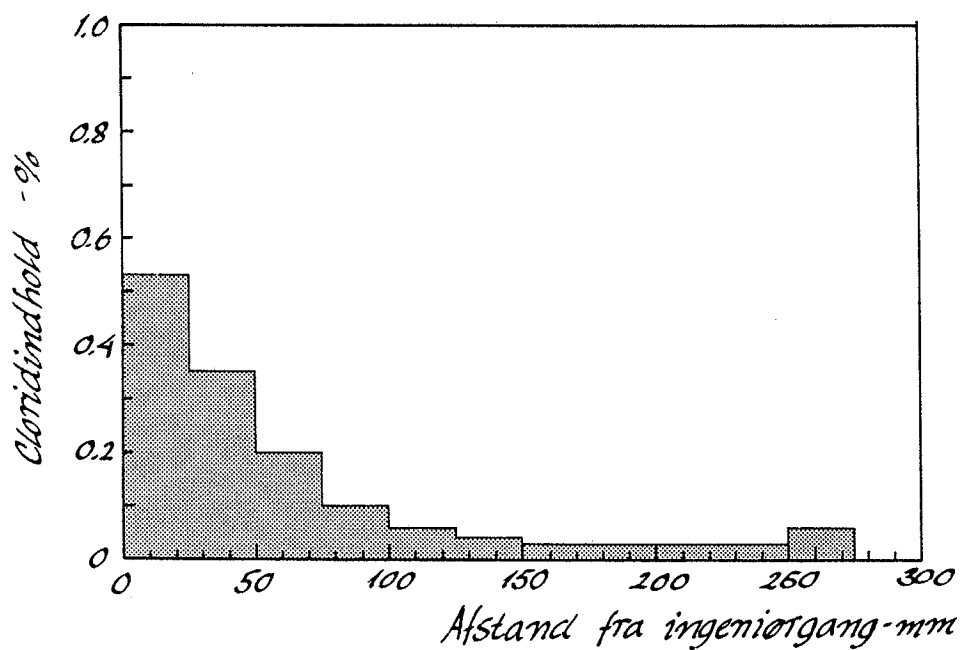




CHLORIDOPHOBNING I SVØMMEBASSINVÆGGE AF BETON

ANDERS NIELSEN
MERETE HJORTH RASMUSSEN

LABORATORIET FOR BYGNINGSMATERIALER
DANMARKS TEKNISKE HØJSKOLE

CHLORIDOPHOBNING I
SVØMMEBASSINVÆGGE AF BETON

Anders Nielsen
Laboratoriet for Bygningsmaterialer, DTH

Merete Hjorth Rasmussen
Cowiconsult A/S

Juni 1987

Anders Nielsen
Merete Hjorth Rasmussen
Chloridophobning i
svømmebassinvægge af beton
Laboratoriet for Bygningsmaterialer
Danmarks Tekniske Højskole
Teknisk Rapport 175/87
August 1988

Stikord

Betonskader, armeringskorrosion
chloriddiffusion, fugtdiffusion

Resume

I rapporten refereres målinger af fugt- og chloridprofiler i et antal svømmebassinvægge af beton. Fugtstrømmen gennem væggen vurderes med chlorid som sporstof. Der opstilles et edb-program til beregning af chloridprofilens udvikling.

FORORD

Den foreliggende rapport er inspireret af Dansk Svømmebadsteknisk Forenings undersøgelse 1984-1987 om betonsvømmebassiners holdbarhed.

Anders Nielsen har udformet afsnittene om beregning af vandstrømning og fugttransportkoefficient. Merete Hjorth Rasmussen har udarbejdet edb-programmet til beregning af chloridprofilets udvikling.

Rapporten er blevet til i et samarbejde mellem det rådgivende ingeniørfirma Cowiconsult A/S og Laboratoriet for Bygningmaterialer (LBM). Emnet chloridtransport og betontæthed er meget stort. Tiden til at skrive den foreliggende rapport har været meget kort. Vi har derfor valgt at udsende de foreliggende resultater med en kort tekst, således at andre interesserede forholdsvis hurtigt kan komme til at arbejde med ideerne og tallene. Resultaterne er i første omgang blevet anvendt i rapporten for svømmebadsprojektets fase 2.

Undersøgelserne indgår i LBM's FTU-projekt "Fugt i byggematerialer", finansieret af Statens teknisk-videnskabelige Forskningsråd (J.nr. 5.17.3.6.13).

Anders Nielsen

INDHOLDSFORTEGNELSE

	Side
SAMMENFATNING	5
BAGGRUND OG FORMÅL	6
MÅLERESULTATER	6
DISKUSSION AF MÅLERESULTATERNE	14
VANDGENNEMSTRØMNINGEN	15
EDB-BEREGNINGSMODEL	18
BRUGERVEJLEDNING TIL PROGRAMMET	26
KONKLUSIONER	28
LITTERATUR	28
BILAG 1 Beregningsresultater fra kørsler, Greve kærne 5	29

SAMMENFATNING

Ved en undersøgelse af fem betonsvømmebassiners tilstand er der fra ingeniørgangen omkring bassinerne udtaget 14 borekærner. På borekærnerne er der målt fugt- og chloridfordeling. Arbejdet med målingerne har givet følgende resultater.

Chlorider ophobes ud mod ingeniørgangen. Ophobningen er størst i de dårlige betonkvaliteter, omkring revner og ved dårlig armeringsomstøbning. Der er ikke ophobet chlorid i de bedste betonvægge uden revner.

Den totale chloridmængde i væggen anvendes som "sporstof" til at vurdere den gennemstrømmende vandmængde. Ved passende forudsætninger kan fugttransportkoefficienter herefter vurderes. De diffusionskoefficienter, der således fremtages, er 10 à 100 gange større end de oftest anvendte tabelværdier.

Der er opstillet et edb-program, der under antagelse af værdier for fugt- og chloriddiffusionskoefficienterne og chloridkoncentrationen i bassinvandet kan modellere chloridprofilens udseende. Programmet kan anvendes til at ekstrapolere chloridophobningen i væggen, hvilket har værdi ved vurderingen af risikoen for armeringskorrosion.

BAGGRUND OG FORMÅL

Dansk Svømmebadsteknisk Forening har i årene 1984-1987 ladet udføre en omfattende undersøgelse af betonsvømmebassiners holdbarhedsmæssige tilstand. Som et led i denne undersøgelses fase 2 er der i september 1985 og april til juni 1986 blevet udtaget borekærner i fem særligt udvalgte bassiner. På borekærnerne er bl.a. målt chlorid- og fugtprofiler. Chloridmålingerne viser, at der i mange tilfælde ophobes chlorider i betonen på ingeniørgangssiden.

Formålet med denne rapport er at diskutere de opnåede resultater ud fra en betonteknologisk synsvinkel og at præsentere et beregningsværktøj til modellering af de opmålte chloridprofiler til anvendelse på en forudsigelse af, hvorledes chloridindholdet vil udvikles, hvis der ikke foretages tætninger eller reparationer.

MÅLERESULTATER

De undersøgte haller, udtagningsstedernes placering og diverse oplysninger er vist i tabel 1.

Resultaterne af fugt- og chloridmålingerne er vist på figur 1 til figur 5.

Årsagen til, at der ikke overalt er foretaget sammenhørende Cl^- - og fugtmålinger, er, at der oprindeligt var planlagt målinger af de to parametre på separate kærner. Da Cl^- -transporten viste sig særlig interessant, blev der senere målt Cl^- -profiler på en del af de borekærner, hvor der i forvejen var målt fugt. (Derimod kunne det ikke lade sig gøre at måle fugt, hvor der i forvejen var målt Cl^- .)

Cl^- er målt som totalt Cl^- -indhold, jf. DS 423-28 og TI-B9 som beskrevet i rapporterne /7,8,9,10/.

De målte fugtparametre er vandtørstofforholdet, u, vakuumvandmætningsgrad, S_{vac} , og relativ luftfugtighed i porerne, RF. I figur 1-5 er kun S_{vac} og RF vist. (u siger ikke noget om, hvor meget vand betonen ville kunne indeholde. Desuden har u relativt stor variationskoefficient.) Målemetoderne er beskrevet i rapporterne /2-11/. Alle måleresultater er tabelleret i /14/.

Der er desuden målt kapillært opsuget vand ved en metode udarbejdet af Thorsen /11/.

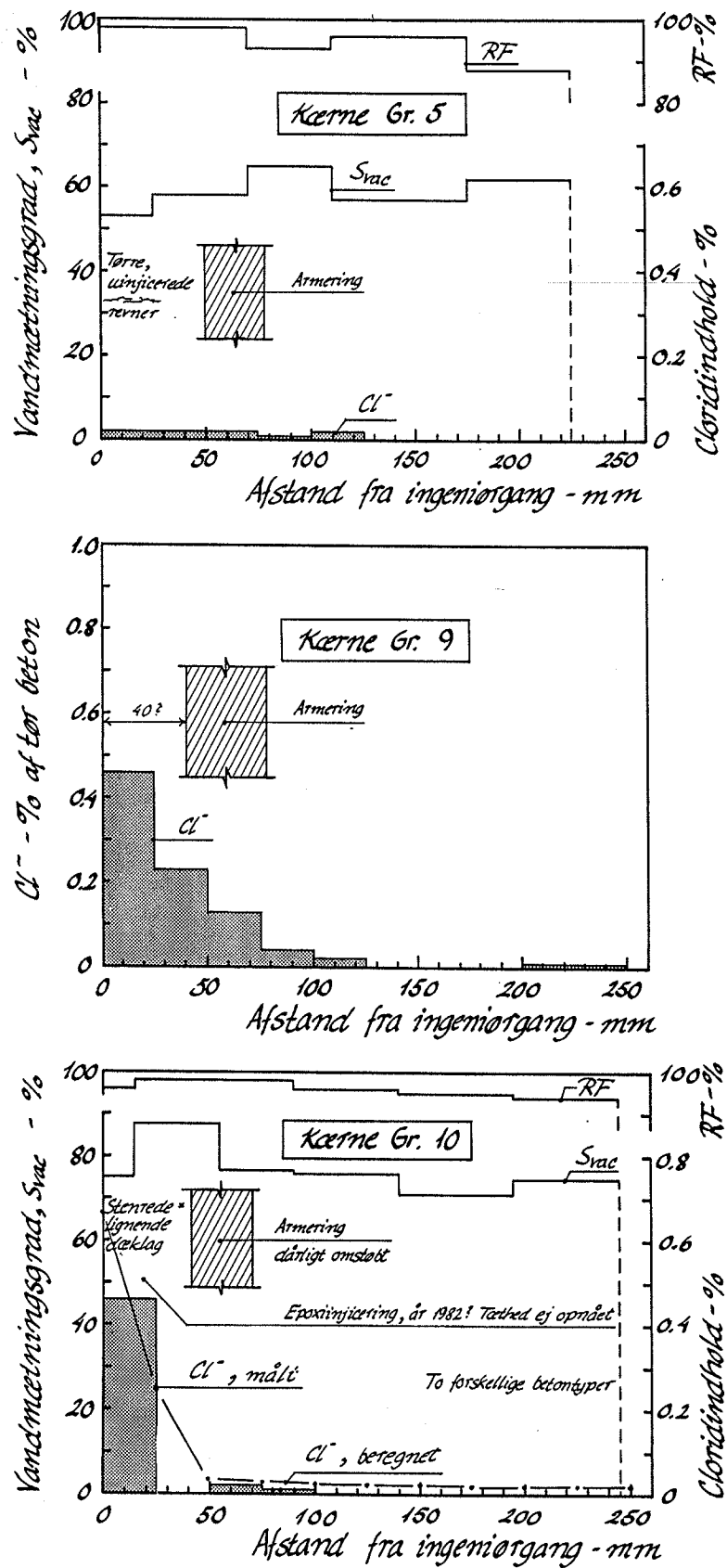
I figur 1-5 er vist placeringen af armeringsjern og anført de iagttagelser om armeringskorrosion, revner og huller m.v., som blev gjort ved borekærneudtagning /3,4,5,6/. Disse oplysninger er af pladshensyn skrevet ind i diagrammerne.

