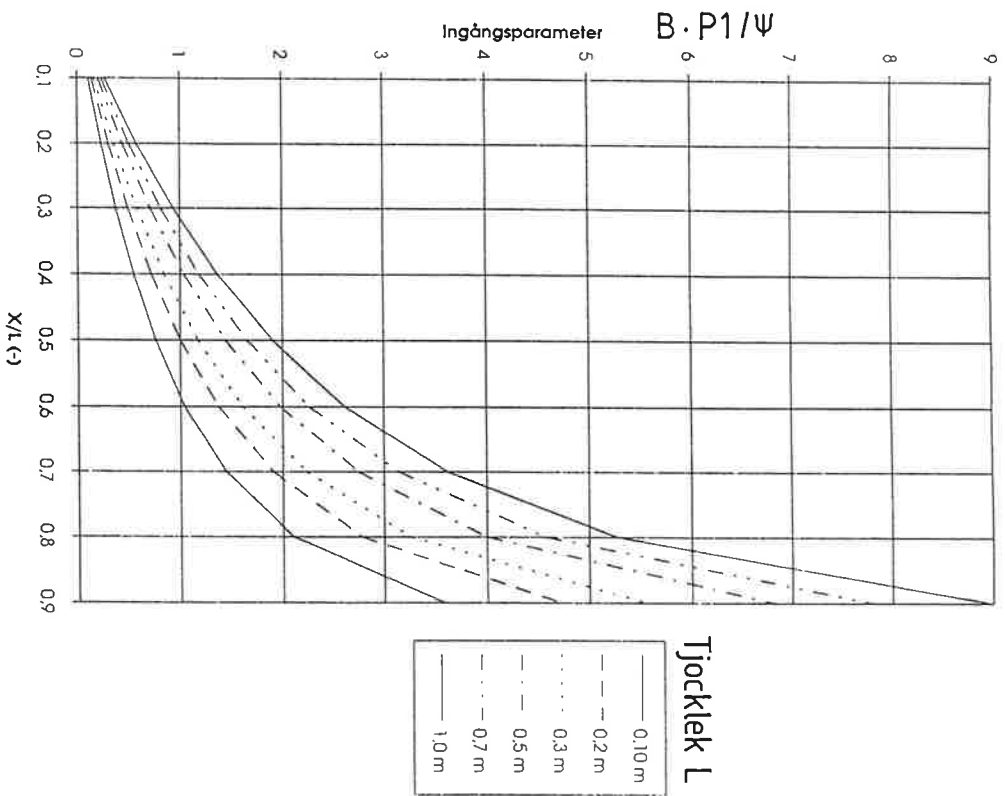


FIG 5 Ekvation 5 i nomogramform.

Med  $X/L$  enligt FIG 5 och med vätsketrycket  $P1$  vid betongytan och tjockleken  $L$  kan fuktflödet beräknas för olika permeabilitetskoefficienter ( $B$ ) med hjälp av nomogrammet i FIG 6.

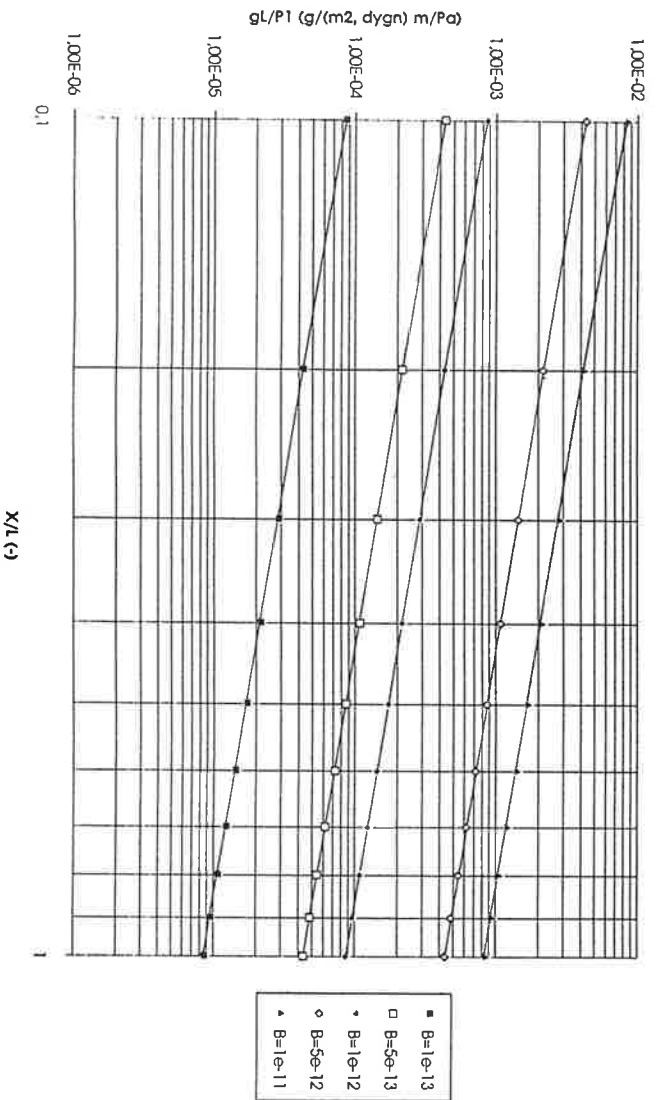


FIG 6 Nomogram för beräkning av fuktflöde.  
5

### Exempel 2

Betong med vct 0.4. RF på "torra" sidan är 40 %.  $\Psi_0$  enligt BILAGA 2 blir  $(33e-10 - 9e-10) = 24e-10$  kg/(ms). Permeabiliteten B är  $1e-13$  s. Tjockleken L är 0.30 m. Vätsketrycket är  $4.91e+4$  Pa (5 m vattenpelare).  $B \cdot P1 / \Psi_0$  blir 2.05. Nomogrammet i FIG 5 ger att  $X/L$  är ca 0.67.

