

---

# Introduktion til modeller for kloridindtrængning i beton fra havvand

---

Jens Mejer Frederiksen,  
Associate Project Director,  
Leading Specialist – concrete

# Emner

Hvorfor modellerer vi? Se →

Hvad er klorid?

Skadevirkningen af klorid

Levetidsmodel

Kloridindtrængningsmodeller

Sammenligninger



**Storebæltsforbindelsen**

Opført 1987-1998

Levetidskrav 100 år

**Mosquée Hassan II, Casablanca**

Opført: 1987-1993

Ingen levetidskrav

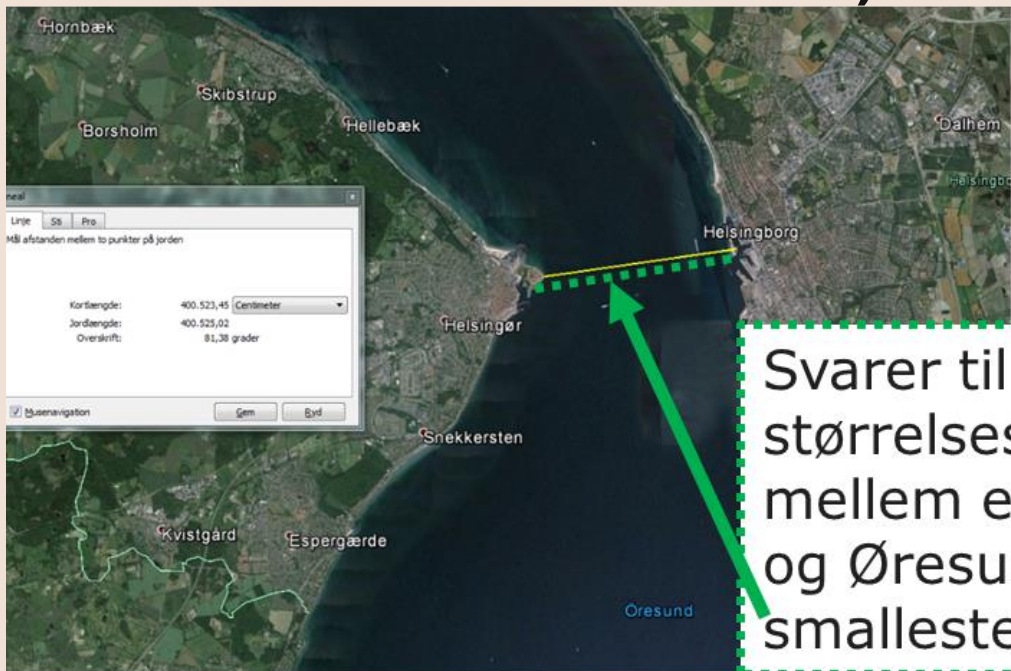
Repareret (!!): 2005-2008



# Hvad er klorid?

- Klorid er en negativt ladet ion af grundstoffet klor:
- Klorionen hedder "klorid" – kaldes ofte "*kloridion*"
- Ofte staves klorid også "chlorid" – ej dansk retskrivning
- Klorionen er 0,184 nm stor (0,000 000 184 mm)
- Klorionen er ca. 1,1 mio. gange mindre end 0,2 mm (*en tilladt revnevidde på betonoverflader eksponeret for klorid*)

# Størrelsesanalogi Cl<sup>-</sup> vs. 0,2 mm revne (*Christian Munch-Petersens idé*)



Svarer til størrelsesforholdet mellem en ært (4 mm) og Øresund på det smalleste sted (4 km)

# Skadevirkning



**Korrosionsangreb efter 20 års eksponering  
100 % CEMI;  $v/c = 0,40$ ; dæklag = 20 mm**



# Skadevirkning

# Skadevirkning af klorid i beton



## Dyre reparationer

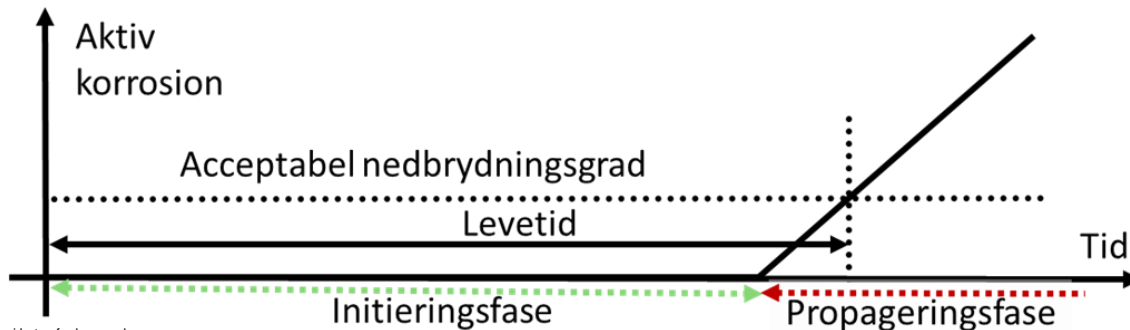
- Udskiftning
- Katodisk beskyttelse



# Levetidsmodel

## Definitioner

- > Levetid = Initieringsfase + Propageringsfase
- > ”Initiering”: Armeringen begynder at ruste (er ofte ”*design levetid*”)
- > *Acceptabel nedbrydningsgrad* er:
  - > **før** den krævede normmæssige sikkerhed på bæreevnen er reduceret!
  - > **før** dæklag skydes af og er til fare.





# Generelt om modeller

## Modeller for initieringsfasen (*mere herom*)

- > Handler om at forudsige *hastigheden på/forløbet af (klorid)indtrængningen* – for en given betontype, eksponeret under givne forhold

# Generelt om modeller

## Korrosionsinitiering *(ikke mere herom)*

- > Handler om at forudsige, ved hvilken kloridkoncentration rustdannelse starter\*)

## Modeller for propageringsfase *(ikke mere om)*

- > Handler om at forudsige, hvor hurtigt stål ruster \*) (eller at standse korrosionen)

*\*) for en given stålkvalitet, i en given betontype, eksponeret under givne forhold*

# Generelt om modeller

## Forskellige modeltyper:

- › *Empiriske modeller*, der ”efterligner” observationer (*mere herom senere*)
- › *Videnskabelige modeller*, der ”skaber observationer” ud fra få inputdata, med kendskab til fysikken og kemien (*ej mere herom*)
- › OBS: Kombinationer af ovenstående er også *empiriske*

# Generelt om modeller

*Der findes ingen fuldt udviklede modeller til forudsigelse af levetiden for klorideksponerede betonkonstruktioner!*

*Men der arbejdes med det over hele verden*

*Og der stadig er meget at gøre/lære*

# Kloridindtrængning i beton

- > Beton er et porøst materiale
  - > Betons åbne porøsitet er ca.  $14 \pm 2$  %
  - > Den åbne porøsitet udgøres af luftindeslutninger, luftbobler, kapillarporer
  - > Beton har desuden revner og komprimeringsmangler
- > Poresystemet er forbundet
- > Beton er derfor et gennemtrængeligt materiale
- > ***Men beton kan gøres meget tæt!***



