



# LUND UNIVERSITY

## Inverkan av fukt på kloridtransport i betong : en idéskiss

Hedenblad, Göran

1994

[Link to publication](#)

*Citation for published version (APA):*

Hedenblad, G. (1994). *Inverkan av fukt på kloridtransport i betong : en idéskiss*. (Rapport TVBM (Intern 7000-rapport); Vol. 7084). 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

# **INVERKAN AV FUKT PÅ KLORIDTRANSPORT I BETONG - *en idéskiss***

**Göran Hedenblad**

**Rapport TVBM-7084**

---

**Lund, oktober 1994**

## INLEDNING

Fukt och kloridtransport i betong är troligtvis processer som kraftigt påverkar varandra, dvs för att korrekt beskriva klorid- eller fukttransport i betong som innehåller både fukt och klorider måste bägge processerna beräknas samtidigt.

Fukttransport i betong är relativt väl undersökt för "gammal" betong, se /1/.

Datorprogram för fukttransport i olika byggnadsmaterial finns framtagna för 1 och 2 "dimensioner" och dessutom finns flera specialprogram, se bl a /2/.

Kloridtransport kan troligtvis modelleras på ungefär samma sätt som fukttransport. Den kompetens som finns vid institutionen för Byggnadsteknik /LTH borde kunna utnyttjas för att på relativt kort tid ta fram endimensionella datorprogram för beräkning av samtidig fukt-och kloridtransport.

## FUKTTRANSPORT

Vid modellering av fukttransport i närvaro av salter (klorider) är troligtvis relativa fuktigheten (RF) den "riktiga" potentialen, som avgör åt vilket håll fukten går.

Vi har samband mellan Kirchhoff-potentialen (fundamentalpotentialen) och jämviktsfuktkurvor enligt FIG 1.

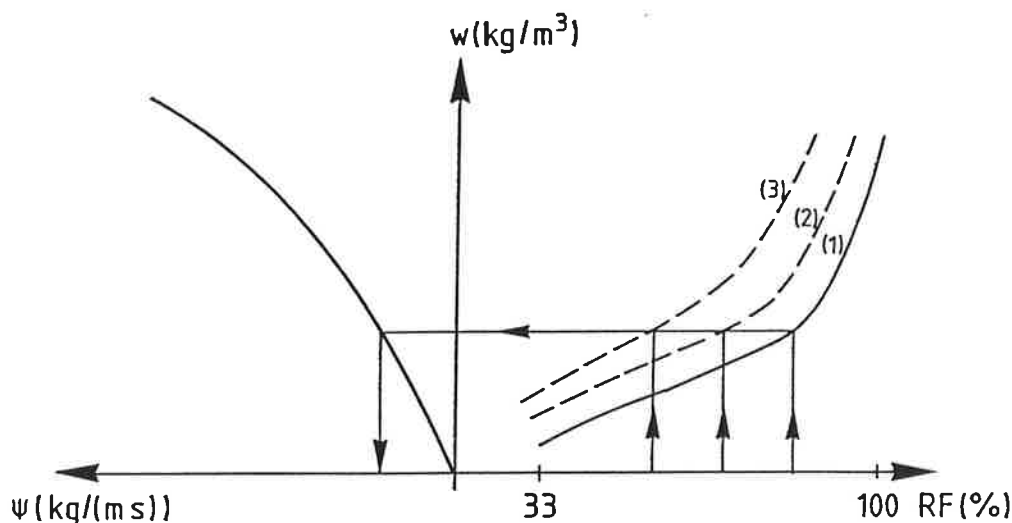


FIG 1. Samband mellan Kirchhoff-potentialen och jämviktsfuktkurvor då materialet innehåller salt, t ex klorider.

Jämviktsfuktkurva (1) är då materialet inte innehåller salter. Jämviktsfuktkurva (2) och (3) är när salter är närvarande. Kurva (3) gäller då materialet innehåller mer salt än i (2). Dvs med ändrad salthalt i porlösningen ändras jämviktsfuktkurvan. I FIG 1 är antaget att det är mängden vatten i materialets porsystem och inte RF-ändringen på grund av salt som påverkar fukttransportförmågan.