Med  $X/L = 0.67$  och  $B = 1e-13$  s som ingångsparametrar i FIG 6 avläses på Y-axeln att  $g \cdot L / P1 = ca 1,3e-5$  dvs  $g$  är  $1,3e-5 \cdot 4,91e+4 / 0,3 = 2,1g/(m^2 \text{ dygn})$ .

### Exempel 3

För materialkvaliteterna i *Exempel 2* beräknas  $X/L$  för olika tjocklekar ( $L = 0,2, 0,5$  och  $1,0$  m) som funktion av vattentrycket (2, 5, 7, 10 och 15 meter vattenpelare). Resultaten redovisas i FIG 7.

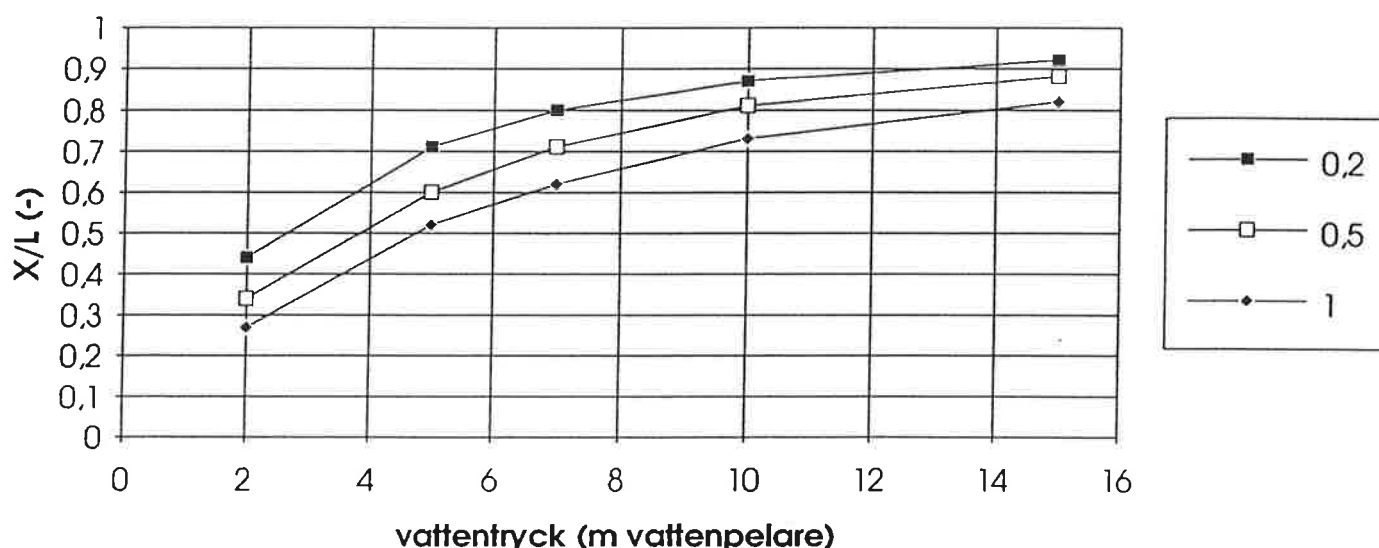


FIG 7 "Inträngningsdjup"  $X/L$  som funktion av vattentryck för betongen i *Exempel 2*.

Av FIG 7 framgår att  $X/L$  blir olika för olika tjocklek hos konstruktionen. För tjockare betongkonstruktioner minskar det relativa inträngningsdjupet ( $X/L$ ) vid samma vattentryck. Dessutom framgår att  $X/L$  inte ökar linjärt med ökande vattentryck, utan  $X/L$  ökar kraftigast vid de lägre vattentrycken. Vid ett tryck av 15 meter vattenpelare så är, för detta fall,  $X/L$  0,8 ( $L = 1,0$  m) till 0,92 ( $L = 0,2$  m) dvs större delen av



konstruktionstjockleken utnyttjas för att reducera vattenövertrycket till noll.

I FIG 8 redovisas samma resultat som i FIG 7, dock visas här på y-axeln det totala "inträngningsdjupet" X som funktion av vattenövertrycket.

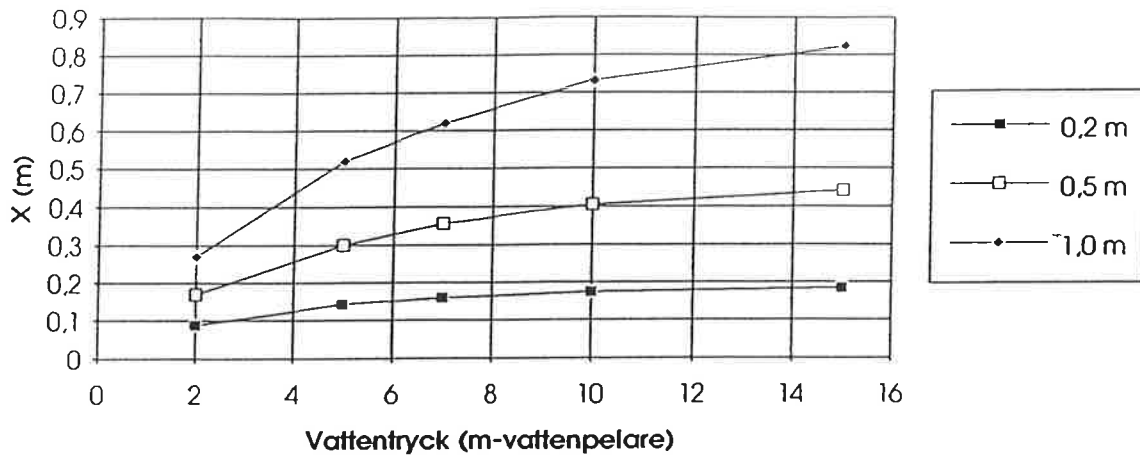


FIG 8 "Inträngningsdjup" X som funktion av vattentryck för betongen i *Exempel 2*.