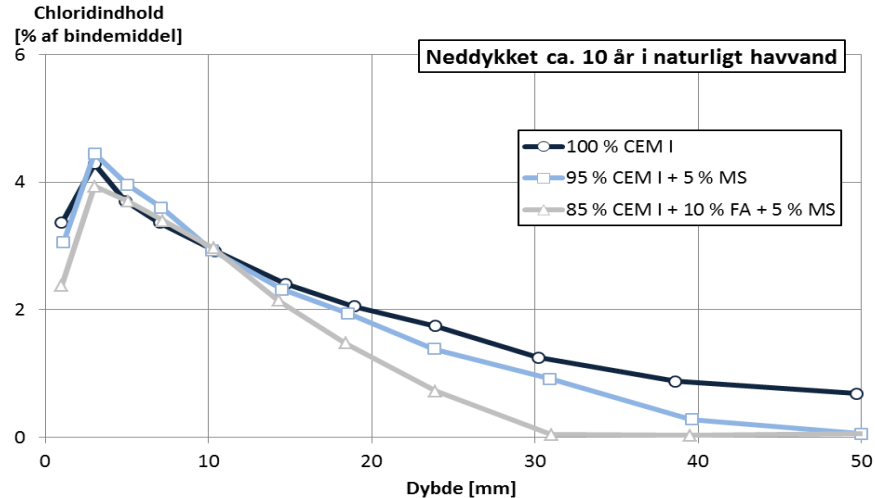
# Kloridindtrængning i beton

## *En eller flere af følgende processer:*

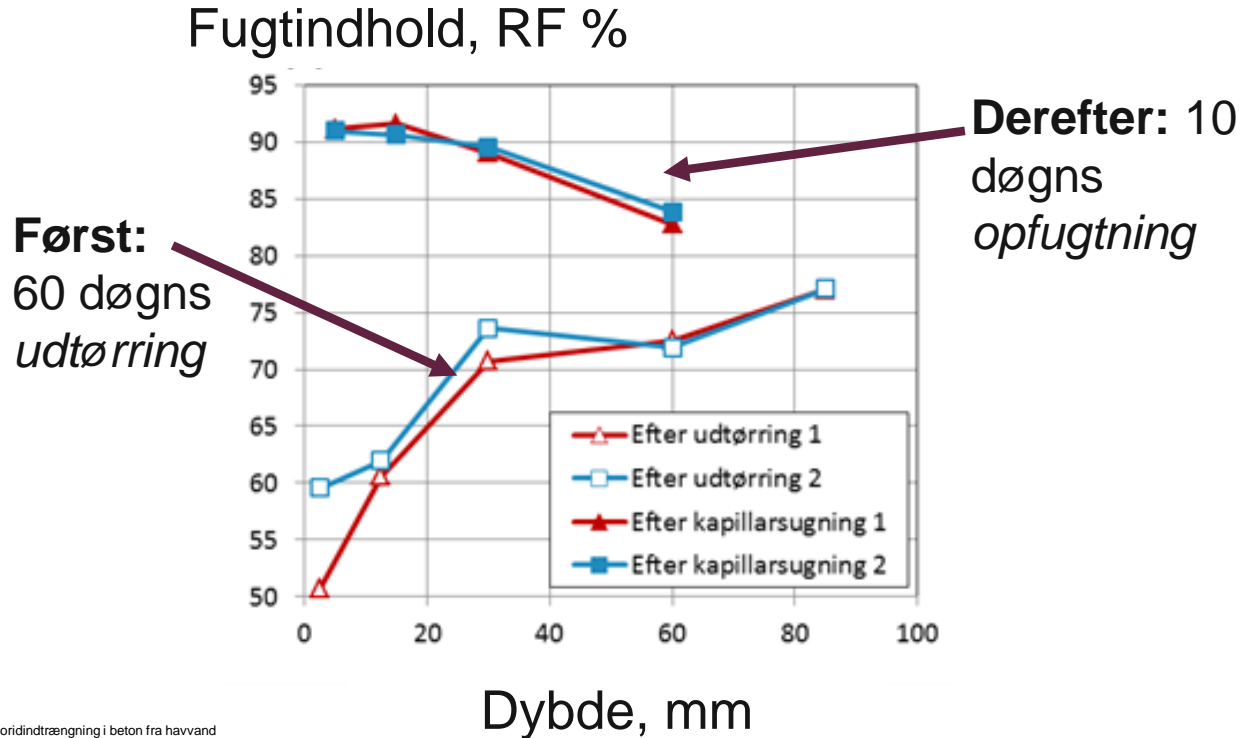
- > Diffusion – analogt til varmetransport
- > Ved konvektion (dvs. samtidig med vands eller fugts transport)
- > Ved migration pga. et elektrisk felt

# Observationer – neddykket i havvand

Typisk observation af kloridprofiler, forskellige bindemidler, men samme vand-bindemiddelforhold på 0,35

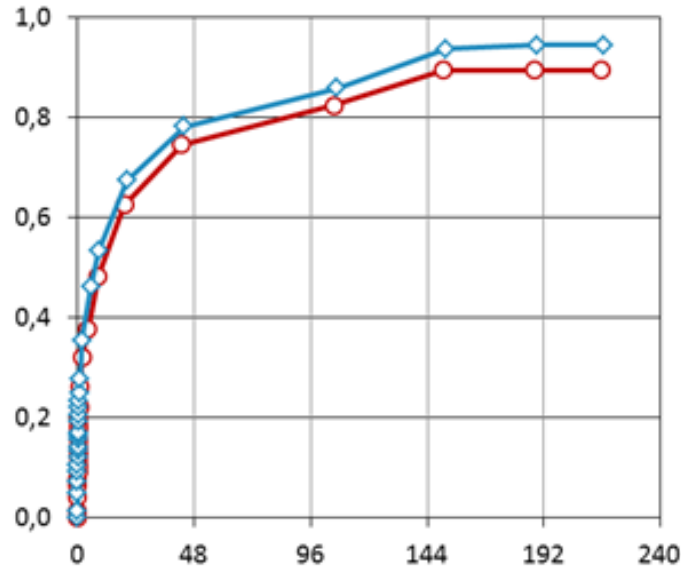


# Kloridindtrængning i beton - konvektion



# Kloridindtrængning i beton - konvektion

Vandopsugning, kg/m<sup>2</sup>

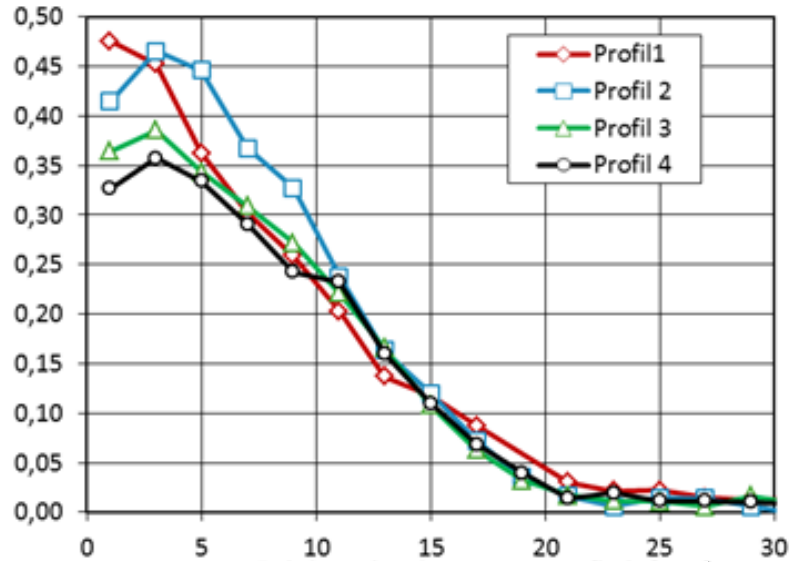


Kontrol af  
forløbet af  
*opfugtningen*

Opsugningstid, timer

# Kloridindtrængning i beton - konvektion

Kloridkoncentration, % af prøvemasse



Kontrol af indtrængning af klorid *efter* opfugtningen



# Kloridindtrængning i beton

- › Transporthastigheden for klorid bestemmes af betonens tæthed og tilstand (våd/tør og revnet/urevnet)
- › Tætheden af beton bestemmes dels af  $v/c$ -forholdet og dels af bindemiddeltypen
- › Mikrosilica, flyveaske og højovns slagge er effektive som cementerstatninger, når man vil reducere transporthastigheden for klorid
- › Når klorid trænger ind i beton sker samtidig en form for binding (kemisk/fysisk)