I FIG 1 framgår också att med salt i porlösningen flyttas hela jämviktsfuktkurvan med  $\Delta RF_{\text{salt}}$ , där  $\Delta RF_{\text{salt}}$  är skillnaden i RF vid mättnad för porlösning med och utan salt.

$$RF_{\text{salt}} = RF - \Delta RF_{\text{salt}} \quad (1)$$

Saltets inverkan på mättnads-RF kan beräknas enligt

$$\ln \phi_m = - \sum v_i m_i^\alpha \cdot M_w \cdot \Phi_i^\alpha \quad (2)$$

$\Phi_m$  mättnads-RF

$v_i$  antal joner per saltmolekyl

$m_i^\alpha$  molalitet (mol per kg lösningsmedel)

$\Phi_i^\alpha$  osmotisk koefficient (funktion av  $m_i^\alpha$ ) som framgår av Bilaga 3

Funktionen ovan tar inte hänsyn till trycket i porvätskan eller till trycket hos vattenångan i porluften i materialet. För atmosfärstryck är dessa parametrar av mindre intresse, för betongkonstruktioner med "större" vattentryck bör man ta hänsyn till detta senare tryck.

Förutom klorider kan man även vara tvungen att ta hänsyn till eventuellt alkalieinnehåll (NaOH och KOH) i betongen. RF i betongen påverkas även av dessa salter. För betong med Slite Std-cement och lågt vct kan man få stor inverkan på mättnads-RF. Troligtvis kan man i jämviktsfuktkurva (1) i FIG 1 inkludera alkalieffekten då man beräknar fuktransporten i betongen. För betong med vct 0.4 och Slite Std-cement är maximal RF (utan klorider) ca 95 %.

Ett exempel av inverkan av NaCl på mättnads-RF ges i FIG 2

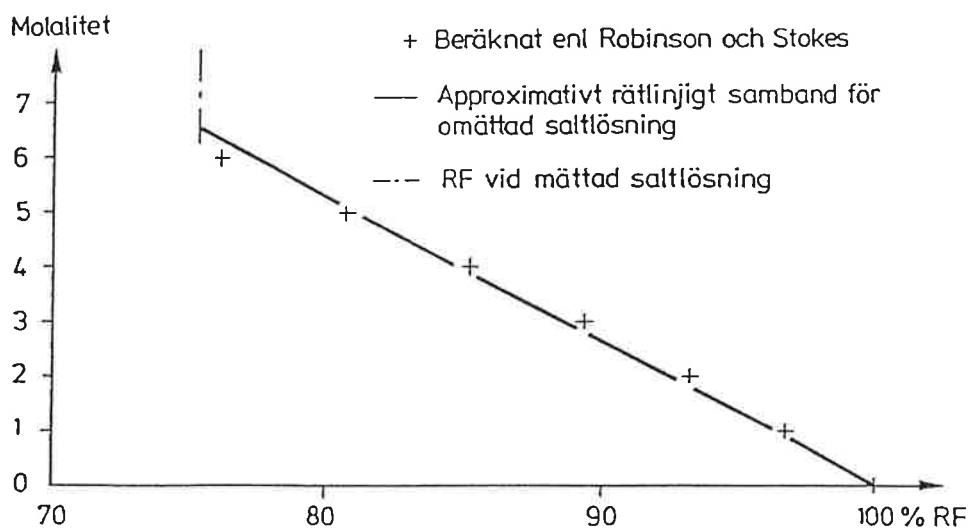


FIG 2 Samband mellan mättnads-RF och NaCl-koncentrationen i vatten.

Vid kombinerat förlopp av klorid och fuktransport påverkar både kloridinnehållet och fukthalten RF-nivån i betongen. RF-nivån påverkar å sin sida fuktransporten i en punkt, dvs om fuktransporten sker till eller från punkten. För varje nytt tidssteg i en beräkning får man utgå från föregående tidssteg och dess koncentrationer av fukt och klorider för att beräkna de nya koncentrationerna. Detta betyder att det inte finns "en" jämviktsfuktkurva utan "oändligt" många beroende på kloridinnehållet. Men troligtvis är detta relativt enkelt att modellera numeriskt i ett "konventionellt" datorprogram för fukt.

## KLORIDTRANSPORT

Klorid-och fukttransport i material har många likheter och kan modelleras på ungefär samma sätt.

Enligt data på den "effektiva kloriddiffusionen" som har erhållits av Sandberg /3/ så kan denna i princip vid vattenmättnad i betongen skivas

$$D_{Cl}^{kap} = K \cdot V_{kap}^2 \quad (3)$$

K är en konstant som beror på typ av cement mm.