Av FIG 8 framgår att för den en meter tjocka konstruktionen har vattentrycket stor betydelse för det absoluta "inträngningsdjupet".

Med nomogrammet i FIG 6 har fuktflödena beräknats för konstruktionerna med 0,3 och 1,0 m tjocklek för materialkvaliteterna i *Exempel 2*. RF på insidan av konstruktionen är 40%. Resultaten redovisas i FIG 9. Samtliga tre beräkningsmodeller (1, 2 och 3) redovisas.

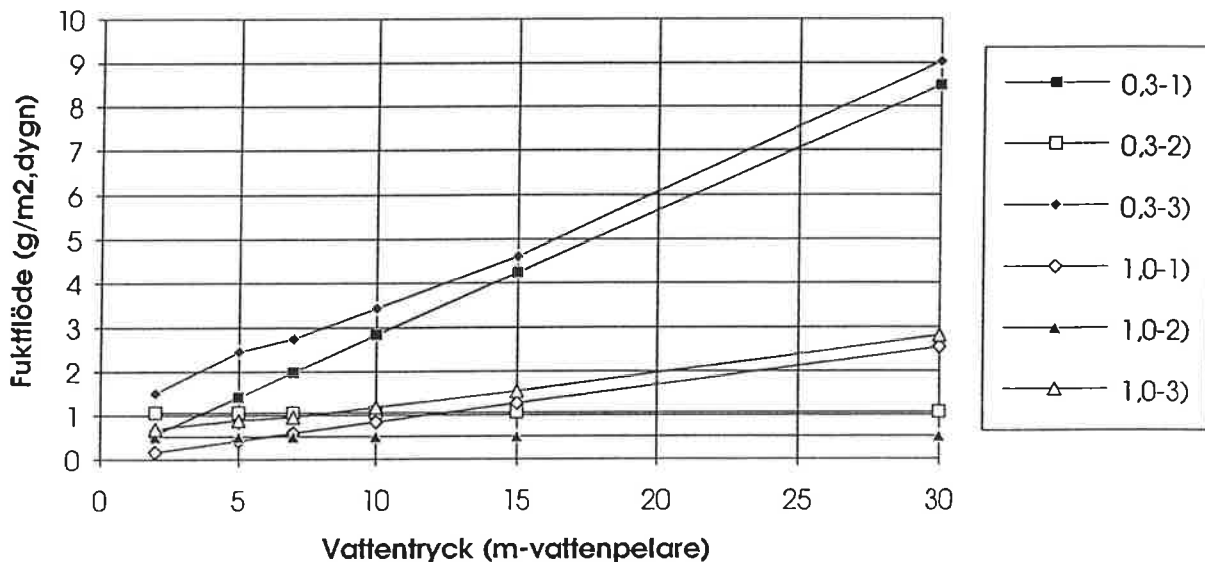


FIG 9 Fuktflöde som funktion av vattentryck samt beräkningsmodell och konstruktionstjocklek för betongen i *Exempel 2*.

1,0 resp 0,3 i beteckningen i FIG 9 är konstruktionstjockleken. -1), -2), och -3) är de olika beräkningsmodellerna ovan. -1) är Darcy's lag. -2) är modell enl BML/LTH. -3) är kombinationen av 1) och 2).

I FIG 9 framgår för den 0,3 meter tjocka betongkonstruktionen så ger modell 3) större fuktflöde än både modell 1) och 2). För större vattentryck skiljer sig modell 2) betydligt från de andra två modellerna.

För den en meter tjocka konstruktionen är fuktflödena i samtliga tre modeller i ungefär samma storleksordning. Modell 2) ger större flöde än 1) då vattenövertrycket är mindre än ca 6 meter. Modell 3) ger högst fuktflöde av modellerna.

## INVERKAN AV VATTENPERMEABILITET OCH FUNDAMENTALPOTENTIAL

I FIG 5 framgår att vid "låg" ingångsparameter ( $B \cdot P_1 / \Psi$ ) så tränger vattenövertrycket inte så långt in i betongen ( $X/L$  är litet), dvs konstruktionen följer mest modell 2). Vid "hög" ingångsparameter så är  $X/L$  nära 1 och konstruktionen följer mest modell 1), Darcy's lag. Modell 3) täcker området där varken modell 1) eller 2) är helt tillämpliga.

Av vänstra ledet i ekvation (5) framgår att vid konstant  $P_1$  är det relationen mellan  $B$  och  $\Psi$  som avgör inträngningsdjupet ( $X/L$ ). Om tex  $B \cdot P_1 / \Psi$  är 14 i ett fall och man kan minska  $B$  med en faktor 10 så blir  $B \cdot P_1 / \Psi$  1,4 dvs  $X/L$  minskar för en 0,5 m tjock konstruktion från ca 0,9 till ca 0,5 (se FIG 5). I FIG 6 framgår att fuktflödet minskar med hänsyn till att vattenpermeabiliteten minskar men ökar då  $X/L$  minskar. Om i fallet ovan  $B$  ursprungligen var  $1e-11$  och minskar till  $1e-12$  så minskar  $g_L/P_1$  från ca 0,00095 till ca 0,00018. Kvoten mellan 0,00095 och 0,00018 är 5,3 dvs fuktflödet reduceras i detta fall med en faktor 5 fastän permeabiliteten minskade med faktorn 10.

## INVERKAN AV YTBELÄGGNING

### *Beläggning på den sida av konstruktion som inte är direkt utsatt för vattentryck*

Det går relativt enkelt att beräkna inverkan av en beläggning på konstruktionens "torra" sida. En svårighet brukar dock vara att materialdata (ur fuktsynpunkt) för beläggningar inte är helt kända.