# Grundlæggende model

## *Empirisk model for kloridindtrængning:*

- > Én-dimensional, indtrængning i et halvuendeligt rum
- > Konstante parametre
- > Lineær bindingsisoterm

# Grundlæggende model

## Ficks 2. lov og enkle betingelser:

$$\frac{\partial C}{\partial t} = D_0 \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} \quad x > 0, \quad t > t_{ex} \quad (\text{differentialligning})$$

$$C(x, t) = C_s \quad x = 0, \quad t \geq t_{ex} \quad (\text{randbetingelse})$$

$$C(x, t_{ex}) = C_i \quad x > 0, \quad t = t_{ex} \quad (\text{begyndelsesbetingelse})$$

***Én-dimensional, indtrængning i et halvuendeligt rum***

# Grundlæggende model

## Ficks 2. lov – fejlfunktionsløsningen

$$C(x, t) = C_i + (C_{sa} - C_i) \cdot \operatorname{erfc} \left( \frac{x}{2\sqrt{D_a \cdot (t - t_{ex})}} \right)$$

*Løsningen findes i lærebøger*

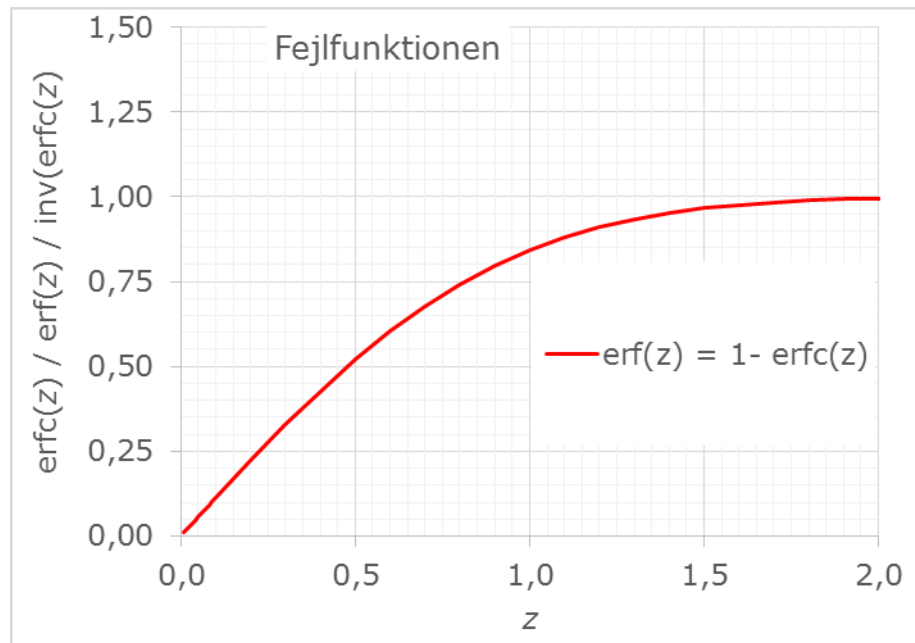
# Fejlfunktionen

$$\operatorname{erf}(z) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^z \exp(-u^2) du$$

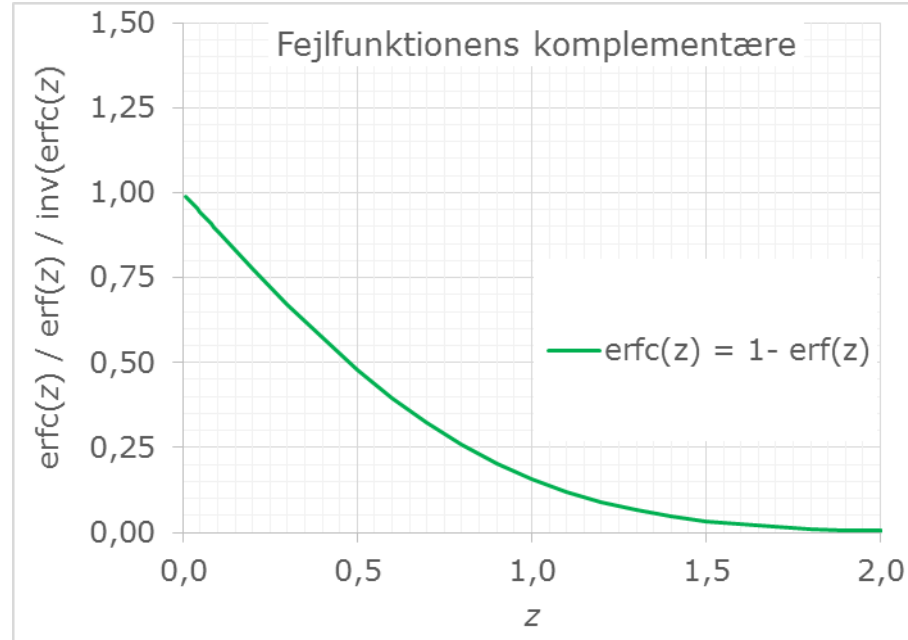
$$\operatorname{erf}(z) = 1 - \operatorname{erfc}(z) \quad \text{og derfor:} \quad \operatorname{erfc}(z) = 1 - \operatorname{erf}(z)$$