NaCl-koncentrationen i bassinvandet var til at begynde med ved alle haller 0,9%. Efter Svømmebadsteknisk Forenings møde i Odense i 1984, hvor chloridernes farlighed blev behandlet, blev NaCl-koncentrationen sat ned til 0,6%.

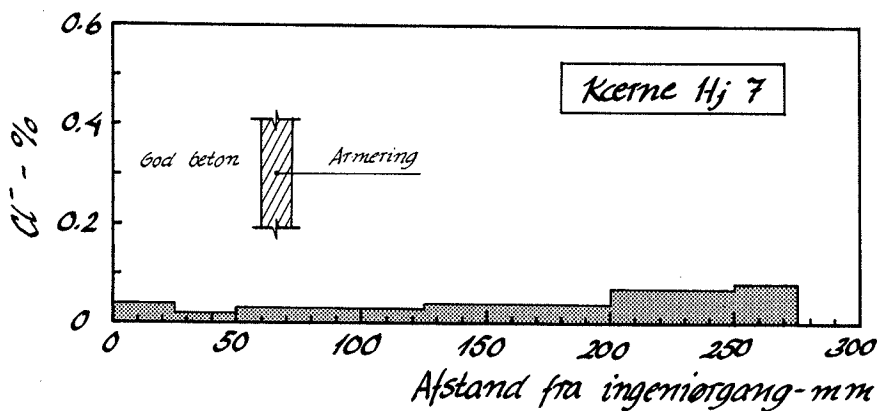
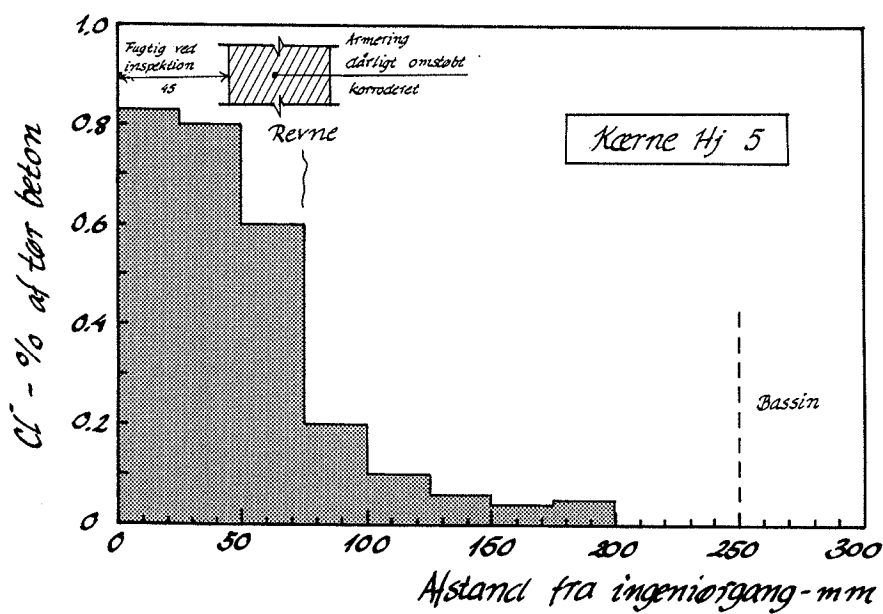
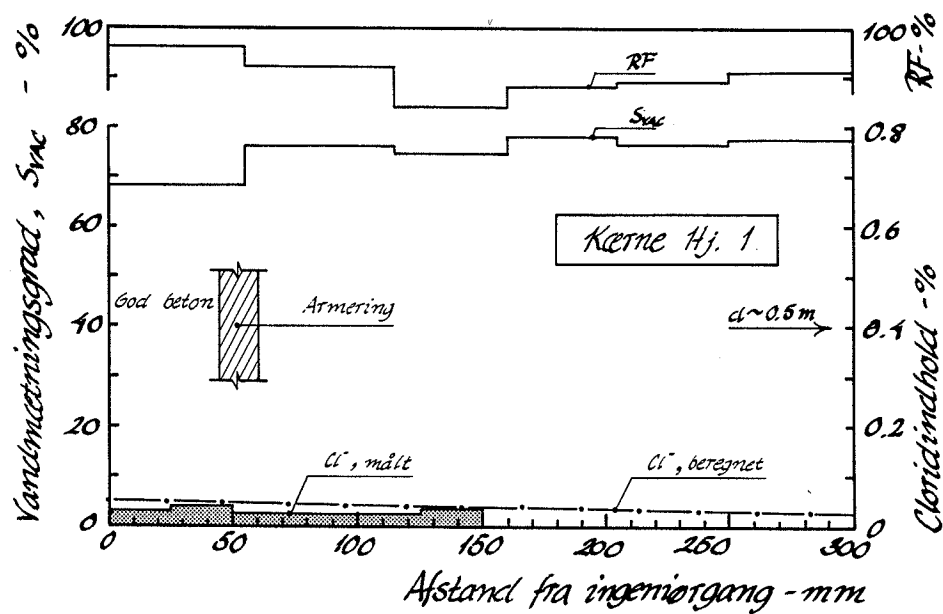
TABEL 1. Oversigt over haller, kærneumre m.v.

Hal	Byggeår Vand på Kærneboring	Kærne nr.	Våd- densitet	Tør- densitet	Væg- tykkelse d, mm	Måling Fugt/Cl ⁻	
Greve	1977-78	Gr 5	2200	2109	350	+	+
	Jan.78	Gr 9			350	-	+
	Maj 1986	Gr10	2297	2181	350	+	+
Hjorte- spring	1973	Hj 1	2162	2035	500-350	+	+
	Medio 74	Hj 5			250	-	+
	April 86	Hj 7			500-350	-	+
Pilehave- skolen	1970	Pi 2	2181	2043	*)	+	+
	Medio 71	Pi 5	2254	2128	350	+	+
	Maj 1986	Pi 6			240	-	+
Åbybro	1973	Åb 1			250	-	+
	Medio 74	Åb 4	2109	2020	450	+	+
	Juni 1986	Åb 6			100	-	+
		Åb12	2012	1925	200	+	+
Hørsholm	1978 Medio 79 Sept.1985	Hø 7			275	-	+

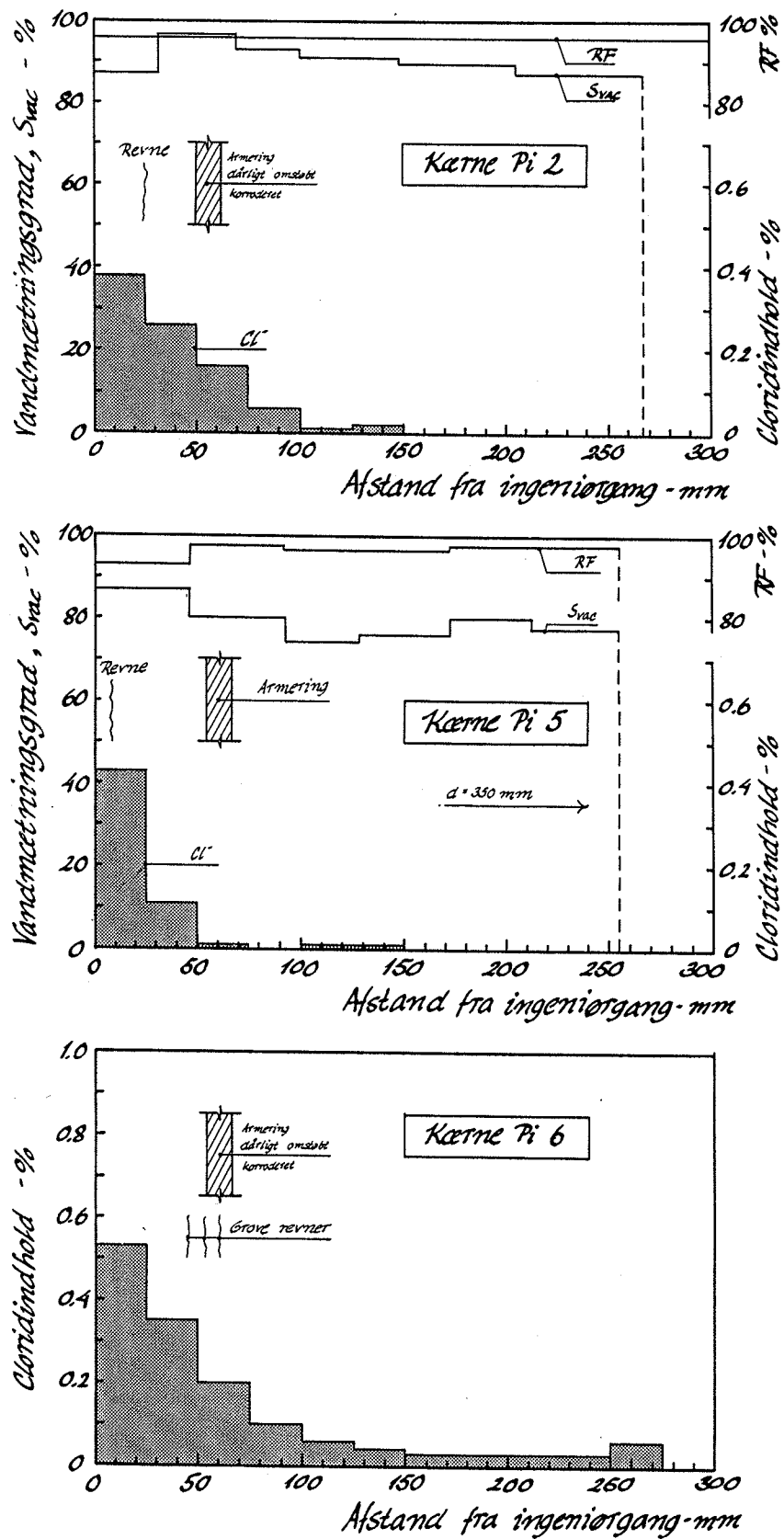
*) Kærnen er 265 mm



Figur 1. Resultater fra Greve Svømmehal. Alder ved måling ca. 8 år.