Två principiellt olika fall finns

- a) betongen precis bakom beläggningen är inte helt vattenmättad, dvs RF är mindre än 100 %.
- b) betongen bakom beläggningen och eventuellt även delar av beläggningen är helt mättad med vatten.

I a) kan man då vattenpermeabiliteten ( $B$ ) och vattentrycket ( $P_1$ ) samt sambandet mellan fundamentalpotentialen ( $\Psi$ ) och RF är känt beräkna ingångsparametern ( $B \cdot P_1 / \Psi$ ) för olika RF. Därefter avläses  $X/L$  och fuktflödet kan beräknas med hjälp av FIG 6.

I b) gäller Darcy's lag för betongen. Vidare måste fuktflödet, vid stationära förhållanden, vara lika stort både genom betong och beläggning. Ju tätare beläggning desto mindre fuktflöde blir det genom denna och därmed även genom betongen. Det betyder att vid konstant vattenpermeabilitet och tjocklek för betongen så blir tryckskillnaden mellan betongens båda sidor mindre vid tätare beläggning. Vid helt fukttät beläggning fås samma vätsketryck på betongens båda sidor, dvs hela vätsketrycket tas upp av

beläggningen. Då beläggningen påverkas av vätsketryck måste vidhäftningshållfastheten mellan betong och beläggning vara minst lika stor som vätsketrycket multiplicerat med en lämplig säkerhetsfaktor. Eventuellt kan vidhäftningshållfasthet och beständighet hos beläggningen påverkas av fukt så att de försämras då betongytan är fuktig jämfört med torr betongyta.

#### Exempel 4

Betong med vct 0,4. Permeabiliteten (B) är  $1e-13$  s. RF på insidan varierar mellan 40 % RF och "100" RF, se BILAGA 2. Vattentrycket på utsidan av konstruktionen är  $4,91e+4$  Pa (5 m vattenpelare). Betongtjockleken är 0.3 m. I FIG 10 visas fuktflödet som funktion av RF och vattentryck mellan beläggning och betong. RF på insida beläggning är 40 % hela tiden.

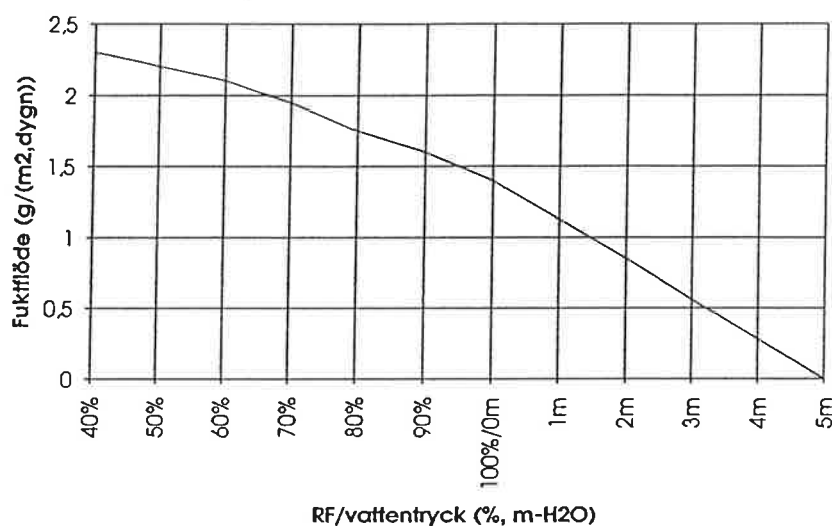


FIG 10 Fuktflöde för konstruktionen i *Exempel 4* som funktion av fuktförhållandena (RF och vattentryck) mellan betong och beläggning på den sida av betongen som inte är utsatt för direkt vattentryck.

I FIG 10 framgår att för detta beräkningsexempel minskar fuktflödet genom konstruktionen då RF mellan betong och beläggning ökar. Mellan 0 m vattentryck och 5 m vattentryck på insidan så minskar fuktflödet linjärt. Ovanstående är endast ett exempel och varje fall med beläggning på insidan bör analyseras med sina specifika förutsättningar. Dessutom måste även andra hänsyn tas, t ex karbonatisering, armeringskorrosion mm.

I FIG 11 visas den beräknade RF mellan betong och beläggning som funktion av ångmotståndet (Z) hos beläggningen i *Exempel 4*. RF på ena sidan av beläggningen är konstant 40 %. Ångmotståndet (Z) för ett material tecknas

$$Z = \partial v / g = v_s \cdot \partial RF / g \quad (6)$$

$v_s$  = mätnadsånghalt (kg/m<sup>3</sup>)

I FIG 11 visas att för detta fall ökar RF mellan beläggning och betong ungefär linjärt med ökande ångmotstånd hos beläggningen. Dessutom framgår att en mindre ändring av ångmotståndet får stor betydelse för RF då RF är mellan ca 90 och 100 %. Det torde i

det praktiska fallet betyda att det är svårt att exakt dimensionera och utföra beläggningen för en viss RF mellan betong och beläggning. Variationer i beläggningens tjocklek och i materialegenskaper hos betong och beläggning har stor betydelse.