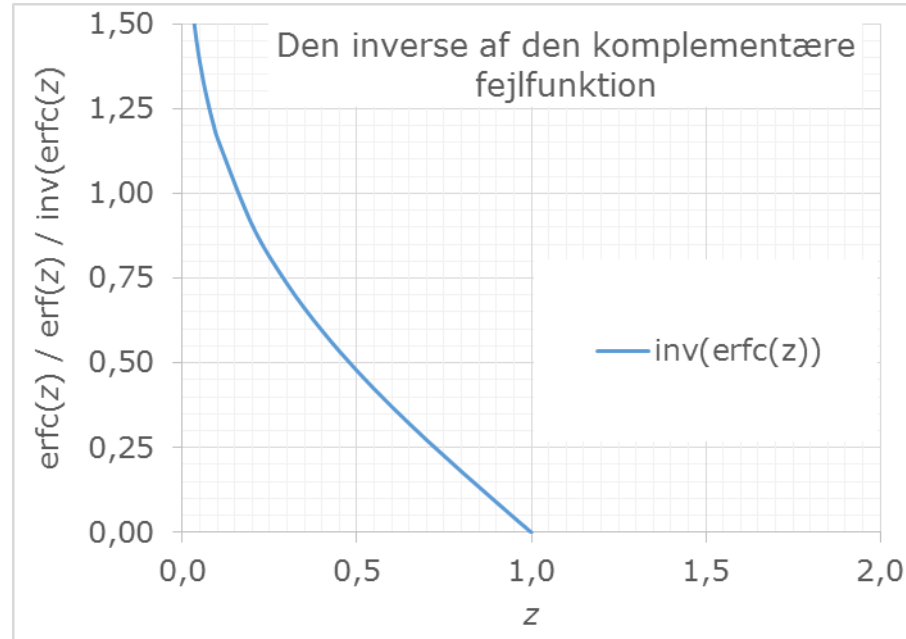
# Fejlfunktionen



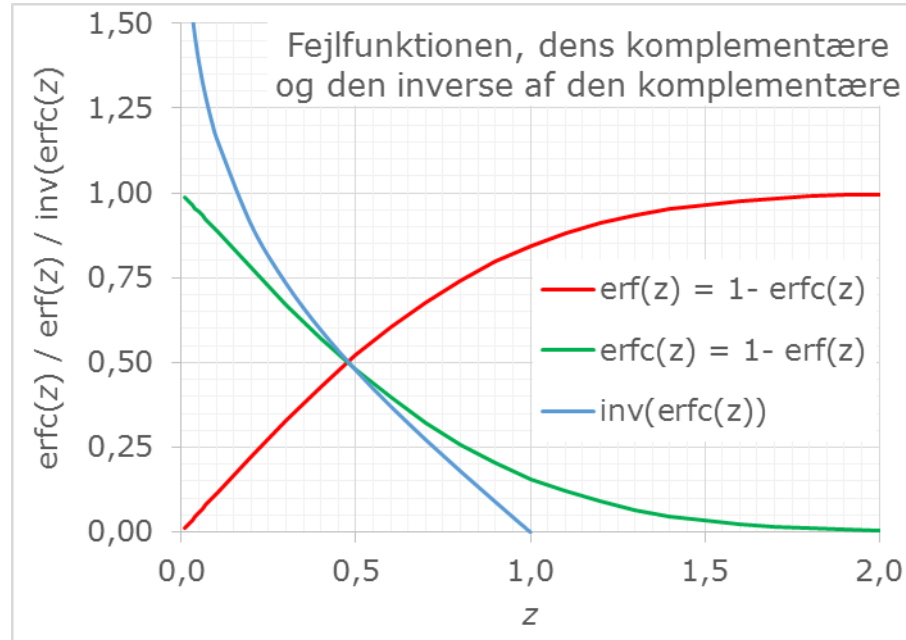
# Fejlfunktionen



# Fejlfunktionen



# Fejlfunktionen



## Ficks 2. lov – fejlfunktionsløsningen

$$C(x, t) = C_i + (C_{sa} - C_i) \cdot \operatorname{erfc} \left( \frac{x}{2\sqrt{D_a \cdot (t - t_{ex})}} \right)$$

$$x = 2 \cdot \sqrt{D_a} \cdot \operatorname{erfc}^{-1} \left( \frac{C(x, t) - C_i}{C_{sa} - C_i} \right) \sqrt{(t - t_{ex})}$$

# Ficks 2. lov – kvadratrodsformlen

$$x = 2 \cdot \sqrt{D_a} \cdot \operatorname{erfc}^{-1} \left( \frac{C_r - C_i}{C_{sa} - C_i} \right) \sqrt{(t - t_{ex})}$$

$$K_{C_r} = 2 \cdot \sqrt{D_a} \cdot \operatorname{erfc}^{-1} \left( \frac{C_r - C_i}{C_{sa} - C_i} \right)$$

Varierer med tiden

# Ficks 2. lov – kvadratrodsformlen

$$x = K_{C_r} \sqrt{(t - t_{ex})}$$

Da

$$t \gg t_{ex}$$

fås

$$x_r = K_r \sqrt{t}$$

# Ficks 2. lov – kvadratrodsformlen

$$x_r = K_r \sqrt{t}$$

Hvis  $x$  måles i mm og  $t$  i år,  
så er enheden for  $K_r$  mm/ $\sqrt{\text{år}}$

$K_r$  kaldes derfor undertiden  
for "førsteårsindtrængningen"

**Men hvis  $K_r$  er en konstant *kan* det være  
et specialtilfælde...**



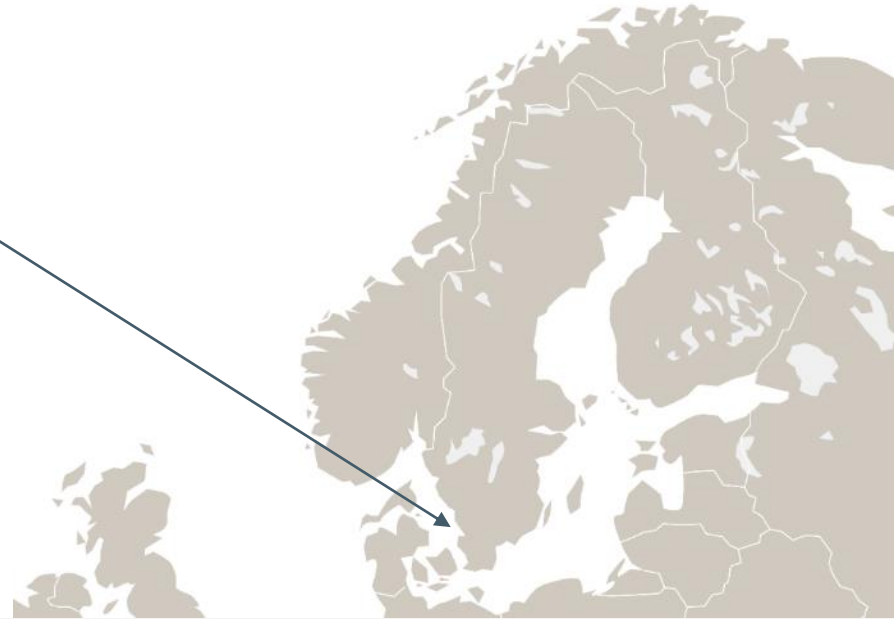
# Kloridindtrængning i beton

- > Siden ca. 1988 er måden at måle kloridindhold i beton blevet aftalt internationalt.
- > (De fælles standarder er ældre, men i praksis blev en række alternative metoder indført og påvirket "de facto standarden").
- > Siden ca. 1991 er der internationalt aftalt måden at måle calciumindholdet i beton på.
- > **Derfor** kan kloridindtrængning i dag **observeres** med et korrekt resultat.

# Kloridindtrængning i beton

- > Det er velkendt, at vi kan lære meget af laboratorieforsøg
- > Men det er også velkendt, at data fra laboratoriet er svære at bruge under naturlige eksponeringsforhold
- > Hovedproblemet, når vi forsøger at indsamle information om kloridindtrængen i forskellige miljøer og for forskellige typer beton, er manglen på et godt homogent datasæt.
- > Dette blev forudset af en gruppe svenskere i begyndelsen af 1990'erne - eksponeringsstationen i Träslövsläge blev dannet

# Träslövsläge



# Träslövsläge Marine eksponeringsstation under drift og tilsyn af SP i Borås



## Prøver:

Betonplader (tynde, "lette")  
(1000 x 700 x 100 mm)