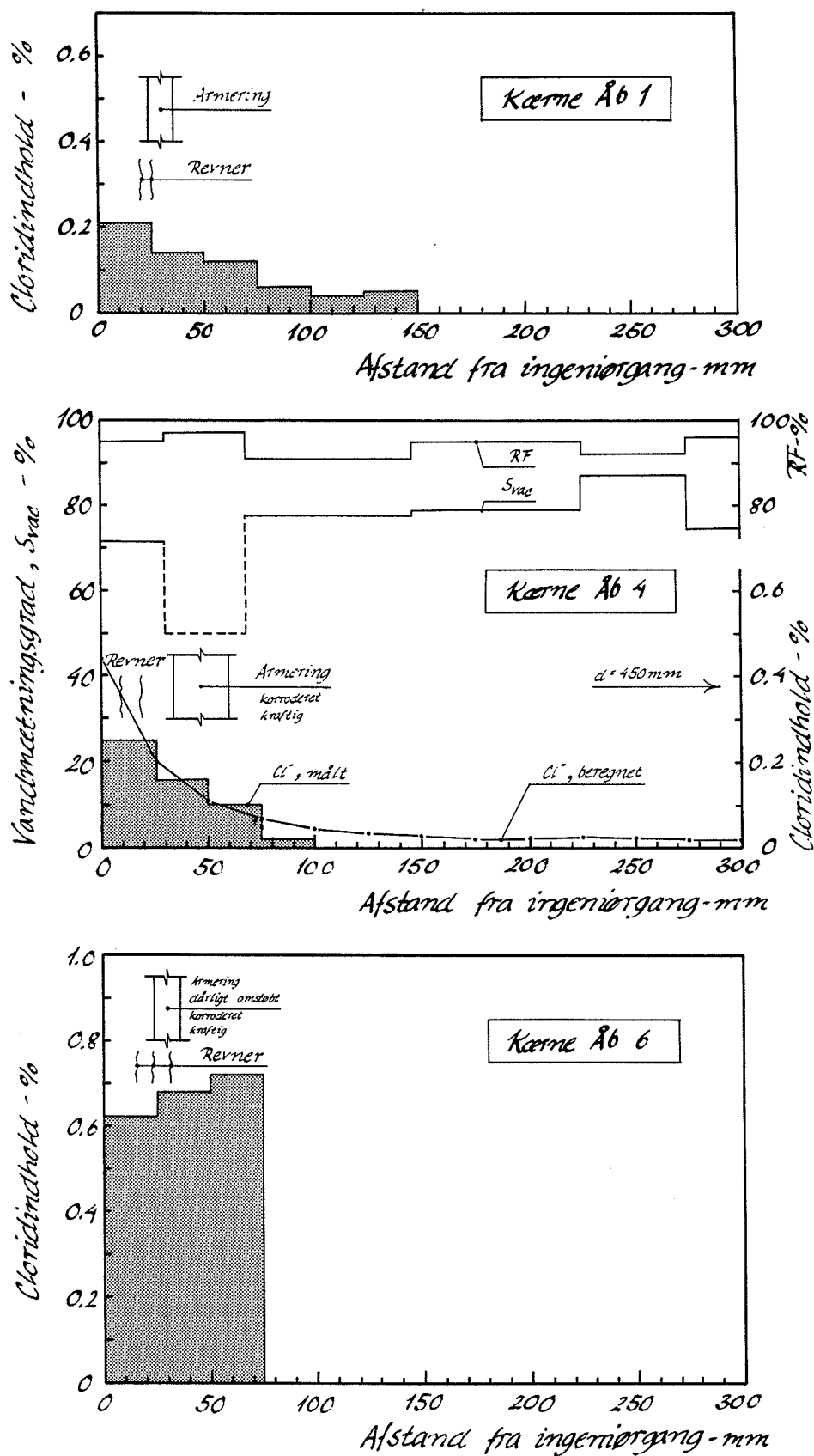


Figur 2. Resultater fra Hjortespringbadet. Alder ved måling ca. 12 år.



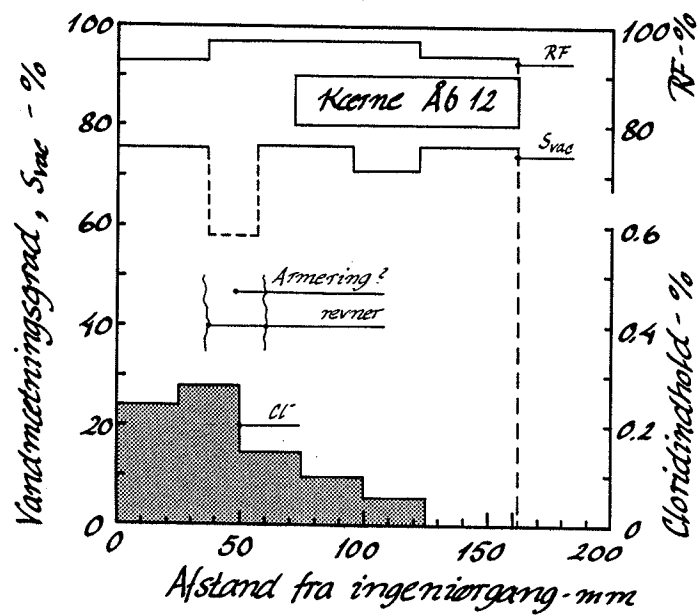
Figur 3.

Resultater fra Pilehaveskolens Svømmehal. Alder ved måling ca. 15 år.



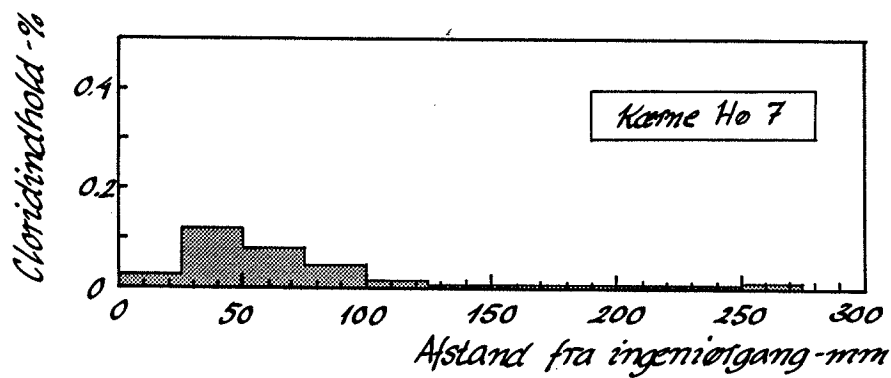
Figur 4.

Resultater fra Åbybro Svømmehal. Alder ved måling ca. 12 år.
(fortsættes)



Figur 4.

(fortsat) Resultater fra Åbybro Svømmehal. Alder ved måling ca. 12 år.



Figur 5.

Resultat fra Hørsholm Svømmehal. Alder ved måling ca. 7 år.

DISKUSSION AF MÅLERESULTATERNE

Det antages her, at chloridioner kan flyttes i betonen ved to mekanismer, ved diffusion og ved at være opløst i strømmende vand.

Diffusionsmekanismen skyldes forskelle i Cl^- -koncentrationen fra sted til sted.

Chloridionerne kan også flyttes ved det strømmende vand i betonens porer og revner. Denne mekanisme er naturligvis mest fremherskende, hvor der er revner og huller i betonen.

Begge mekanismer antages at kunne foregå samtidig. Koncentrationsprofilerne bestemmes af strømningstiden, chloridkoncentrationen i bassinet, temperaturen og betonkvaliteten, specielt forekomsten af huller og revner.

Betragtes figur 1-5, ses det, at der forekommer to typer profiler, højtliggende kurver med store koncentrationer mod ingeniørgangen og meget flade kurver med små koncentrationer.

Den første type omfatter kærnerne Gr 9 og 10 (figur 1), Hj 5 (figur 2), Pi 2, 5 og 6 (figur 3), Åb 1, 4, 6 og 12 (figur 4) og Hø 7 (figur 5). Koncentrationsprofilen antages at opstå ved, at chloridholdigt vand strømmer gennem betonen ud mod ingeniørgangen. Vandet fordampes her fra overfladen af betonen, medens chloridionerne bliver tilbage i betonen. Efterhånden som Cl^- -koncentrationen stiger ved overfladen, afsættes der også chlorider længere ind i betonen bestemt ved ionernes diffusion.

Vandstrømning foregår meget langsomt i gelporerne, d.v.s. porer med radier mindre end 2 nm. Strømningen får først betydning, hvis der forekommer sammenhængende kapillarporer eller grovere huller i form af revner og støbefejl. Kapillarporer har radier større end 2 nm (jf. /1/ Tabel 3.1-1). Til sammenligning skal nævnes, at Cl^- -ioner har radius 0,18 nm, og H_2O har en radius på ca. 0,06 nm. Porer med radier på 2 nm vil være vandfyldte, hvis RF er større end 60%, hvilket er tilfældet i alle de målinger, der er rapporteret i figur 1-5. Chloridholdigt vand vil således kunne strømme i den kontinuerlige kapillarporøsitet, hvis der er en trykgradient. Gradienten kan opstå som vandtrykket fra bassinet, som kan få vandet til at strømme i grove porer og revner, eller som hydraulisk undertryk (jf. /1/ s. 176 ff), som kan drive vandet gennem de mindre porer.