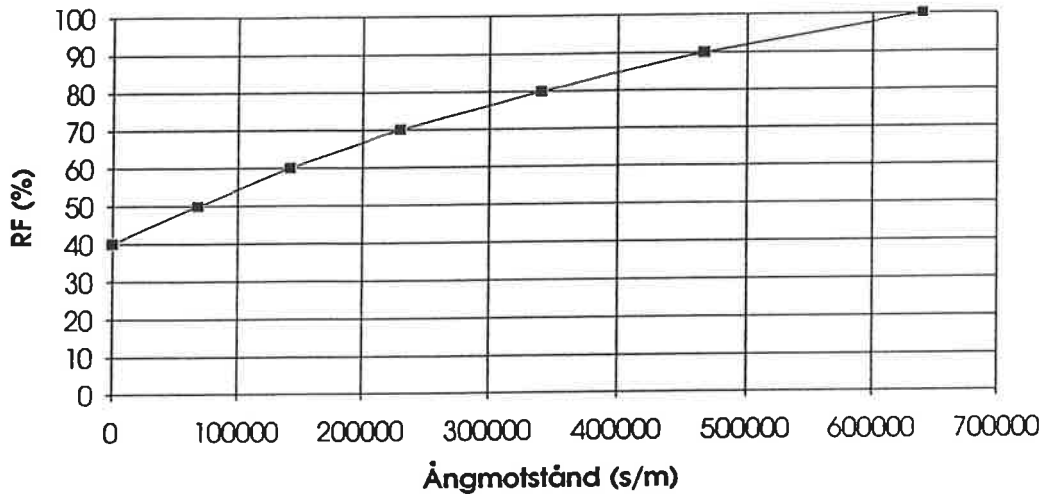


FIG 11 RF mellan beläggning och betong för *Exempel 4* som funktion av ångmotståndet hos beläggningen. RF på utsida beläggning är 40 %.

# BILAGA 1

## Permeabilitet

Permeabilitetskoefficienten hos betong ( för vatten) beror på många olika parametrar. För betong med samma vct kan det skilja en faktor 100 mellan högsta och lägsta uppmätta permeabilitetskoefficient. Det ingår inte i detta arbete att studera olika faktorer inverkan på permeabilitetskoefficienten. I FIG 12 nedan redovisas en del uppmätta permeabilitetskoefficienter för betong. FIG 12 är tagen från /2/ som i sin tur har hämtat den från /3/.

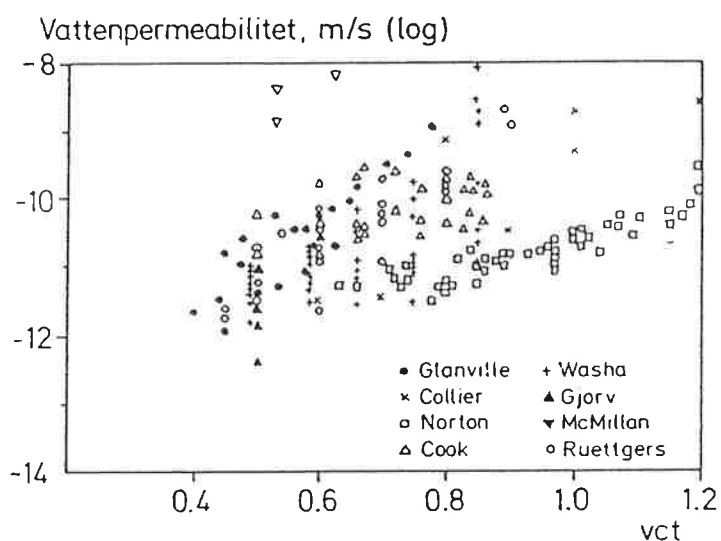


FIG 12 Vattenpermeabilitet i m/s för betong. Uppmätta värden.

Enligt /2/ så är de uppmätta permeabilitetsvärdena metodberoende, dvs de beror på hur permeabiliteten har bestämts.

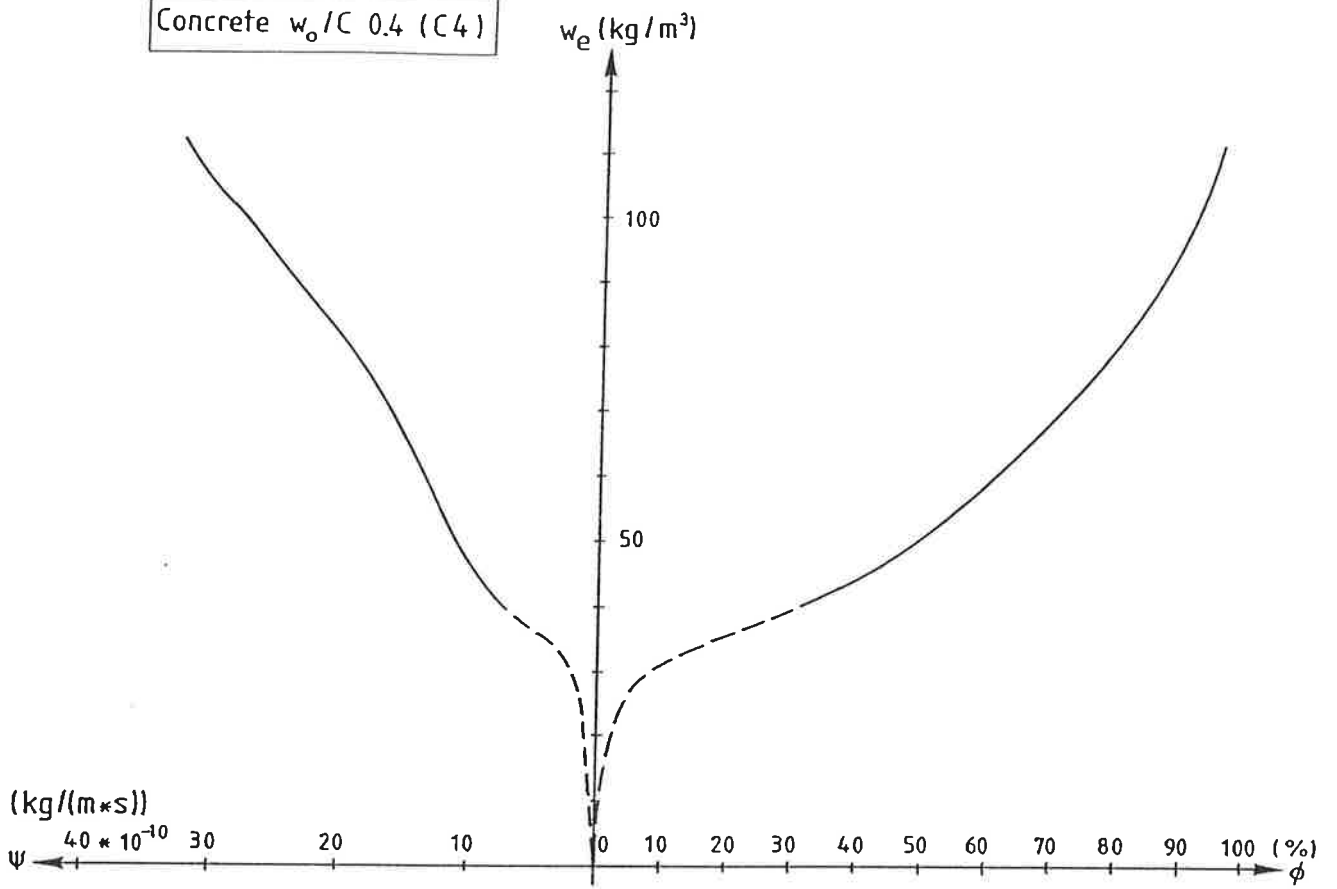
Permeabilitetskoefficienter definieras på flera olika sätt. Värdena (m/s) i FIG 12 kan räknas om till permeabiliteten B (s) genom att dividera värdena i FIG 12 med faktorn 10.