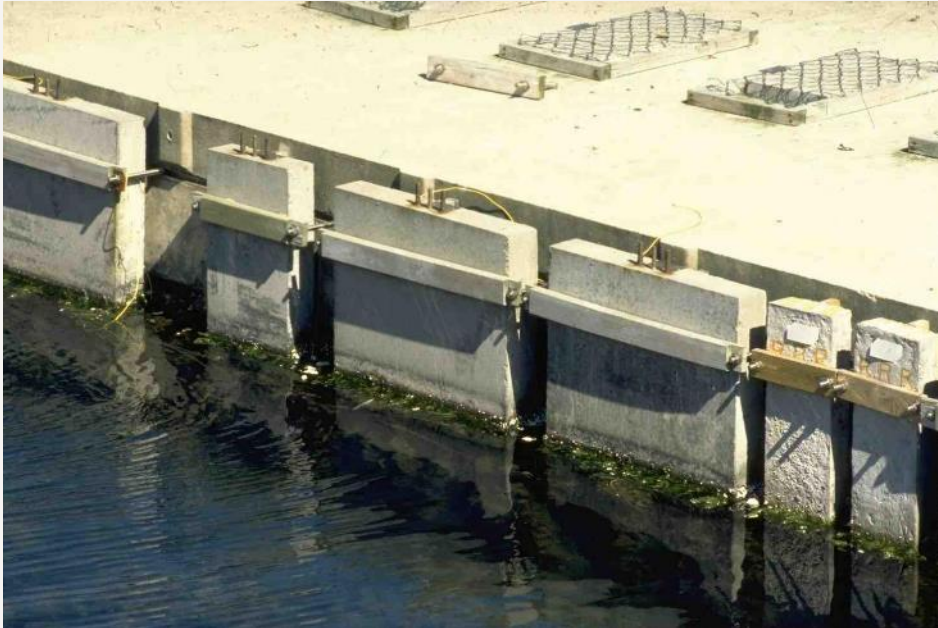
## Eksponeringstyper:

- > Marin atmosfære zone
- > Marin plaskezone (ikke rigtig alligvel!)
- > Neddykket zone ( $14 \pm 4$  g chlorid/l)

# Naturlig eksponering i Träslövsläge



# Naturlig eksponering i Träslövsläge



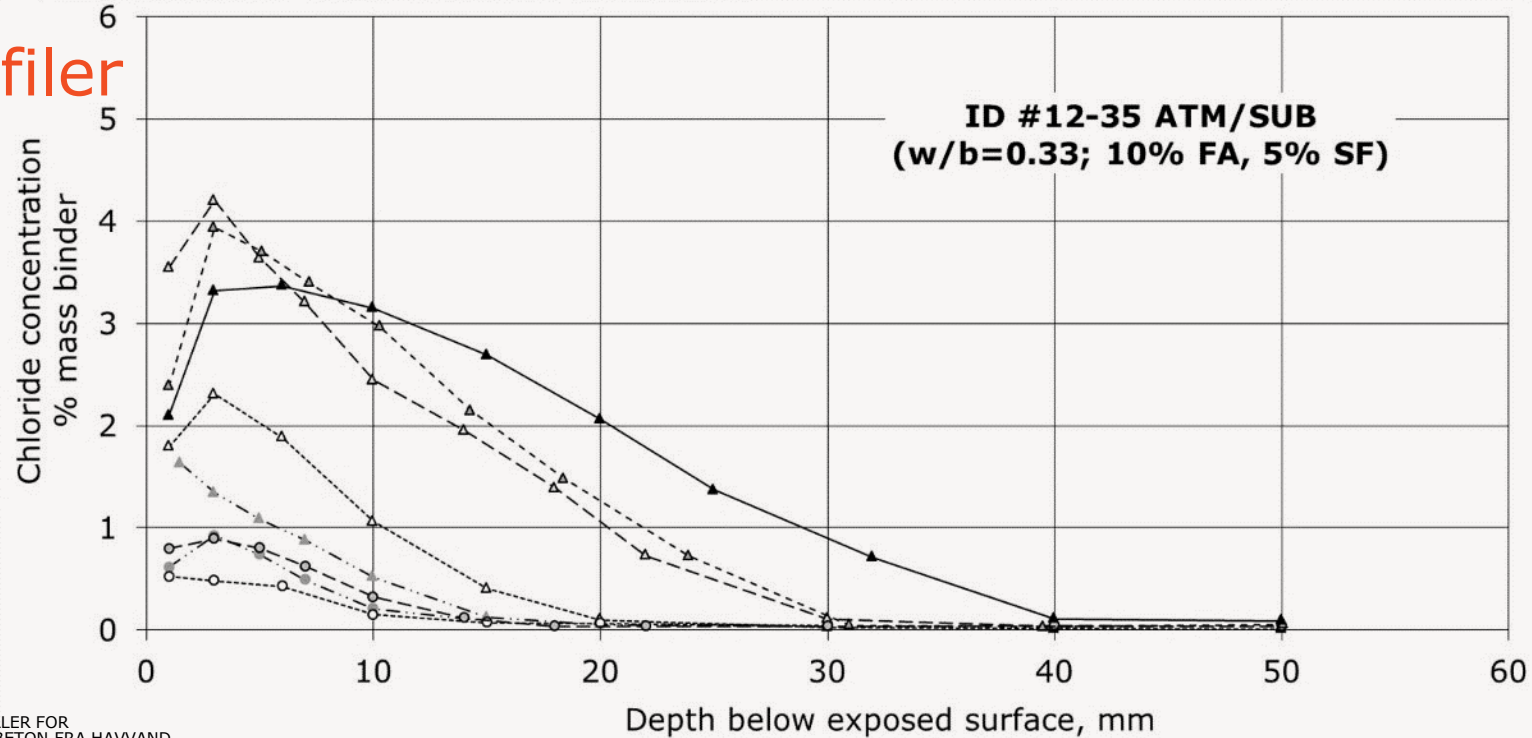
- > ATM
  - > SPL
  - > SUB
- 
- > 40 typer beton
  - > Profiler målt ved 1 til 5 forskellige eksponeringstider
  - > I alt mere end 200 klorid- og calciumprø
  - > Mere end 1000 punkter på profiler



# Målte kloridprofiler

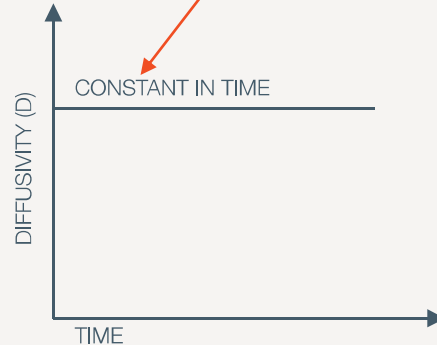
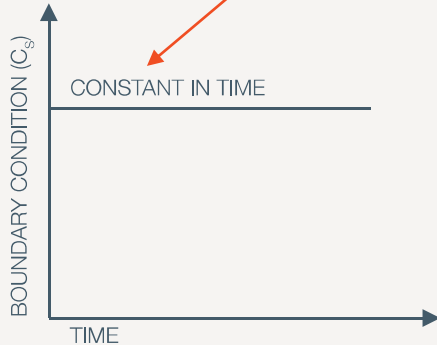
--▲--SUB: 0.67 y; Da=56.1 mm<sup>2</sup>/y;Csa=1.9 %  
--△--SUB: 2.07 y; Da=19.9 mm<sup>2</sup>/y;Csa=3.7 %  
-▲-SUB: 5.23 y; Da=22.8 mm<sup>2</sup>/y;Csa=4.9 %  
-△-SUB: 10.2 y; Da=13.6 mm<sup>2</sup>/y;Csa=5.1 %  
→SUB: 20.6 y; Da=13.6 mm<sup>2</sup>/y;Csa=4.6 %

--●--ATM: 0.67 y; Da=35.8 mm<sup>2</sup>/y;Csa=1.4 %  
--○--ATM: 2.07 y; Da=8.1 mm<sup>2</sup>/y;Csa=1.3 %  
-○-ATM: 5.23 y; Da=5.2 mm<sup>2</sup>/y;Csa=1.6 %  
●ATM: 10.2 y; Da=6.7 mm<sup>2</sup>/y;Csa=2.3 %