Den profil, hvor der er afsat mest Cl^- pr. år findes i kerne Hj 5 vist på figur 2. Resultatet står i skarp kontrast til de to andre resultater på figur 2 fra samme hal. Det skyldes antagelig, at man ved kerne Hj 5 har et sted, hvor armeringen er dårligt omstøbt. Der findes revner parallelt med overfladen. Den høje Cl^- -koncentration skyldes antagelig, at bassinvand er strømmet til langs revnerne ved armeringen og videre ud i dæklaget.

Også kerne Gr 10, figur 1, og Åb 6, figur 4, viser profiler med diskontinuerlige spring, som kan tilskrives grove revner i betonen.

De flade profiler med lav koncentration er Gr 5, figur 1, og Hj 1 og 7 på figur 2. Der er i alle tre tilfælde tale om steder, hvor betonen har været god og sund. Betonens v/c er andetsteds målt til 0,4 à 0,5, hvilket betyder, at cementpastaen ifølge Powers er uden kontinuert kapillarporøsitet. Disse resultater peger på, at man ved omhyggelig udførelse af betonarbejdet, hvor huller og revner og andre grove fejl undgås, kan få en væg, hvor chloridophobningen er meget lav.

Af figur 1-5 fremgår det, at de laveste målte værdier er 0,01 à 0,02 vægtprocent Cl^- . Dette kan vises at svare til den mængde Cl^- , som indeholdes i betonens porer, hvis disse er mættet med bassin vand med de ovenfor oplyste NaCl-koncentrationer, 0,9% og 0,6%.

I de ældste bade og de længste borekærner, d.v.s. Hjortespringbadet, kerne Hj 7, figur 2, og Pilehaveskolen, kerne Pi 6, figur 3, ses en stigning i koncentrationerne ind mod bassinet. Det kan ifølge en vurdering af Niels Thaulow (Idorn Consult) skyldes, at chloriderne bindes kemisk til cementpastaen. Herved fjernes de fra vandopløsningen, men vil stadig være til stede i betonen, hvor de måles med i bestemmelsen af det totale Cl^- -indhold. Denne iagttagelse er ikke bygget ind i det i det følgende beskrevne regneprogram.

VANDGENNEMSTRØMNINGEN

Den samlede mængde Cl^- , som er målt i betonen, kan anvendes til at vurdere, hvor meget vand der totalt er strømmet igennem væggen i bassinets levetid på det sted, hvor kernen er taget ud. Man bruger så at sige Cl^- som sporstof for vandet.

Hvis man antager, at vandstrømmen har været konstant i bassinets levetid, kan man beregne vandstrømmen pr. tidsenhed. Antages en gradient, enten i vandtryk eller i vandindhold, kan fugttransportparameteren for den pågældende beton beregnes. Herved har man mulighed for at måle fugtparametre for beton i praktiske konstruktioner. Nedenfor opstilles en sådan beregningsmetode.

Parametervurderingen er behæftet med nogen usikkerhed. Det skyldes antagelsen om, at vandstrømmen har været konstant, og antagelserne om den drivende gradient. Dette må imidlertid ikke afholde en fra at få et skøn på betonkvaliteten med denne metode.

Den årligt gennemstrømmende vandmængde pr. m^2 kaldes q . Man må tage hensyn til, at saltkoncentrationen i vandet ikke er konstant. Det antal år, hvor chloridkoncentrationen i badevandet er $[\text{Cl}^-]_1$, henholdsvis $[\text{Cl}^-]_2$ kaldes t_1 , henholdsvis t_2 . Den mængde chlorid, som vandstrømmen q transporterer ind i væggen pr. m^2 , er da

$$(1) \quad C = q(t_1[\text{Cl}^-]_1 + t_2[\text{Cl}^-]_2) = q \cdot T$$

Den transporterede chloridmængde kan bestemmes fra målingerne af chloridkoncentrationerne, c , i vægtprocent af den tørre beton. Chloriderne er målt på skiver med tykkelse x . Betondensiteten kaldes ρ_b . For n skiver har man

$$(2) \quad C = \sum_{i=1}^n c_i \cdot x_i \cdot \rho_i$$

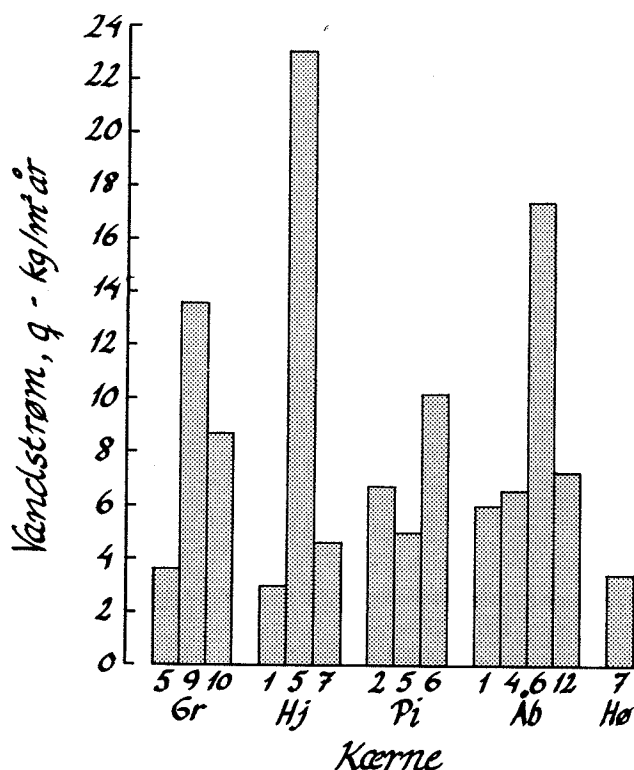
Sættes (1) lig med (2), kan q bestemmes

$$(3) \quad q = \frac{\sum_{i=1}^n c_i \cdot x_i \cdot \rho_i}{t_1[Cl^-]_1 + t_2[Cl^-]_2}$$

I tabel 2 er vist beregning af vandstrøm ud fra chloridindhold for alle kærner. Resultaterne er tegnet op i stolpediagram på figur 6.

Kendes vandindholdsgradienten $\Delta w / \Delta x$ et sted i væggen, kan fugttransportparameteren D_w (m^2/s) bestemmes af (4), idet t er omregningsfaktoren fra år til sekund.

$$(4) \quad D_w = \frac{q \cdot \Delta x}{t \cdot \Delta w}$$



Figur 6.

Vandstrøm gennem bassinvæggene beregnet på basis af chloridtransporten.

Tabel 2. Beregning af vandstrøm ud fra chloridindhold.

Kærne nr.	Vand på årstal	t _{0,9} [år]	t _{0,6} [år]	T [år]	Densitet ρ [kg/m ³]	Væg- tykkelse d [m]	Cl ⁻ -målt længde x _f [m]	Chloridindhold			Vandstrøm q = C·T	
								Målt ΣC _i ·0,025·ρ [kg/m ²]	Skøn 0,02·10 ⁻² · (d-x _f)ρ [kg/m ²]	I alt C [kg/m ²]	[kg/m ² ·år]	[kg/m ² ·s]
Gr 5	pr. 1978	6,5	2	0,043	2109	0,350	0,125	0,0580	0,095	0,153	3,6	1,1×10 ⁻¹¹
Gr 9					~ 2200	0,350	0,125	0,490		0,589	13,7	4,3×10 ⁻¹¹
Gr 10					2181	0,350	0,100	0,267		0,376	8,7	2,8×10 ⁻¹¹
Hj 1	m. 1974	10	2	0,062	2035	0,350	0,150	0,102	0,081	0,183	3,0	0,9×10 ⁻¹¹
Hj 5					2067	0,250	0,200	1,406	0,020	1,426	23,0	7,3×10 ⁻¹¹
Hj 7					~ 2050	0,350	0,275	0,251	0,031	0,282	4,5	1,4×10 ⁻¹¹
Pl 2	m. 1971	13	2	0,078	2043	0,265	0,150	0,455	0,047	0,502	6,4	2,0×10 ⁻¹¹
Pl 5					2128	0,350	0,150	0,303	0,085	0,388	5,0	1,6×10 ⁻¹¹
Pl 6					2072	0,350	0,275	0,756	0,031	0,787	10,1	3,2×10 ⁻¹¹
Ab 1	m. 1974	10	2	0,062	2170	0,250	0,175	0,336	0,033	0,369	6,0	1,9×10 ⁻¹¹
Ab 4					2020	0,450	0,100	0,268	0,141	0,409	6,6	2,1×10 ⁻¹¹
Ab 6					~ 2100	0,100	0,075	1,061	0,010	1,071	17,3	5,5×10 ⁻¹¹
Ab 12					2012	0,200	0,125	0,418	0,030	0,448	7,2	2,3×10 ⁻¹¹
Hø 7	m. 1979	5	2	0,035	~ 2200	0,275	0,275	0,120	0	0,120	3,4	1,1×10 ⁻¹¹

Eksempel - Åbybro Svømmehal, Kærne Åb 4

Opført 1973, vand på i 1974 med 0,9% NaCl. I 1984 efter Dansk Svømmebads-teknisk Forenings Odense-møde ændredes til 0,6% NaCl. Borekærneudtagning skete i 1986.