$V_{kap}$  är kapillärporvolymen

För ordinär OPC betong är K ca  $2,5 \cdot 10^{-10}$  ( $m^2/s$ )

Evationen ovan visas i FIG 3 med mätvärden inlagda.

Kapillärporvolymen är beräknad med förutsättningen att hydratationsgraden är 0,7.

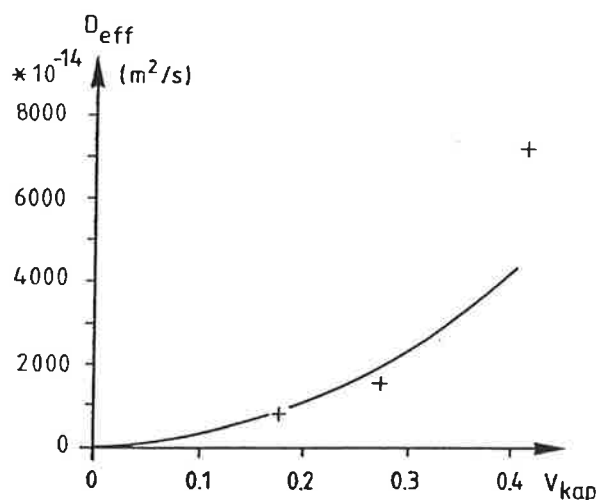


FIG 3 Effektiv diffusivitet (vid vattenmättnad) för klorider som funktion av kapillärporositeten.

Kapillärporositeten definieras av, se /4/

$$P_{kap} = (vct - 0.39\alpha) / (0.32 + vct)$$

vct är vattencementtalet

$\alpha$  är hydratationsgraden

Av ekv (4) framgår att hydratationsgraden har stor inverkan på kapillärporositeten och därmed på den effektiva kloriddiffusiviteten. Det betyder att den diffusivitet som erhålles vid mätningar på relativt ny betong inte kan användas för att modellera kloridtransporten i samma betong då denna betong har "åldrats".

Ovan angivna samband gäller då betongen är vattenmättad. Vid lägre fuktinnehåll i betongen transporteras kloriderna troligtvis inte lika lätt. Ett rimligt antagande är att kloriderna transporteras i vattenfasen i kapillärporvolymen och inte i luftfasen i denna

volym. Med detta antagande blir klorid-diffusiviteten beroende på fukthalten i materialet, dvs

$$D_{Cl} = D_{Cl}^{kap} \cdot (w - w_{45\%}) / (w_{kap} - w_{45\%}) \quad (5)$$

$w$  är fukthalten (kg vatten per  $m^3$  betong)

$w_{kap}$  är fukthalten vid kapillärmättnad

$w_{45\%}$  är fukthalten vid 45 % RF, dvs då kapillärporerna "precis" har blivit tömda på vatten.

I ovanstående uttryck ser vi att då  $w = w_{45\%}$  så sker ingen kloridtransport, detta är också fallet (i princip) enligt Sandberg /3/.

Ett exempel; Betong med vct 0,5, hydratationsgrad ( $\alpha$ ) 0,3 och 1,0

$P_{kap}(0,3) = (0,5 - 0,39 \cdot 0,3) / (0,32 + 0,5) = 0,467$  ;  $P_{kap}(1,0) = 0,134$  vilket medför att

$D_{Cl}^{kap}(0,3) / D_{Cl}^{kap}(0,8) = (0,467 / 0,134)^2 = 11,6$

Om dessutom i fallet ovan fukthalten efter lång tid ( $\alpha=1$ ) skulle bli mindre än fukthalten vid kapillärmättnad så framgår av ekv (4) och beräkningen ovan att kvoten  $D_{Cl} / D_{Cl}^{kap}$  skulle bli betydligt större än 11,6.

I ekvationerna ovan har förutsatts att  $D_{Cl}$  är oberoende av kloridkoncentrationen i porlösningen. Det kan dock vara så att "stora" mängder bunden klorid eller andra salter eller ämnen som binds till cementpastan kan "blockera" de minsta passagerna (porerna) i cementpastans kapillärporvolym. Detta skulle medföra att klorid-diffusiviteten skulle minska jämfört med sambanden ovan.

## KLORIDBINDNING

Kloridbindningen i betong beror dels på specifika ytan hos det hydratiserade cementet och dels på koncentrationen i porlösningen, vi kan skriva

$$Cl_{bundet} = K_1 \cdot 0,065 \cdot \alpha \cdot C + K_2 \cdot Cl_{lösning} \quad (6)$$

$K_1$  är en konstant som beror på typ av cement osv. Den beskriver hur mycket klorider som binds per ytenhet hydratiserad cementpasta oberoende av koncentrationen av klorider i porlösningen.