## BILAGA 2

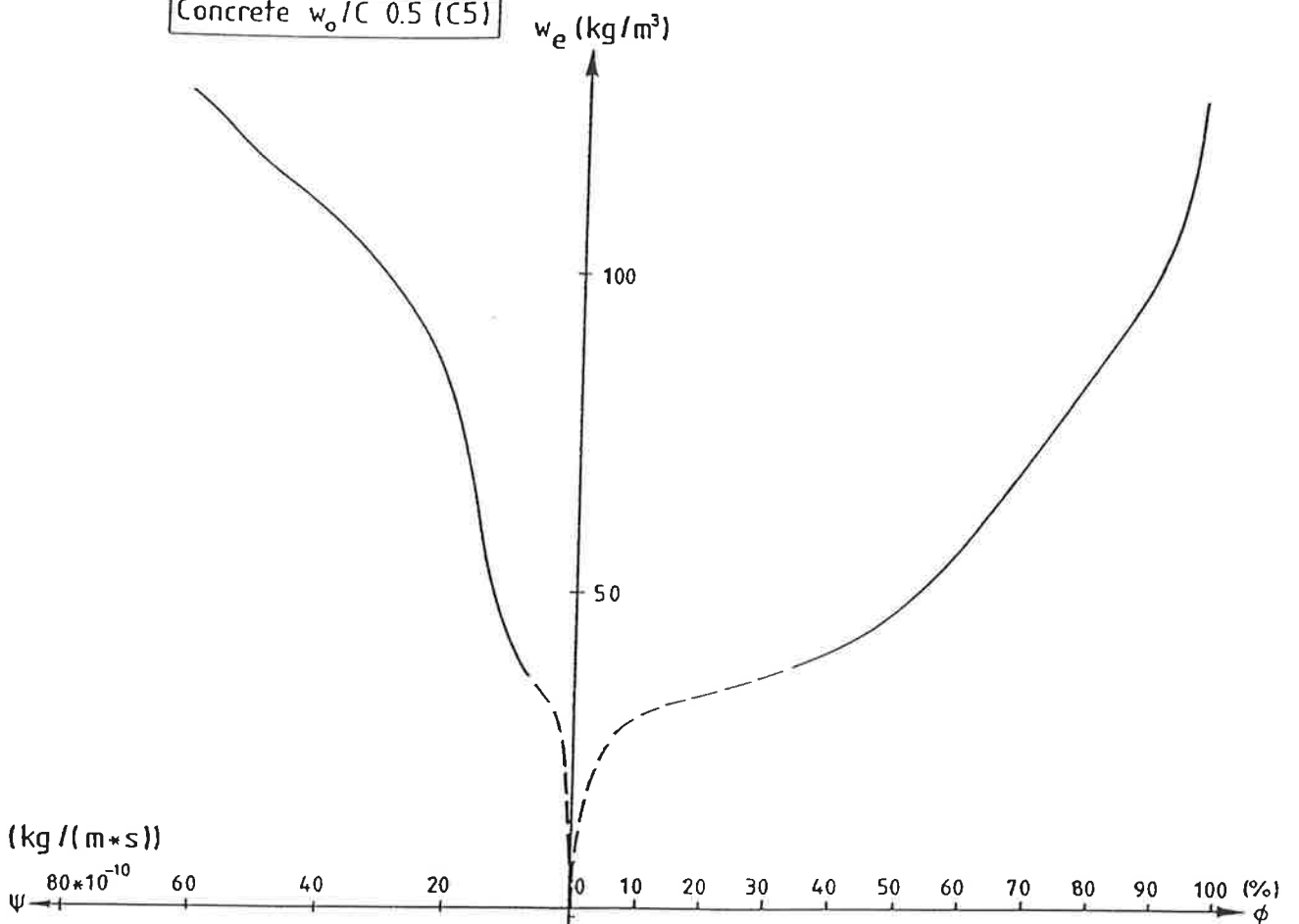
### Fundamentalpotential

På följande sidor visas uppmätt fundamentalpotential som funktion av RF (via fukthalten). De redovisade värdena gäller för betong som är ca 5 år gammal och ca 0,10 m tjock. Värdena gäller vidare då betongen tidigare inte har utsatts för uttorkning, dvs betongen är på sin desorptionsisoterm. Maximal RF är i de flesta fall mindre än 100 %. Detta beror på att betongen innehåller alkali, som sänker mätnads-RF till ett värde mindre än 100 %. Vid maximal RF, redovisad på de följande sidorna, är betongen kapillärmättad.