Først regnes NaCl-mængderne om til Cl^- -mængder

Molvægte: Na 23, Cl 35,5.

$$t_1 = 10 \text{ år} \quad [\text{Cl}^-]_1 = 0,9\% \cdot \frac{35,5}{23+35,5} = 0,9\% \cdot 0,607 = 0,55\%$$

$$t_2 = 2 \text{ år} \quad [\text{Cl}^-]_2 = 0,6\% \cdot 0,607 = 0,36\%$$

$$(1): \quad C = q(10 \cdot 0,55\% + 2 \cdot 0,36\%) = q \cdot T = q \cdot 0,0622 \text{ kg/m}^2$$

Chloridkoncentrationerne er målt i væggen yderste 0,10 m. For resten af vægtykkelsen (0,45 m) sættes 0,02% Cl^- . Man får da med måleresultaterne fra figur 4

$$(2): \quad C = ((0,25 + 0,16 + 0,10 + 0,02) \cdot 10^{-2} \cdot 0,025 + 0,02 \cdot 10^{-2} (0,45 - 0,10)) \\ 2020 = 0,409 \text{ kg/m}^2$$

$$(3): \quad q = \frac{0,409}{0,0622} = 6,6 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{år}$$

I kærnen længde 0,310 m varierer vandmætningsgraden fra 83% til 71,5%. Denne oplysning kan anvendes til at få et skøn på fugtgradienten $\Delta w / \Delta x$

Fra originalmålingerne kan det beregnes, at vandindholdet $w = S \cdot 56,24 \cdot 10^{-3} \cdot 2020$, d.v.s. at

$$\frac{\Delta w}{\Delta x} = \frac{(0,83 - 0,715) \cdot 56,24 \cdot 10^{-3} \cdot 2020}{0,310} = \frac{13,06}{0,31} = 42,1 \text{ kg/m}^3$$

Idet $t = 1$ år, fås

$$D_w = \frac{6,6}{365 \cdot 24 \cdot 3600 \cdot 42,1} \approx 5 \cdot 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$$

Denne værdi er ret høj i forhold til de værdier, som angives f.eks. i Beton-Bogen /1/, hvor man finder 0,01 à $0,1 \cdot 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$. Dette forekommer ikke urimeligt, idet Beton-Bogens værdier stammer fra laboratorieforsøg udført på omhyggeligt udførte prøvelegemer, medens vi her har beton med mange udførelsesfejl, hvilket fremgår af inspektionen af borekærnen umiddelbart efter udboringen. Desuden har vi i svømmebassinvæggene højere vandmætningsgrader end dem, som gælder for de forsøg, som ligger bag Beton-Bogens værdier.

Ved den nedenfor omtalte iterationsproces beregnes $D_w = 4 \cdot 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$.

EDB-BEREGNINGSMODEL

Nedenfor opstilles en metode til at beregne chloridfordelingen i en bassinvæg. Metoden forudsætter, at betonen er homogen. Det fremgår imidlertid af borekærneundersøgelserne, at betonen ofte er revnet og armeringen dårligt omstøbt. Dette bevirker, at vandet kan strømme i revnerne og afsætte chloriderne i dæklaget, jf. Hjortespringbadet, kærne 5 (Figur 2). I dette tilfælde kan den opstillede edb-beregning ikke anvendes. Man kan dog stadig vurdere, hvor stor vandstrømmen gennem væggen er ved at anvende ovenstående beregningsprincip (ligning 1, 2 og 3). Metoden er første gang beskrevet i /15/.

Det udarbejdede edb-program beregner fugt- og chloridprofiler i en endimensional homogen væg under isoterme forhold. Det er forudsat, at fugt- og chloridændringer følger nedenstående 2. ordens differentialligningssystem

$$\frac{\partial u}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(D_w \frac{\partial u}{\partial x} \right)$$

$$\frac{\partial c}{\partial t} = - \frac{1}{\rho} \frac{\partial Cl_{brk} \cdot g}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x} \left(D_c \frac{\partial c}{\partial x} \right)$$

hvor

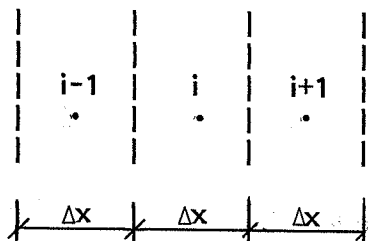
- u = vandtørstofforhold (vægtprocent)
- D_w = fugttransportkoefficient (m^2/s)
- c = chloridtørstofforhold (vægtprocent)
- D_c = chloriddiffusionskoefficient (m^2/s)
- $g(=q)$ = fugtstrømmen over en snitflade ($kg/m^2 \cdot s$)
- Cl_{brk} = brøkdelen af chlorider i fugtstrømmen
- ρ = tørdensitet (kg/m^3)

Den første ligning er den sædvanlige differentialligning for fugttransport i porøse materialer /12/. Der tages ikke hensyn til en eventuel fugttransport som følge af chloridernes tilstedeværelse. Grundet salts hygroskopiske egenskaber kunne chloriderne specielt tænkes at have indflydelse på fugttransporten, hvis chloridkoncentrationen bliver så stor, at der udfældes salt.

Den anden ligning udtrykker chloridændringen som en sum af ændringen som følge af fugttransporten og ændringen som følge af chloridernes diffusion i vandet.

Differensligninger

Da ligningssystemet ikke har en analytisk løsning, søges en numerisk løsning.



Der betragtes tre lag i konstruktionen og forudsættes følgende:

Hvert lag har tykkelsen Δx , og for hvert af disse gælder, at fugt- og chloridindhold repræsenteres ved u og c i lagets midtpunkt. Fugt- og chloridophobning henføres til punktet i lagets midte. Transportkoefficienter i hele laget er de samme som i punktet.

Fugtstrømmen, g , udtrykkes ved

$$g = - D_w \frac{\partial w}{\partial x}$$

hvor $w = \rho \cdot u$

Herved kan differentialligningerne tilnærmes med differensligningerne

$$\frac{u_{ny}(i) - u_{gl}(i)}{\Delta t} = \frac{1}{\Delta x} \left[\frac{u(i-1) - u(i)}{\frac{1}{2}\Delta x} + \frac{u(i) - u(i+1)}{\frac{1}{2}\Delta x} \right]$$

$$\frac{c_{ny}(i) - c_{gl}(i)}{\Delta t} =$$

$$\frac{1}{\rho \Delta x} \cdot \left[Clbrk(i-1) \left[\frac{u(i-1) - u(i)}{\frac{1}{2}\Delta x} + \frac{u(i) - u(i+1)}{\frac{1}{2}\Delta x} \right] - Clbrk(i) \left[\frac{u(i) - u(i+1)}{\frac{1}{2}\Delta x} + \frac{u(i+1) - u(i+2)}{\frac{1}{2}\Delta x} \right] \right]$$

$$+ \frac{1}{\rho \Delta x} \cdot \left[\frac{c(i-1) - c(i)}{\frac{1}{2}\Delta x} + \frac{c(i) - c(i+1)}{\frac{1}{2}\Delta x} \right]$$

u og c er henholdsvis fugt- og chloridindholdet (som vægtprocent) midt i tidsskridtet Δt . Da disse er ukendte, anvendes de nye u - og c -værdier. Hermed bliver beregningerne implicite.

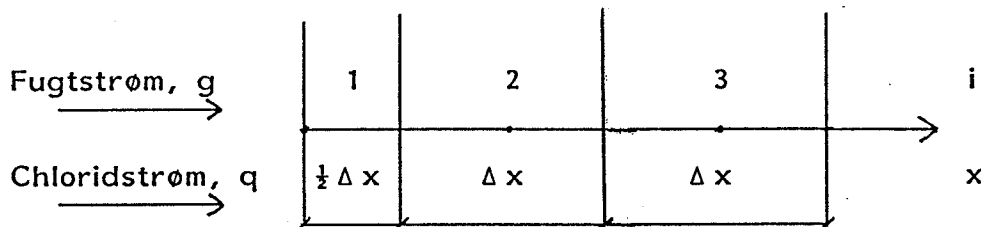
$Clbrk(i)$ er brøkdelen af chlorider i fugtstrømmen fra punktet i til punktet $i+1$. Hvis strømmen er positiv, sættes

$$Clbrk(i) \text{ og } c_{gl}(i)/u_{gl}(i)$$

Hvis strømmen er negativ, sættes

$$Clbrk(i) = c_{gl}(i+1)/(u_{gl}(i+1))$$

Randbetingelser



Lag 1 og lag n har kun tykkelsen $\frac{1}{2}\Delta x$ at optage fugt og chloridioner på.

I punkt 1 på randen ved bassinet sættes fugtindholdet konstant lig med fugtindholdet ved starten svarende til, at punktet på randen til stadighed er i ligevægt med vandet i bassinet (RF = 100%).

$$uny(1) = ugl(1)$$

Chloriderne regnes tilsvarende med at være i ligevægt med chloriderne i bassinet

$$cny(1) = Clbrk(1) \cdot uny(1)$$

hvor $Clbrk(1)$ er den aktuelle chloridkoncentration svarende til chloridindholdet i bassinvandet.

I punkt n på randen ved ingeniørgangen sættes fugtindholdet konstant lig med fugtindholdet ved starten, svarende til konstant relativ fugtighed og temperatur i ingeniørgangen

$$uny(n) = ugl(n)$$

Chloriderne kan ikke passere randen og vil derfor ophobes eller begynde at diffundere tilbage.

For det yderste halve lag opstilles ligevægtsligningen

$$\frac{\Delta c(n)}{\Delta t} \cdot \frac{1}{2} x \cdot \rho = q(n-1) + Clbrk(n-1) \cdot g(n-1) \Rightarrow$$

$$\frac{\Delta c(n)}{\Delta t} \cdot \frac{1}{2} x \cdot \rho = - \frac{c(n) - c(n-1)}{\frac{\frac{1}{2}\Delta x}{Dc(n)} + \frac{\frac{1}{2}\Delta x}{Dc(n-1)}} \cdot \rho - Clbrk(n-1) \cdot \frac{u(n) - u(n-1)}{\frac{\frac{1}{2}\Delta x}{Dw(n)} + \frac{\frac{1}{2}\Delta x}{Dw(n-1)}} \cdot \rho$$

Anvendes igen de nye c- og u-værdier for værdierne midt i tidsskridtet, fås, når de ukendte led samles på venstre side

$$- \left[\frac{4}{\frac{\Delta x}{Dc(n-1)} + \frac{\Delta x}{Dc(n)}} \right] cny(n-1) + \left[\frac{4}{\frac{\Delta x}{Dc(n)} + \frac{\Delta x}{Dc(n+1)}} + \frac{\Delta x}{\Delta t} \right] cny(n)$$

$$= \frac{\Delta x}{\Delta t} cgl(n) + Clbrk(n-1) \cdot \left[\frac{4}{\frac{\Delta x}{Dw(n-1)} + \frac{\Delta x}{Dw(n)}} \right] \cdot (uny(n-1) - uny(n))$$