$0,065 \alpha C$  är "specifika ytan" hos cementet per  $m^3$  betong.

$K_2$  anger sambandet mellan hur mycket klorider som binds till porstrukturen då kloridkoncentrationen i lösningen ändras en enhet.

## KOMBINATIONSEFFEKTER AV FUKT OCH KLORID

### Ett exempel

Vid modellering kan man troligtvis utgå ifrån att betongen i konstruktionens inre har ett fuktillstånd som ungefär motsvarar att betongen har membranärdat. Det är då enkelt att beräkna fukthalten i denna del.

$$w_{\text{membran}} = w_o / C - 0,25 \cdot \alpha \cdot C \quad (7)$$

$w_{\text{membran}}$  är fukthalten vid membranhärdning (kg vatten per m<sup>3</sup> betong)

$w_o / C$  är vattencementtalet vid gjutningen

$C$  är cementhalten per m<sup>3</sup> betong (kg cement per m<sup>3</sup>)

I FIG 4 nedan visas hypotetiska RF- och kloridprofiler i betong dels innan klorider har kommit in i betongen och dels efter viss kloridexponering. Fuktinnehållet (fukthalten) är densamma i hela tvärsnittet.

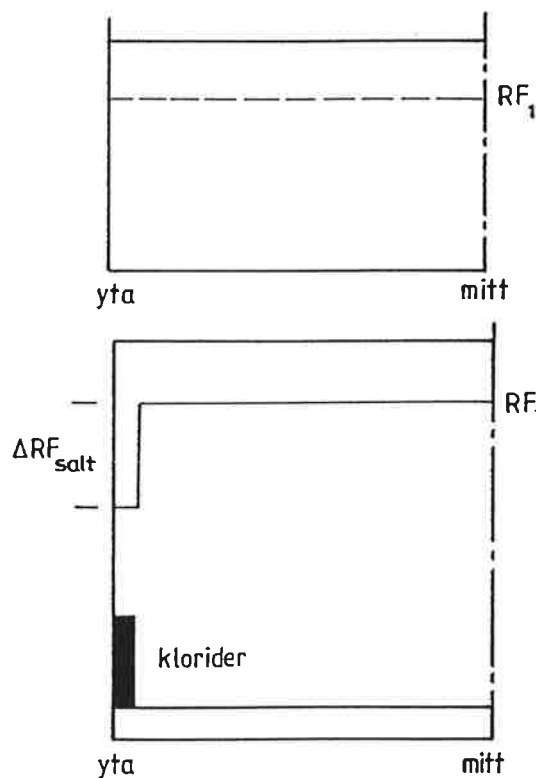


FIG 4 Hypotetiska RF- och kloridprofiler i betong, dels innan och dels efter viss kloridexponering. Betongen har samma fukthalt i hela tvärsnittet.

Kloridinnehållet i porvattnet sänker RF i de delar i vilka det finns klorider. Ju större kloridkoncentration ju större är RF-sänkningen. Betongen förseglas nu så att varken vatten eller klorider kan transporteras till eller från betongen. En omfördelning av fukt och klorider sker nu inom tvärsnittet så att fukt transporteras till delen med låg RF. Denna fukt späder ut kloridinnehållet samtidigt som det sker en kloriddiffusion in mot mitten av betongen, se FIG 5 nedan. Fuktransporten pågår till dess att RF är lika i hela

tvärsnittet. Dock är fukthalten inte lika eftersom jämviktsfuktkurvorna påverkas av kloridkoncentrationen i porlösningen. Fuktttransporten i betongen torde gå mycket fortare än kloridtransporten i densamma. Detta betyder att då RF-profilen är utjämnad i betongen så är inte kloridprofilen utjämnad. Allteftersom kloridprofilen utjämnas så ändras även RF och därmed sker en omlagring av fuktinnehållet i betongen. Då kloridprofilen är helt utjämnad så är även RF-profilen utjämnad, dock är RF lägre än innan kloriderna har kommit in i betongen. I beskrivningen ovan har inte diskuterats inverkan av hydratationen eller olika jämviktsfuktkurvor.