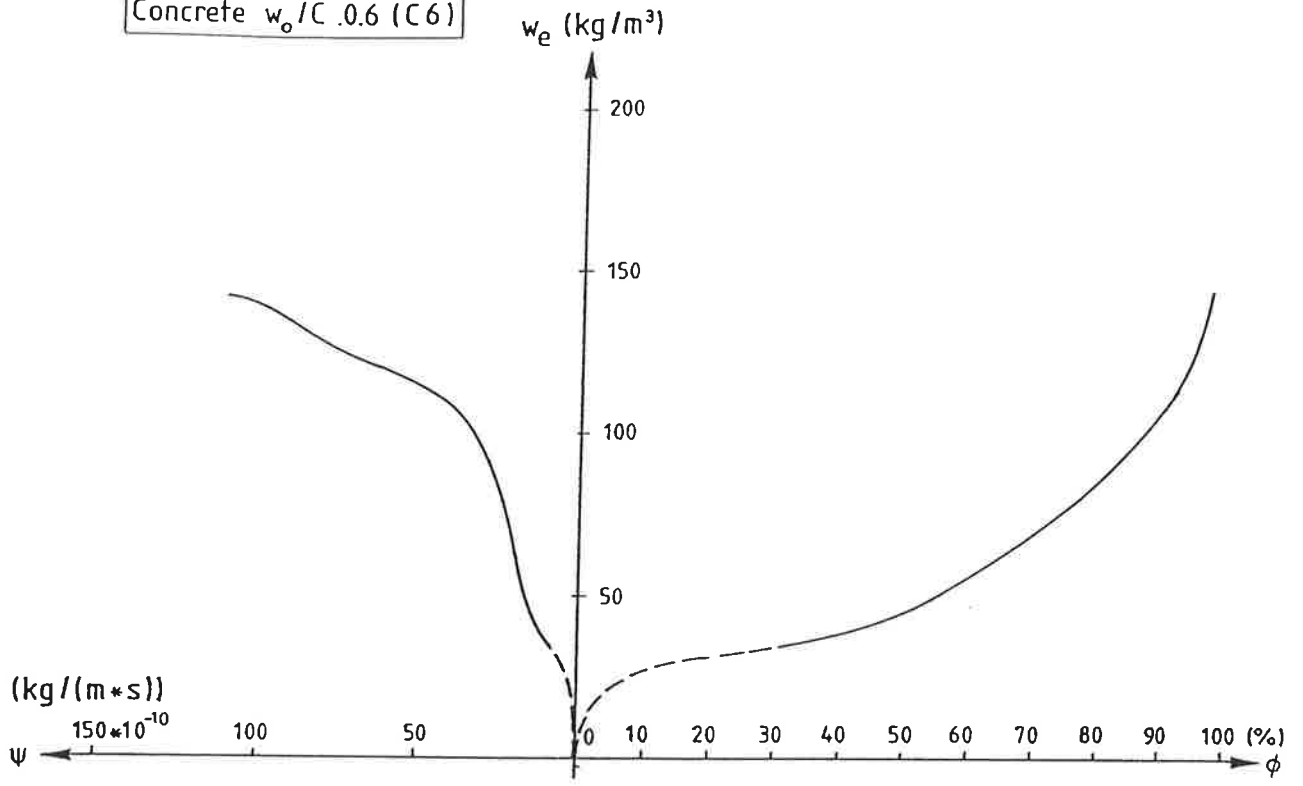
Concrete  $w_o/C$  0.4 (C4)



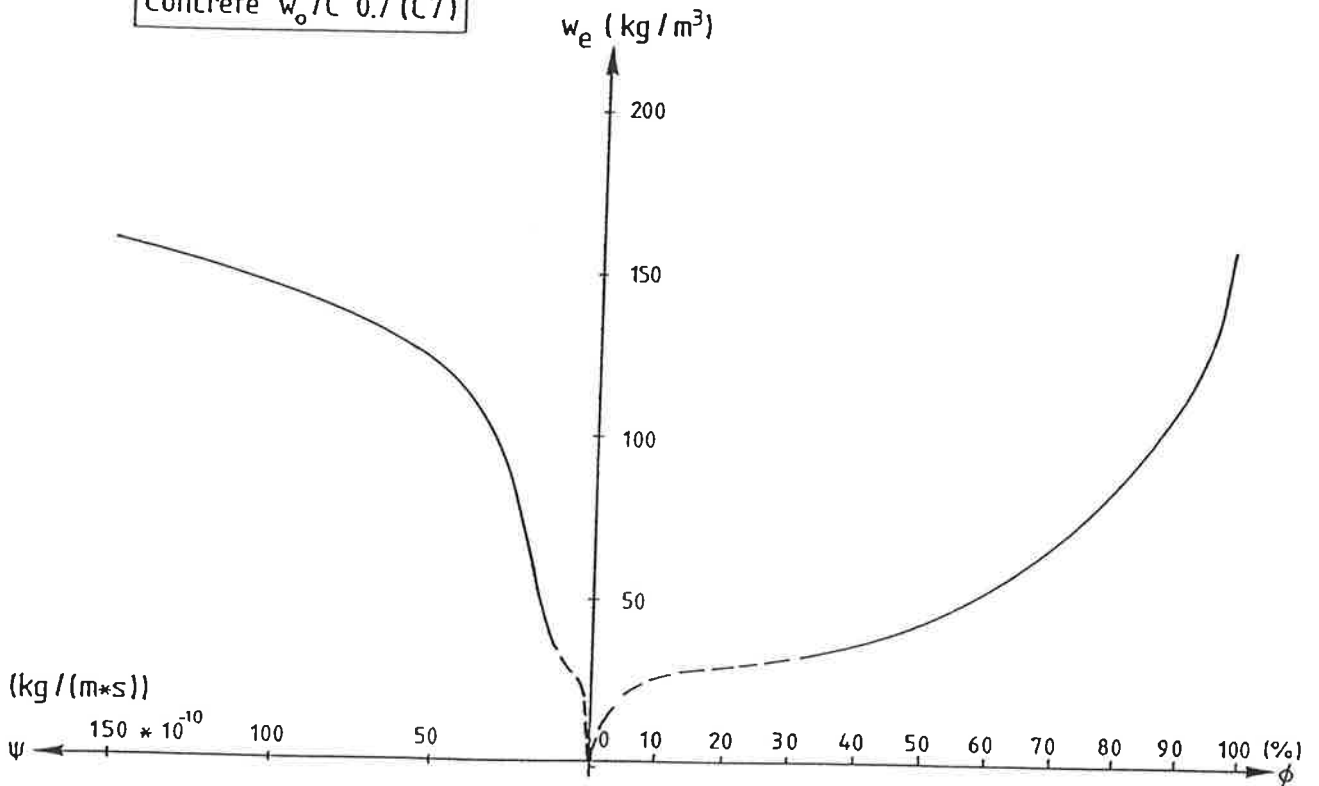
Concrete  $w_o/C$  0.5 (C5)