Løsning af ligningssystemet

Ligningssystemet kan opstilles i to ligningsmatricer af formen

$$\begin{bmatrix} b(1) & c(1) & & & \\ a(2) & b(2) & c(2) & & \\ & \ddots & \ddots & \ddots & \\ & & a(i) & b(i) & c(i) \\ & & & \ddots & \ddots \\ & & & & a(n-1) & b(n-1) & c(n-1) \\ & & & & & a(n) & b(n) \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} p(1) \\ p(2) \\ \vdots \\ p(i) \\ \vdots \\ p(n-1) \\ p(n) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} d(1) \\ d(2) \\ \vdots \\ d(i) \\ \vdots \\ d(n-1) \\ d(n) \end{bmatrix}$$

Indføres fugtfouriertallet

$$Fu(i) = \frac{Dw(i) \cdot \Delta t}{(\Delta x)^2}$$

og chloridfouriertallet

$$Fc(i) = \frac{Dc(i) \cdot \Delta t}{(\Delta x)^2}$$

fås følgende værdier i fugtmatricen

$$\begin{aligned} p(i) &= uny(i) \\ b(1) &= 1 \\ c(1) &= 0 \\ d(1) &= ugl(1) \end{aligned}$$

fra i=2 til n-1

$$a(i) = - \frac{2}{\frac{1}{Fu(i-1)} + \frac{1}{Fu(i)}}$$

$$b(i) = \frac{\frac{2}{\frac{1}{Fu(i-1)} + \frac{1}{Fu(i)}}}{\frac{1}{Fu(i)} + \frac{1}{Fu(i+1)}} + 1$$

$$c(i) = - \frac{\frac{2}{\frac{1}{Fu(i)} + \frac{1}{Fu(i+1)}}}{\frac{1}{Fu(i)} + \frac{1}{Fu(i+1)}}$$

$$\begin{aligned} d(i) &= u_{gl}(i) \\ a(n) &= 0 \\ b(n) &= 1 \\ d(n) &= u_{gl}(n) \end{aligned}$$

For chloridmatricen fås

$$\begin{aligned} p(i) &= c_{ny}(i) \\ b(1) &= 1 \\ c(1) &= Cl_{brk} \cdot u_{ny}(1) \end{aligned}$$

fra $i = 2$ til $n-1$:

$$a(i) = - \frac{-2}{\frac{1}{Fc(i-1)} + \frac{1}{Fc(i)}}$$

$$b(i) = \frac{\frac{2}{\frac{1}{Fc(i-1)} + \frac{1}{Fc(i)}}}{\frac{1}{Fc(i)} + \frac{1}{Fc(i+1)}} + 1$$

$$c(i) = \frac{-2}{\frac{1}{Fc(i)} + \frac{1}{Fc(i+1)}}$$

$$\begin{aligned} d(i) &= c_{gl}(i) + Cl_{brk}(i-1) \cdot \frac{\frac{2}{\frac{1}{Fu(i-1)} + \frac{1}{Fu(i)}}}{\frac{1}{Fu(i)} + \frac{1}{Fu(i)}} \cdot (u_{ny}(i-1) - u_{ny}(i)) \\ &\quad - Cl_{brk}(i) \cdot \frac{\frac{2}{\frac{1}{Fu(i)} + \frac{1}{Fu(i+1)}}}{\frac{1}{Fu(i)} + \frac{1}{Fu(i+1)}} \cdot (u_{ny}(i) - u_{ny}(i+1)) \end{aligned}$$

$$a(n) = \frac{-4}{\frac{1}{Fc(n-1)} + \frac{1}{Fc(n)}}$$

$$b(n) = \frac{4}{\frac{1}{Fc(n-1)} + \frac{1}{Fc(n)}}$$

$$d(n) = cgl(n) + Clbrk(n-1) \cdot \frac{4}{\frac{1}{Fu(n-1)} + \frac{1}{Fu(n)}} \cdot (uny(n-1) - uny(n))$$

Matricerne løses ved hjælp af TRISOL-underprogrammet. Fugtmatricen løses først, da de nye fugtværdier indgår i chloridligningsmatricens højreside.

Beregninger

Betonens tørdensitet, ρ , lagtykkelserne, Δx , og tidsskridtene, Δt , er konstanter, mens transportkoefficienterne D_w og D_c og dermed fouriertallene F_u og F_c er variable. Transportkoefficienterne er opbygget som en sum af tre led, en konstant, et led, der er lineært afhængigt af fugtindholdet samt et led, der er lineært afhængigt af chloridindholdet. D_w , D_c , F_u og F_c udregnes for hvert punkt i laget i starten af hvert tidsskridt. For fugtindholdet u og chloridindholdet c indsættes værdierne fra forrige tidsskridt.

$$D_w(i) = r + s \cdot u_{gl}(i) + v \cdot c_{gl}(i)$$

$$D_c(i) = h + k \cdot c_{gl}(i) + l \cdot u_{gl}(i)$$

Startfugtprofilen angives i input-filen, mens startchloridindholdet sættes til nul over hele væggen.

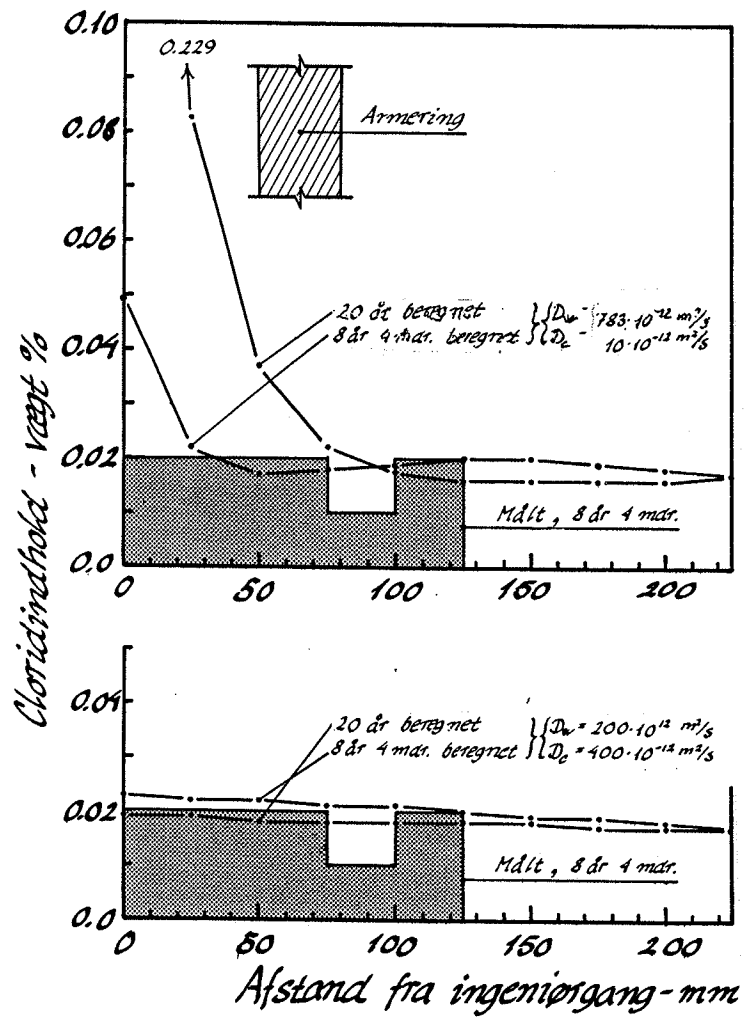
Fugt- og chloridprofiler udregnes for hvert tidsskridt. Programmet udskriver profilerne efter et vist antal tidsskridt, der vælges i input-filen.

For hvert tidsskridt beregnes yderligere fugtstrømmen, der fordampes fra væggens overflade ved ingeniørgangen. Idet fugtindholdet i punkt n på randen er forudsat at være konstant, kan strømmen beregnes som den fugt, der strømmer fra punkt $n-1$ til punkt n .

Desuden beregnes chloridtilførslen fra bassinvandet. Fluxen over randen beregnes som transporten fra punkt 1 på randen til punkt 2. Den samlede chloridtransport består dels af et bidrag af chloriderne, der føres med fugtstrømmen og dels af et bidrag fra chloriddiffusionen. Chloridmængderne, der er tilført siden starten, udregnes som chloridtransporten gange tidsskridtet summeret sammen for hvert tidsskridt og udskrives sammen med fugt- og chloridprofilerne.

En udskrift af programmet CHLORID kan fås ved henvendelse til Laboratoriet for Bygningsmaterialer, DTH.

På figur 7 er vist et eksempel på anvendelse af programmet på Greve Svømmehal, kærne 5. Beregningen er gengivet i detaljer i bilag 1.



Figur 7.

Greve Svømmehal, kerne 5. Resultatet af modelberegninger med to sæt diffusionskoefficienter. Begge beregninger giver samme chloridtransport efter 8 år 4 måneder. Kurvernes lidt "ulogiske" form og indbyrdes placering skyldes nedsættelsen af chloridindholdet efter 6½ år (1984: 0,9% NaCl til 0,6% NaCl).

BRUGERVEJLEDNING TIL PROGRAMMET

Programmet ligger på diskette under filnavn og filtype CHLORID.PAS. Da programmet er skrevet i sproget TurboPascal (Version 3.0), kræves det, at TurboPascal oversætterprogrammet er tilgængeligt.

Programmet køres med kommandoen "Run" i Pascalmenuen. Efter programmet er oversat, spørges der på skærmen efter den ønskede input-fil. Input-filen skal være oprettet inden kørslen. Filen skal angives med drive, filnavn og filtype:

d:<filnavn>.<filtype>

Drive angives med bogstavet a, b eller c efterfulgt af kolon. Filnavnet må maksimalt indeholde otte bogstaver og efterfølges af et punktum. Filtypen angives med maksimalt tre bogstaver og kan vælges frit på nær de i TurboPascal reserverede filtyper.

Derefter spørges på skærmen efter output-filen. Filen angives med samme syntax som ovenfor beskrevet. Filen oprettes under kørslen. Hvis der allerede eksisterer en fil med samme navn og type på samme drive, slettes den automatisk.