# Den simple fejlfunktionsløsning. To parametre

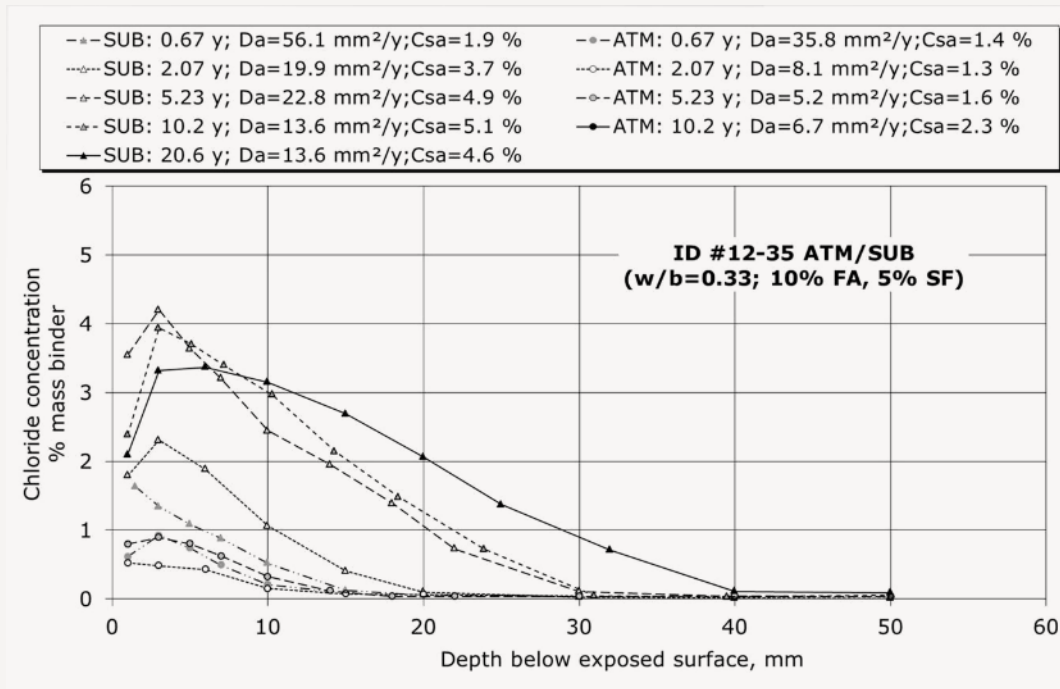
$$C(x, t) = C_i + (C_s - C_i) \operatorname{erfc}\left(\frac{x}{2\sqrt{Dt}}\right)$$



$C_s = C_{sa} = \text{konstant for alle } t$   
 $D = D_a = \text{konstant for alle } t$