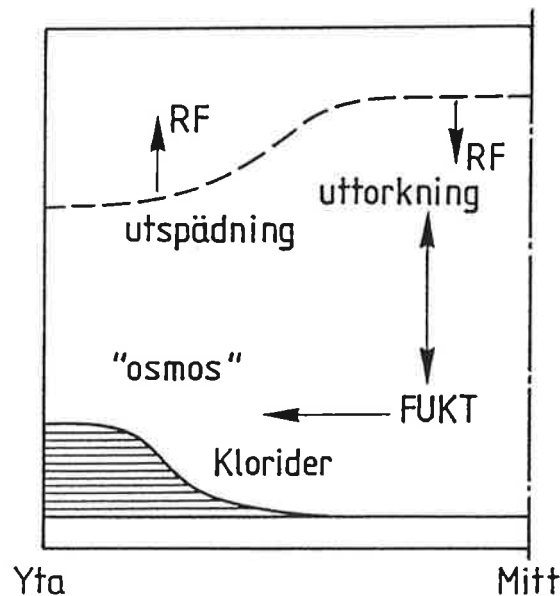


FIG 5 Klorid- och fuktrörelser i betongen i FIG 4.

Om betongen vattenmättad vid "kloridfronten" och vatten transporteras inifrån betongen kommer denna front att tryckas inåt eller utåt på grund av "volymökningen" hos kloridvattnet.

### PRELIMINÄRT BERÄKNINGSSCHEMA

- 1) ange temperaturen hos konstruktionen som funktion av tiden ( temperatur i betongen under härdningsskedet samt därefter omgivande temperatur.
- 2) ange vct samt ev klorid tillsats vid gjutningen
- 3) ange randvillkor för fukt (se tex jam-1 och jam-p) samt starttid för fuktbelastningen
- 4) ange randvillkor för kloridbelastning (kloridkoncentration, se i princip jam-1 och -p) samt starttid för kloridbelastningen.

### BERÄKNINGAR FÖR VARJE BERÄKNINGSCELL

Fuktberäkning utan salt

- 5) beräkna kapillärporositet som funktion av vct,  $\alpha$ , tid, temperatur och RF.
- 6) beräkna Kirchhoff- potentialen som funktion av RF, "grundpotential" och kapillärporositet, se Bilaga 1 och 2.
- 7) beräkna jämviktsfuktkurvan, se t ex Norling-Mjörnell /4/ sid 36-39.



### Kloridberäkning

- 8) Beräkna kapillärporositeten eller använd resultatet från 5).
- 9) beräkna  $D_C^{kap}$  som funktion av kapillärporositeten.
- 10) beräkna  $D_C$  enligt ekvation (5).
- 11) beräkna kloridinhåll i porvattnet.
- 12) beräkna bunden klorid

### Beräkning av fukt och klorider

- 13) beräkna  $\Delta RF_{salt}$
- 14) beräkna jämviktsfuktkurvan med hänsyn till kloridinhåll.
- 15) utför ett tidssteg i fuktberäkningen
- 16) utför ett tidssteg i kloridberäkningen.
- 17) börja om på 5)

Vid bestämning av kloridinhåll i porlösningen (gram/liter eller mol/liter) får man ta hänsyn till att fukthalten ändras och till att kloridinhållet ändras pga transport av klorider.

Temperaturens inverkan på hydratationsutveckling, Kirchhoff-potentialen och på  $D_C$  bör kunna modelleras med en Arrhenius-funktion där referenstemperaturen är +20 °C.

## BILAGA 1

Kirchhoff-potentialen för betong med vct 0,8 och en hydratationsgrad  $\alpha$  på ca 0,95, vilket ger en kapillärporositet på 0,38.

RF (%)	$\Psi$ (g/(m <sup>2</sup> dag))
35	0
50	0,046
60	0,071
65	0,083
70	0,099
75	0,115
80	0,139
84	0,165
86	0,182
88	0,203
90	0,231
91	0,249
92	0,288
93	0,329
94	0,389
95	0,448
96	0,812
97	1,213
98	1,666
98,5	2,227

Maximal RF är 96 % för vct 0,4; 97 % för vct 0,5; 97,6 % för vct 0,6; 98 % för vct 0,7. Dessa värden gäller då betongen är tillverkad med Slite Std-cement.