Input-filen skal have følgende opbygning

overskr	er den ønskede overskrift på output-filen, overskriften må maksimalt fylde 65 tegn
bredde	er væggens bredde
n	er antal lag væggen ønskes delt op i = antal punkter, n kan højst være = 20. De to yderste lag får kun den halve tykkelse
aar, mdr, dg	er beregningstiden, angives som hele tal
delmdr, deldg, delti	er tidsskridtet, angives som hele tal
udskr	er antal tidsskridt, der skal udregnes mellem hver udskrift
rho	er betonens tørdensitet i kg/m ²
Clpctb	er chloridindholdet i bassin vandet i vægtprocent fra starttidspunktet indtil
Claar, clmdr, cldg	tidspunktet for chloridkoncentrationsskift
Clpcts	er chloridindholdet i bassin vandet i vægtprocent fra Claar, Clmdr, Cldg indtil sluttidspunktet
r, s, v	er faktorer til beregning af fugttransportkoefficienten
h,k,l	er faktorer til beregning af chloriddiffusionskoefficienten
uny(i)	er startfugtindholdet i vægtprocent. I punkterne 1 og n fastholdes fugtindholdet

På output-filen, der er oprettet under kørslen, udskrives de indlæste data fra input-filen. Til tiden 0 samt til hvert af de angivne tidspunkter udskrives: tiden; fugtstrømmen, der fordampes ved ingeniørgangen; chloridmængden, der er tilført væggen dels som chlorider transporteret med fugtstrømmen, Q_f , dels som diffunderede chlorider, Q_c , og dels som summen af de to mængder, Q . Desuden udskrives fugt- og chloridprofilerne.

KONKLUSIONER

1. Opkoncentrationen af chlorider i bassinvæggene mod ingeniørgangen er størst ved de dårligste betonkvaliteter, hvor der forekommer revner og dårlig omstøbning.
2. Opbygningen af profil er ikke sket i de bedste betonvægge uden revner. Her forekommer kun chloridindhold svarende til bassinvandets koncentration.
3. Den totalt ophobede chloridmængde i bassinvæggen kan anvendes som "sporstof" til at få et rimeligt godt skøn på den gennemstrømmende vandmængde.
4. Ud fra den gennemstrømmende vandmængde og med kendskab til fugt-gradientforholdene kan transportkoefficienter beregnes.
5. Der er opstillet et edb-program, der beregner en betonbassinvægs tæthed ud fra kendskab til den ophobede mængde chlorider i betonen og bassinvandets chloridkoncentration.
6. Edb-programmet kan anvendes til at modellere de eksisterende chloridprofiler. Herefter kan man ekstrapolere for at vurdere den videre udvikling i chloridophobningen.
7. De diffusionskoefficienter (D_w), som kan vurderes i dette arbejde, er 10 à 100 gange større end de værdier, man får indtryk af fra Beton-Bogen /1/. Det skyldes en ringere betonkvalitet end forudsat i /1/, og at betonen som helhed er vådere, hvorved kapillartransport fremmes.

LITTERATUR

- /1/ A.D. Herholdt m.fl.: Beton-Bogen. Aalborg Portland, 1985.
- /2/ Torsten Thorsen: Fugtmåling Hørsholm Svømmehal. Delrapport 1, LBM, DTH, Februar 1986.
- /3/ Torsten Thorsen: Undersøgelse af borekærner, Hjortespringbadet. Delrapport 2, LBM, DTH, Juni 1986.
- /4/ Torsten Thorsen: Undersøgelse af borekærner, Pilehaveskolens Svømmehal. Delrapport 3, LBM, DTH, Juni 1986.
- /5/ Torsten Thorsen: Undersøgelse af borekærner, Greve Svømmehal. Delrapport 4, LBM, DTH, Juni 1986.
- /6/ Torsten Thorsen: Undersøgelse af borekærner, Åbybro Svømmehal. Delrapport 5, LBM, DTH, Oktober 1986.
- /7/ Torsten Thorsen, Niels Thaulow: Undersøgelse af beton fra Hørsholm Svømmehal. Rapport nr. 1, Danske Svømmehadsteknisk Forening, LBM 1987.
- /8/ Torsten Thorsen, Niels Thaulow: Undersøgelse af beton fra Hjortespring Svømmehal. Rapport nr. II, LBM 1986.
- /9/ Torsten Thorsen, Niels Thaulow: Undersøgelse af beton fra Pilehaveskolens Svømmehal. Rapport nr. III, LBM 1987.
- /10/ Torsten Thorsen, Niels Thaulow: Undersøgelse af beton fra Greve Svømmehal. Rapport nr. IV, LBM 1987.
- /11/ Torsten Thorsen: Kapillær Opsugning. LBM 1986.
- /12/ Carsten Rode Petersen, Merete Hjoerth Rasmussen: Eksamensprojekt, Laboratoriet for Varmeisolering og Laboratoriet for Bygningsmaterialer, DTH, 1986.
- /13/ Hanne Strunge: Flyveaskes indvirkning på porøsitet og chloridbinding i cementpasta. Eksamensprojekt, DIA-K, 1986.
- /14/ Torsten Thorsen, Niels Thaulow, Steen Rostam: Betonsvømmebassiners holdbarhed, Fase 2. Undersøgelse af udvalgte bassiner. Danske Svømmehadsteknisk Forening, Publikation 24/1988.
- /15/ Merete Hjoerth Rasmussen: Chloridtransport i svømmebade. Foreløbigt tryk, LBM, Cowiconsult, Juni 1987.
- /16/ Torsten Thorsen, Niels Thaulow: Undersøgelse af beton fra Åbybro Svømmehal. Rapport nr. V, LBM, 1987.

BILAG 1
Beregningsresultater fra kørsler, Greve, kærne 5

Greve, kærne 5

ρ	= 2109 kg/m ²
$u(o)$	= $53 \cdot 72,9 \cdot 10^{-3} = 3,86\%$
$u(x_f)$	= $65 \cdot 72,9 \cdot 10^{-3} = 4,74\%$
Δu	= 0,88%
Δw	= 18,559 kg/m ²
$c(x_f)$	= $0,36/100 \cdot 4,74 = 0,0171\%$
$[Cl^-]$ målt	= $0,00225 \cdot 2109 = 4,7453$ pct. kg Cl ⁻ /m ²
$[Cl^-]$ bereg	= $(0,02+0,0171)/2 \cdot (0,225-0,125) \cdot 2109 =$ 3,9084 pct. kg Cl ⁻ /m ²
$[Cl^-]$	= 8,6536 pct. kg Cl ⁻ /m ²
$t_{0,9}$	= 6 år + 6 mdr. = $2,05 \cdot 10^8$ s
$t_{0,6}$	= 1 år + 10 mdr. + 15 dg. = $5,91 \cdot 10^7$ sek.
T	= $1,3402 \cdot 10^8$ pct. · s
q	= $6,45691 \cdot 10^{-8}$ kg/(m ² · s)
Δx	= 0,225 m
Dw	= $7,827949 \cdot 10^{-10} = \underline{7,83 \cdot 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}}$

CHLORIDTRANSPORT I SVØMMEBADE GREVE SVØMMEBAD. Kærne 5

Geometri: Vægbredde 0.225 m. Antal lag 10. Lagtykkelse 0.025 m.
Eksponeringsid: 20 år + 0 mdr + 0 dage = 6.31E+008 sek.
Tidsskridt: 0 mdr + 5 dage + 0 timer = 4.32E+005 sek.

Der udskrives pr 73 tidsskridt

Chloridindhold i bassinvand : 0.55 vægtprocent indtil 6 år 6 mdr 0 dage
derefter 0.36 vægtprocent.

Betondensitet: 2109 kg pr m².

Fugttransportkoefficient: $D_w = 7.83E-010 + 0.00E+000 \cdot u + 0.00E+000 \cdot c$

Chloriddiffusionskoefficient: $D_c = 1.00E-011 + 0.00E+000 \cdot c + 0.00E+000 \cdot u$

X-akse (m) (X = 0 ved bassin)	0.000	0.025	0.050	0.075	0.100	0.125	0.150	0.175	0.200	0.225
-------------------------------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------

Tidspunkt: 0 år 0 mdr 0 dage 0 timer.
= 0.00E+000sek

Fugtstrøm ud ved ingeniørgang:

0.00E+000 kg pr m² beton pr sek

Chloridmængde ind ved bassin:

Med fugt $Q_f = 0.00E+000$ kg/m²

Cl-diff $Q_c = 0.00E+000$ kg/m²

Totalt $Q = 0.00E+000$ kg/m²

Fugtindhold vægtprocent beton	4.740	4.640	4.540	4.450	4.350	4.250	4.150	4.060	3.960	3.860
Chloridindhold vægtprocent beton	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

Tidspunkt: 8 år 4 mdr 18 dage 8 timer.
= 2.64E+008sek

Fugtstrøm ud ved ingeniørgang:

6.46E-008 kg pr m² beton pr sek

Chloridmængde ind ved bassin:

Med fugt $Q_f = 8.66E-002$ kg/m²

Cl-diff $Q_c = 6.84E-003$ kg/m²

Totalt $Q = 9.35E-002$ kg/m²

Fugtindhold vægtprocent beton	4.740	4.642	4.544	4.447	4.349	4.251	4.153	4.056	3.958	3.860
Chloridindhold vægtprocent beton	0.017	0.018	0.019	0.020	0.020	0.019	0.018	0.017	0.022	0.049

Tidspunkt: 10 år 0 mdr 0 dage 0 timer.

= 3.15E+008sek

Fugtstrøm ud ved ingeniørgang:

6.46E-008 kg pr m² beton pr sek

Chloridmængde ind ved bassin:

Med fugt Qf = 9.85E-002 kg/m²

Cl-diff Qc = 6.65E-003 kg/m²

Totalt Q = 1.05E-001kg/m²

Fugtindhold vægt pct beton 4.740 4.642 4.544 4.447 4.349 4.251 4.153 4.056 3.958 3.860

Chloridindhold vægt pct beton 0.017 0.017 0.018 0.018 0.019 0.019 0.019 0.021 0.032 0.076

Tidspunkt: 11 år 0 mdr 0 dage 0 timer.

= 3.47E+008sek

Fugtstrøm ud ved ingeniørgang:

6.46E-008 kg pr m² beton pr sek

Chloridmængde ind ved bassin:

Med fugt Qf = 1.06E-001 kg/m²

Cl-diff Qc = 6.64E-003 kg/m²

Totalt Q = 1.12E-001kg/m²

Fugtindhold vægt pct beton 4.740 4.642 4.544 4.447 4.349 4.251 4.153 4.056 3.958 3.860

Chloridindhold vægt pct beton 0.017 0.017 0.017 0.017 0.018 0.018 0.019 0.023 0.037 0.093

Tidspunkt: 12 år 0 mdr 0 dage 0 timer.