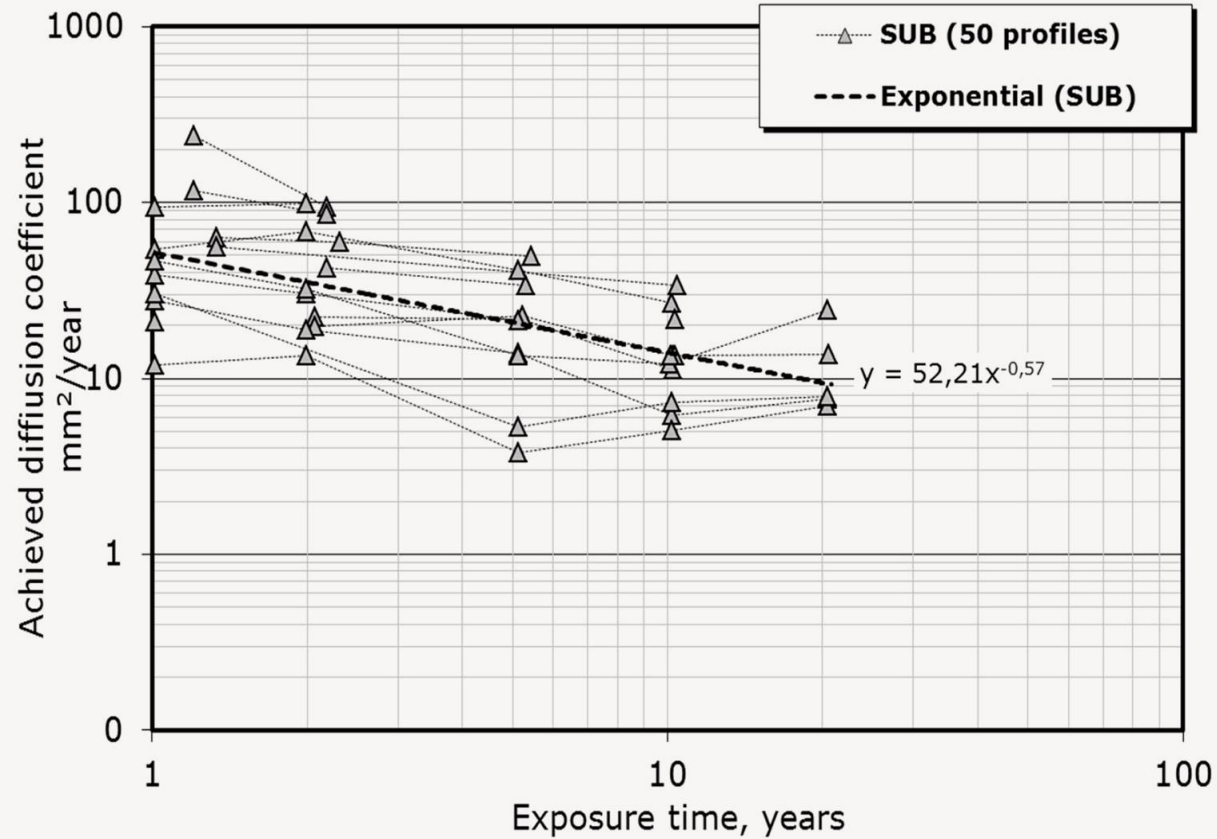


# Målte kloridprofiler

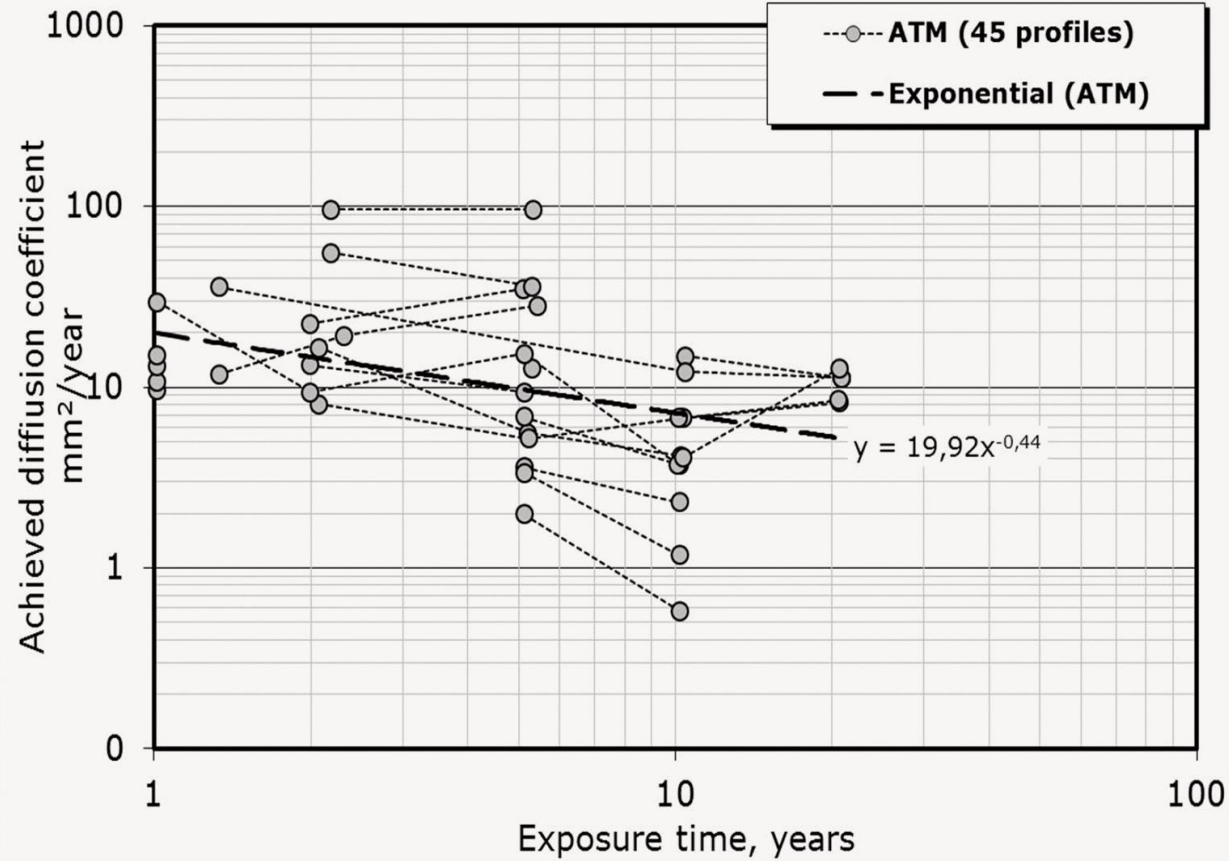


$D_a$  aftager med tiden

Fitted parameters  
from chloride  
profiles –  $D_a$  is  
decreasing

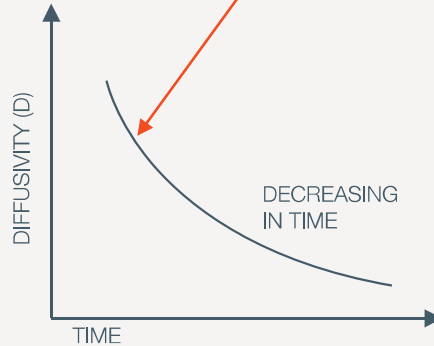
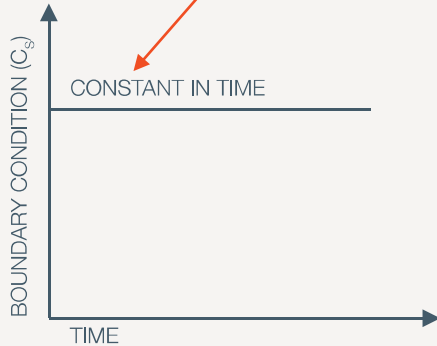


Fitted parameters  
from chloride  
profiles –  $D_a$  is  
decreasing



# Anvendt model – tre parametre

$$C(x, t) = C_i + (C_{sa} - C_i) \operatorname{erfc} \left( \frac{0.5x}{\sqrt{(t - t_{ex}) D_a (t - t_{ex})}} \right)$$



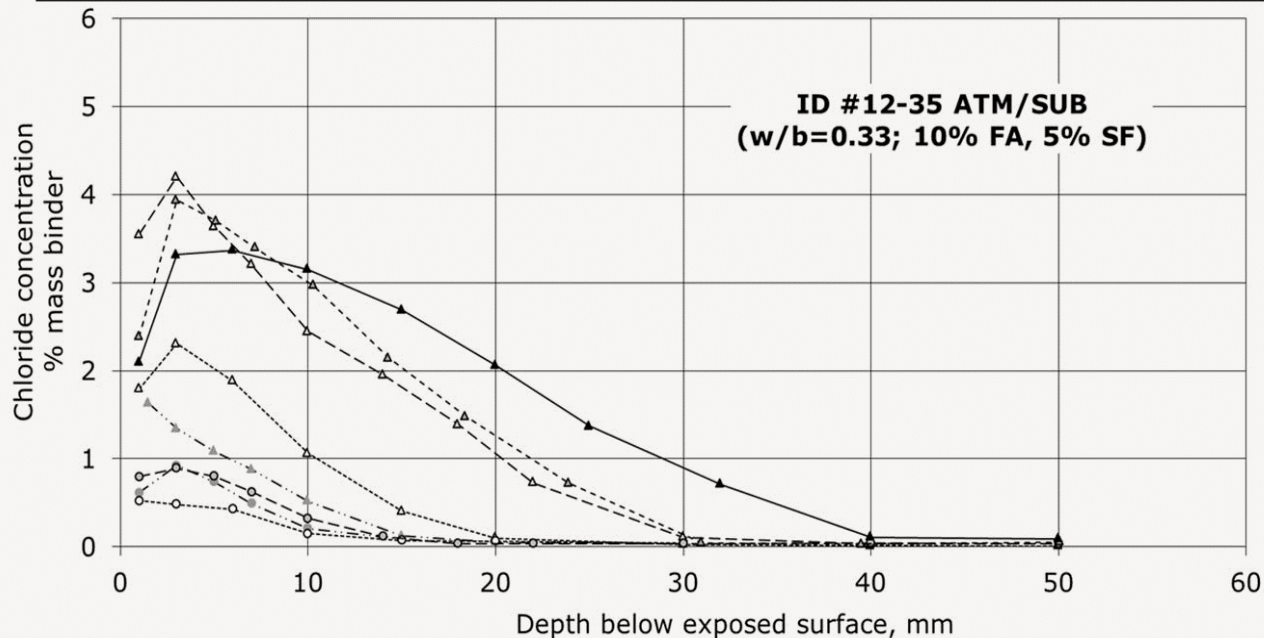
$$D_a(t) = D_{aex} \left( \frac{t_{ex}}{t} \right)^\alpha$$