## BILAGA 2

Kirchhoff-potentialen ( $\Psi$ ) kan beräknas för andra kapillärporositeter än i Bilaga 1 angiven kapillärporositet. De kapillärporositeter som ligger till grund för sambanden nedan är framtagna för betonger med vct 0.4, 0.5, 0.6, 0.7 med ungefärlig hydratationsgrad på ca 0.95.

$$\begin{array}{c} RF=35-90\% \\ \Psi = \Psi(RF, P_{kap}=0,38) \cdot (P_{kap}/0,38)^{0,17} \end{array}$$

$$\begin{array}{c} RF=91-95\% \\ \Psi = \Psi(RF, P_{kap}=0,38) \cdot (P_{kap}/0,38)^{0,25} \end{array}$$

$$\begin{array}{c} RF=96\% \\ \Psi = \Psi(RF, P_{kap}=0,38) \cdot (P_{kap}/0,38)^{0,7} \end{array}$$

$$\begin{array}{c} RF=97\% \\ \Psi = \Psi(RF, P_{kap}=0,38) \cdot (P_{kap}/0,38) \end{array}$$

RF i  $\Psi(RF, P_{kap})$  är de olika RF-nivåerna som anges i första kolumnen i Bilaga 1.

Bilaga 1. Osmotiska koefficienter  $\phi^\alpha$  för omättade lösningar vid +25°C.

Molalitet $m^\alpha$	NaOH	KOH	KCl	NaCl	MgCl <sub>2</sub>	CaCl <sub>2</sub>	Na <sub>2</sub> SO <sub>2</sub>	K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>
0.1	0.925	0.944	0.927	0.932	0.861	0.854	0.793	0.779
0.2	0.925	0.936	0.913	0.925	0.877	0.862	0.753	0.742
0.3	0.929	0.938	0.906	0.922	0.895	0.876	0.725	0.721
0.4	0.933	0.944	0.902	0.920	0.919	0.894	0.705	0.703
0.5	0.937	0.953	0.899	0.921	0.947	0.917	0.690	0.691
0.6	0.941	0.962	0.898	0.923	0.976	0.940	0.678	0.679
0.7	0.945	0.972	0.897	0.926	1.004	0.963	0.667	0.670
0.8	0.949	0.983	0.897	0.929	1.036	0.988	0.658	-
0.9	0.953	0.993	0.897	0.932	1.071	1.017	0.650	-
1.0	0.958	1.003	0.897	0.936	1.108	1.046	0.642	-
1.2	0.969	1.026	0.899	0.943	1.184	1.107	0.631	-
1.4	0.980	1.051	0.901	0.951	1.264	1.171	0.625	-
1.6	0.991	1.076	0.904	0.962	1.347	1.237	0.621	-
1.8	1.002	1.100	0.908	0.972	1.434	1.305	0.620	-
2.0	1.015	1.125	0.912	0.983	1.523	1.376	0.621	-
2.5	1.054	1.183	0.924	1.013	1.762	1.568	0.635	-
3.0	1.094	1.248	0.937	1.045	2.010	1.779	0.661	-
3.5	1.139	1.317	0.950	1.080	2.264	1.981	0.696	-
4.0	1.195	1.387	0.965	1.116	2.521	2.182	0.740	-
4.5	1.255	1.459	0.980	1.153	2.783	2.383	-	-
5.0	1.314	1.524	-	1.192	3.048	2.574	-	-
5.5	1.374	1.594	-	1.231	-	2.743	-	-
6.0	1.434	1.661	-	1.271	-	2.891	-	-

De osmotiska koefficienterna är tagna från Robinson and Stokes, 1955, Electrolyte Solutions (Butterworth, London). Appendix 8.10, som innehåller många fler elektrolyter.

## REFERENSER

1. Hedenblad, G. 1993. Moisture Permeability of Mature Concrete, Cement Mortar and Cement Paste, LUTVDG/(TVBM-1014)/1-250/(1993), ISSN 0348-7911, avd Byggnadsmaterial, Lunds Tekniska Högskola, Box 118, S-221 00 Lund.
2. Arfvidsson, J. 1989. Datormodeller för fukttransport i porösa material, Manual för endimensionellt fall; JAM-1. CODEN LUTVDG (TVBH-7108)/1-35/(1988), avd Byggnadsfysik, Lunds Tekniska Högskola, Box 118, S-221 00 Lund.
3. Sandberg, P. Personlig kommunikation.
4. Norling-Mjörnell, K. 1994. Self-Desiccation in Concrete, Publikation P-94:2, ISSN-0280-7262 Institutionen för Byggnadsmaterial, Chalmers Tekniska Högskola, S-412 96 GÖTEBORG.