= 3.78E+008sek

Fugtstrøm ud ved ingeniørgang:

6.46E-008 kg pr m² beton pr sek

Chloridmængde ind ved bassin:

Med fugt Qf = 1.13E-001 kg/m²

Cl-diff Qc = 6.67E-003 kg/m²

Totalt Q = 1.20E-001kg/m²

Fugtindhold vægt pct beton 4.740 4.642 4.544 4.447 4.349 4.251 4.153 4.056 3.958 3.860

Chloridindhold vægt pct beton 0.017 0.017 0.017 0.017 0.017 0.018 0.019 0.024 0.043 0.110

Tidspunkt: 13 år 0 mdr 0 dage 0 timer.

= 4.10E+008sek

Fugtstrøm ud ved ingeniørgang:

6.46E-008 kg pr m2 beton pr sek

Chloridmængde ind ved bassin:

Med fugt Qf = 1.20E-001 kg/m2

Cl-diff Qc = 6.73E-003 kg/m2

Totalt Q = 1.27E-001kg/m2

Fugtindhold vægt pct beton

Chloridindhold vægt pct beton

4.740	4.642	4.544	4.447	4.349	4.251	4.153	4.056	3.958	3.860
0.017	0.017	0.017	0.017	0.017	0.018	0.019	0.026	0.048	0.126

Tidspunkt: 14 år 0 mdr 0 dage 0 timer.

= 4.42E+008sek

Fugtstrøm ud ved ingeniørgang:

6.46E-008 kg pr m2 beton pr sek

Chloridmængde ind ved bassin:

Med fugt Qf = 1.28E-001 kg/m2

Cl-diff Qc = 6.79E-003 kg/m2

Totalt Q = 1.35E-001kg/m2

Fugtindhold vægt pct beton

Chloridindhold vægt pct beton

4.740	4.642	4.544	4.447	4.349	4.251	4.153	4.056	3.958	3.860
0.017	0.017	0.017	0.017	0.017	0.017	0.020	0.027	0.054	0.142

Tidspunkt: 15 år 0 mdr 0 dage 0 timer.

= 4.73E+008sek

Fugtstrøm ud ved ingeniørgang:

6.46E-008 kg pr m2 beton pr sek

Chloridmængde ind ved bassin:

Med fugt Qf = 1.35E-001 kg/m2

Cl-diff Qc = 6.87E-003 kg/m2

Totalt Q = 1.42E-001kg/m2

Fugtindhold vægt pct beton

Chloridindhold vægt pct beton

4.740	4.642	4.544	4.447	4.349	4.251	4.153	4.056	3.958	3.860
0.017	0.017	0.017	0.016	0.017	0.017	0.020	0.029	0.059	0.157

Tidspunkt: 16 år 0 mdr 0 dage 0 timer.

= 5.05E+008sek

Fugtstrøm ud ved ingenlørgang:

6.46E-008 kg pr m2 beton pr sek

Chloridmængde ind ved bassin:

Med fugt Qf = 1.42E-001 kg/m2

Cl-diff Qc = 6.95E-003 kg/m2

Totalt Q = 1.49E-001kg/m2

Fugtindhold vægt pct beton

Chloridindhold vægt pct beton

4.740	4.642	4.544	4.447	4.349	4.251	4.153	4.056	3.958	3.860
0.017	0.017	0.017	0.016	0.016	0.017	0.020	0.030	0.064	0.172

Tidspunkt: 17 år 0 mdr 0 dage 0 timer.

= 5.36E+008sek

Fugtstrøm ud ved ingenlørgang:

6.46E-008 kg pr m2 beton pr sek

Chloridmængde ind ved bassin:

Med fugt Qf = 1.50E-001 kg/m2

Cl-diff Qc = 7.03E-003 kg/m2

Totalt Q = 1.57E-001kg/m2

Fugtindhold vægt pct beton

Chloridindhold vægt pct beton

4.740	4.642	4.544	4.447	4.349	4.251	4.153	4.056	3.958	3.860
0.017	0.017	0.016	0.016	0.016	0.017	0.021	0.032	0.068	0.186

Tidspunkt: 18 år 0 mdr 0 dage 0 timer.

= 5.68E+008sek

Fugtstrøm ud ved ingenlørgang:

6.46E-008 kg pr m2 beton pr sek

Chloridmængde ind ved bassin:

Med fugt Qf = 1.57E-001 kg/m2

Cl-diff Qc = 7.11E-003 kg/m2

Totalt Q = 1.64E-001kg/m2

Fugtindhold vægt pct beton

Chloridindhold vægt pct beton

4.740	4.642	4.544	4.447	4.349	4.251	4.153	4.056	3.958	3.860
0.017	0.017	0.016	0.016	0.016	0.017	0.021	0.034	0.073	0.201

Tidspunkt: 19 år 0 mdr 0 dage 0 timer.

= 5.99E+008sek

Fugtstrøm ud ved ingeniørgang:

6.46E-008 kg pr m2 beton pr sek

Chloridmængde ind ved bassin:

Med fugt Qf = 1.64E-001 kg/m2

Cl-diff Qc = 7.20E-003 kg/m2

Totalt Q = 1.72E-001kg/m2

Fugtindhold vægtpct beton 4.740 4.642 4.544 4.447 4.349 4.251 4.153 4.056 3.958 3.860

Chloridindhold vægtpct beton 0.017 0.017 0.017 0.016 0.016 0.018 0.022 0.035 0.078 0.215

Tidspunkt: 20 år 0 mdr 0 dage 0 timer.

= 6.31E+008sek

Fugtstrøm ud ved ingeniørgang:

6.46E-008 kg pr m2 beton pr sek

Chloridmængde ind ved bassin:

Med fugt Qf = 1.72E-001 kg/m2

Cl-diff Qc = 7.29E-003 kg/m2

Totalt Q = 1.79E-001kg/m2

Fugtindhold vægtpct beton 4.740 4.642 4.544 4.447 4.349 4.251 4.153 4.056 3.958 3.860

Chloridindhold vægtpct beton 0.017 0.017 0.017 0.016 0.016 0.018 0.022 0.037 0.083 0.229

CHLORIDTRANSPORT I SVØMMEBADE
GREVE SVØMMEBAD. Kærne 5

Geometri: Vægbredde 0.225 m. Antal lag 10. Lagtykkelse 0.025 m.
Eksponeringsstid: 20 år + 0 mdr + 0 dage = 6.31E+008 sek.
Tidsskridt: 0 mdr + 5 dage + 0 timer = 4.32E+005 sek.

Der udskrives pr 73 tidsskridt

Chloridindhold i bassinvand : 0.55 vægtprocent indtil 6 år 6 mdr 0 dage
derefter 0.36 vægtprocent.

Betondensitet: 2109 kg pr m².

Fugttransportkoefficient: $D_w = 2.00E-010 + 0.00E+000 \cdot u + 0.00E+000 \cdot c$

Chloriddiffusionskoefficient: $D_c = 4.00E-010 + 0.00E+000 \cdot c + 0.00E+000 \cdot u$

X-akse (m) (X = 0 ved bassin) 0.000 0.025 0.050 0.075 0.100 0.125 0.150 0.175 0.200 0.225

Tidspunkt: 0 år 0 mdr 0 dage 0 timer.

= 0.00E+000sek

Fugtstrøm ud ved ingeniørgang:

0.00E+000 kg pr m² beton pr sek

Chloridmængde ind ved bassin:

Med fugt $Q_f = 0.00E+000$ kg/m²

Cl-diff $Q_c = 0.00E+000$ kg/m²

Totalt $Q = 0.00E+000$ kg/m²

Fugtindhold vægtprocent beton 4.740 4.640 4.540 4.450 4.350 4.250 4.150 4.060 3.960 3.860

Chloridindhold vægtprocent beton 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000

Tidspunkt: 8 år 4 mdr 18 dage 8 timer.

= 2.64E+008sek

Fugtstrøm ud ved ingeniørgang:

1.65E-008 kg pr m² beton pr sek

Chloridmængde ind ved bassin:

Med fugt $Q_f = 2.21E-002$ kg/m²

$q_g = 5.939E-011$

Cl-diff $Q_c = 6.97E-002$ kg/m²

$q = -2.71E-010$

Totalt $Q = 9.18E-002$ kg/m²

Fugtindhold vægtprocent beton 4.740 4.642 4.544 4.447 4.349 4.251 4.153 4.056 3.958 3.860

Chloridindhold vægtprocent beton 0.017 0.018 0.019 0.019 0.019 0.020 0.021 0.022 0.022 0.023

Tidspunkt: 10 år 0 mdr 0 dage 0 timer.

= 3.15E+008sek

Fugtstrøm ud ved ingeniørgang:
1.65E-008 kg pr m2 beton pr sek

Chloridmængde ind ved bassin:

Med fugt Qf = 2.52E-002 kg/m2

Cl-diff Qc = 5.97E-002 kg/m2

Totalt Q = 8.49E-002kg/m2

Fugtindhold vægt pct beton 4.740 4.642 4.544 4.447 4.349 4.251 4.153 4.056 3.958 3.860

Chloridindhold vægt pct beton 0.017 0.017 0.018 0.018 0.019 0.019 0.019 0.020 0.020 0.020

Tidspunkt: 11 år 0 mdr 0 dage 0 timer.

= 3.47E+008sek

Fugtstrøm ud ved ingeniørgang:
1.65E-008 kg pr m2 beton pr sek

Chloridmængde ind ved bassin:

Med fugt Qf = 2.70E-002 kg/m2

Cl-diff Qc = 5.59E-002 kg/m2

Totalt Q = 8.30E-002kg/m2

Fugtindhold vægt pct beton 4.740 4.642 4.544 4.447 4.349 4.251 4.153 4.056 3.958 3.860

Chloridindhold vægt pct beton 0.017 0.017 0.018 0.018 0.018 0.019 0.019 0.019 0.019 0.020

Tidspunkt: 12 år 0 mdr 0 dage 0 timer.

= 3.78E+008sek

Fugtstrøm ud ved ingeniørgang:
1.65E-008 kg pr m2 beton pr sek

Chloridmængde ind ved bassin:

Med fugt Qf = 2.89E-002 kg/m2

Cl-diff Qc = 5.30E-002 kg/m2

Totalt Q = 8.19E-002kg/m2

Fugtindhold vægt pct beton 4.740 4.642 4.544 4.447 4.349 4.251 4.153 4.056 3.958 3.860

Chloridindhold vægt pct beton 0.017 0.017 0.018 0.018 0.018 0.018 0.019 0.019 0.019 0.019