Concrete  $w_o/C$  0.6 (C6)

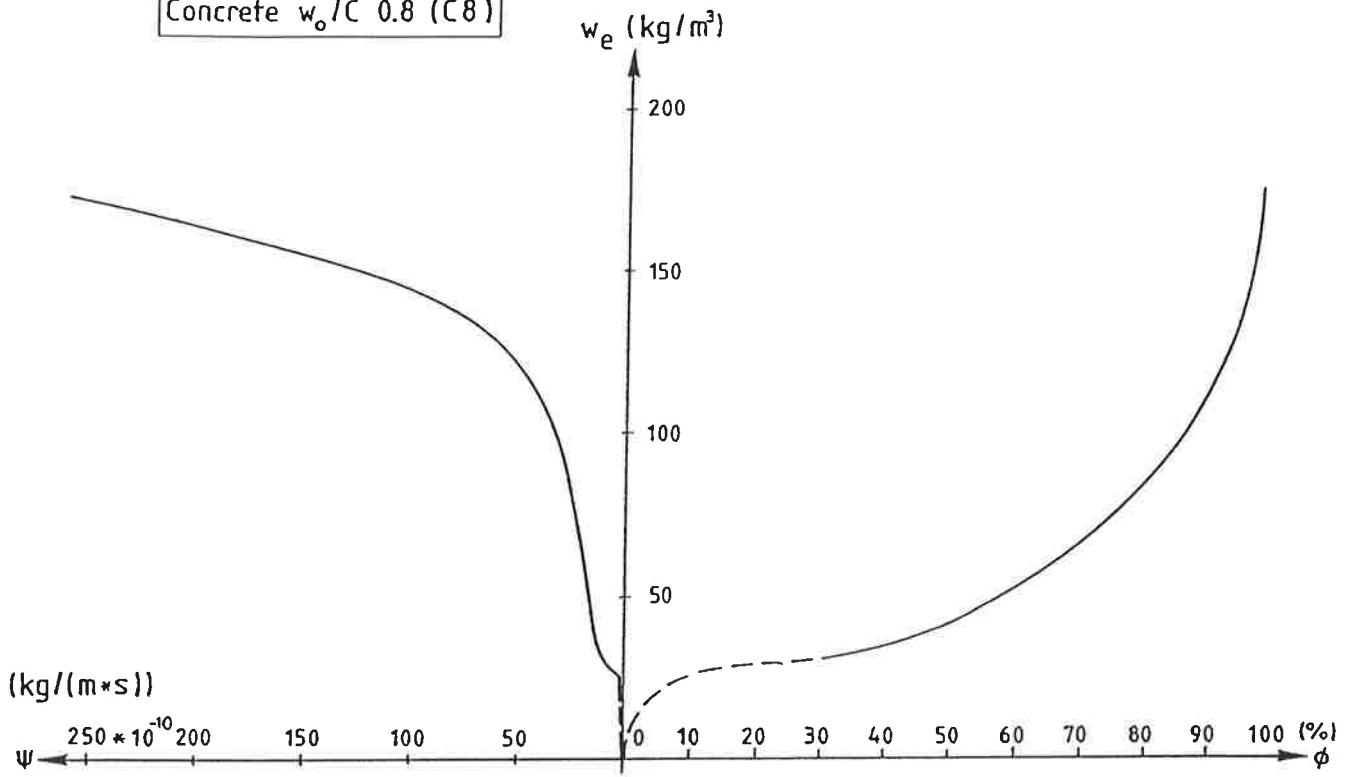


Concrete  $w_o/C$  0.7 (C7)





Concrete  $w_o/C$  0.8 (C8)



## REFERENSER

- 1 Hedenblad, G. 1993 Moisture Permeability of Mature Concrete, Cement Mortar and Cement Paste, LUTVDG/(TVBM-1014)/1-250/(1993), ISSN 0348-7911, Div. of Building Materials, Lund Institute of Technology / Lund University, Box 118, S-22100 Lund, Sweden.
- 2 Johansson, L., Sundbom, S. och Woltze K. 1989 Permeabilitet - Provning och inverkan på betongs beständighet, CBI rapport 2:89, Cement och Betong Institutet, 100 44 Stockholm, Sverige.
- 3 The Concrete Society, Permeability of Concrete and its Control, Papers for a one-day Conference, London 12 dec. 1985, Storbritanien.