**D ændredes til  $D_a$**   
Et gennemsnit over eksponeringstiden

# Målte kloridprofiler

Endnu et problem:  
 $C_{sa}$  vokser

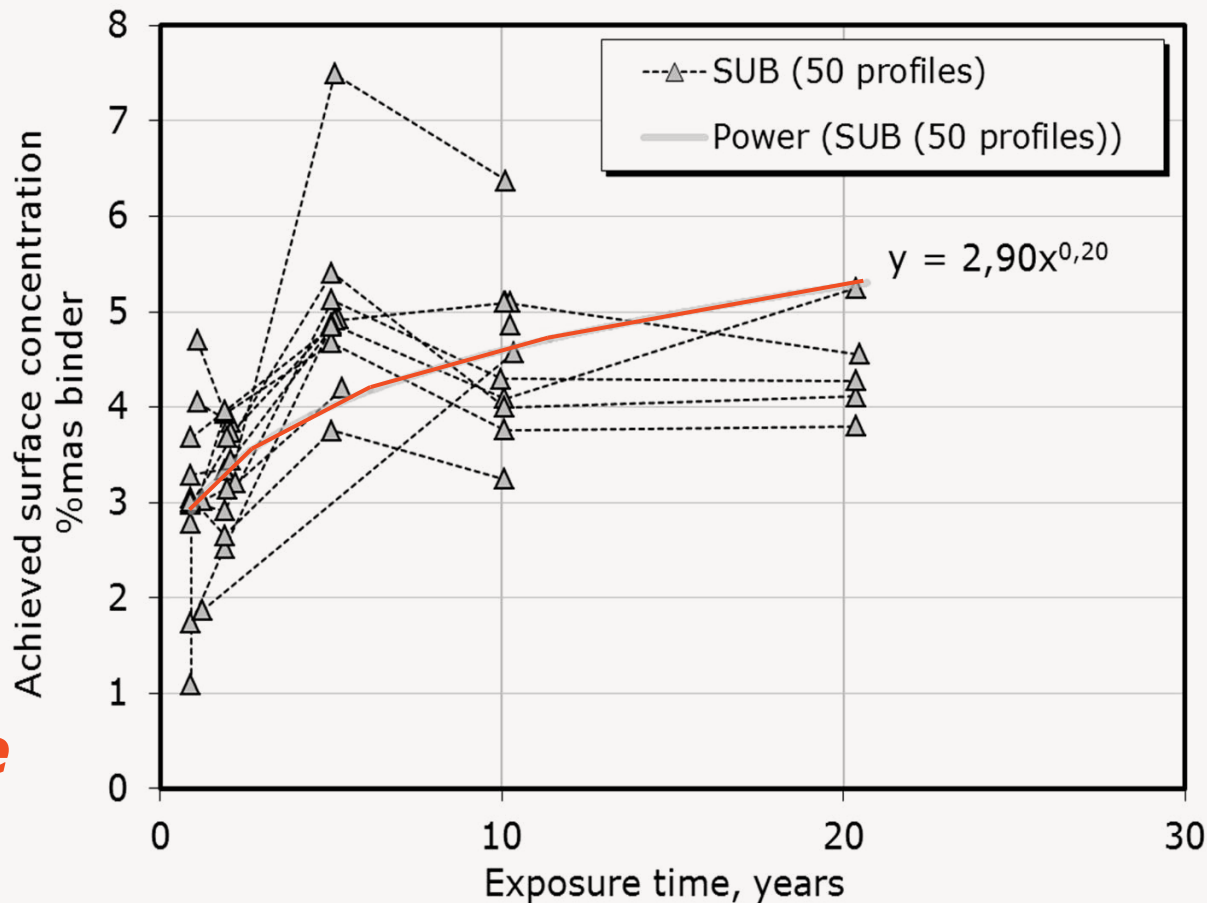
-▲- SUB: 0.67 y; $Da=56.1 \text{ mm}^2/\text{y}$ ; $C_{sa}=1.9 \%$	-●- ATM: 0.67 y; $Da=35.8 \text{ mm}^2/\text{y}$ ; $C_{sa}=1.4 \%$
-▲- SUB: 2.07 y; $Da=19.9 \text{ mm}^2/\text{y}$ ; $C_{sa}=3.7 \%$	-○- ATM: 2.07 y; $Da=8.1 \text{ mm}^2/\text{y}$ ; $C_{sa}=1.3 \%$
-▲- SUB: 5.23 y; $Da=22.8 \text{ mm}^2/\text{y}$ ; $C_{sa}=4.9 \%$	-◇- ATM: 5.23 y; $Da=5.2 \text{ mm}^2/\text{y}$ ; $C_{sa}=1.6 \%$
-▲- SUB: 10.2 y; $Da=13.6 \text{ mm}^2/\text{y}$ ; $C_{sa}=5.1 \%$	-●- ATM: 10.2 y; $Da=6.7 \text{ mm}^2/\text{y}$ ; $C_{sa}=2.3 \%$
-▲- SUB: 20.6 y; $Da=13.6 \text{ mm}^2/\text{y}$ ; $C_{sa}=4.6 \%$	



Fitted parameters  
from chloride  
profiles

$C_{sa}$  is increasing

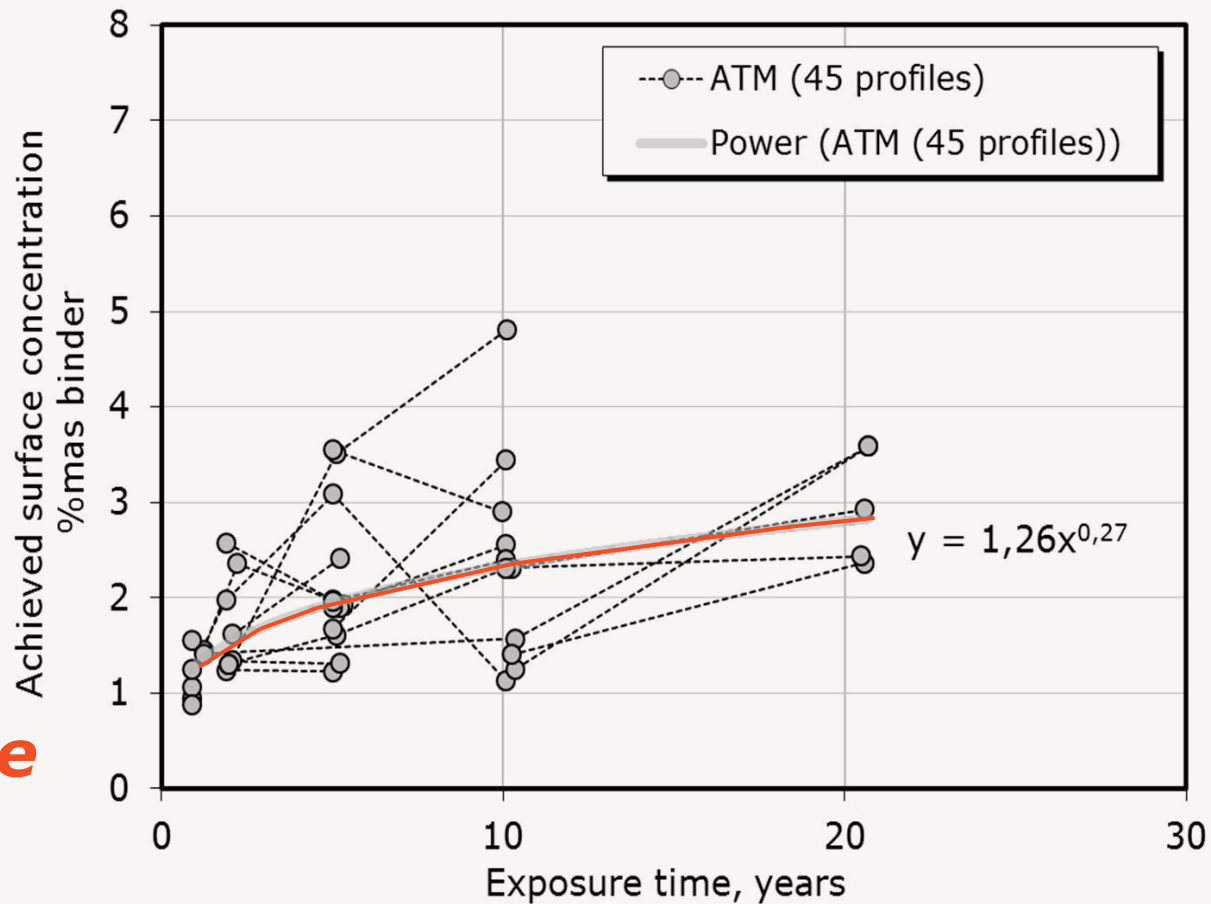
***SUBmerged zone***



Fitted parameters  
from chloride  
profiles

$C_{sa}$  is increasing

**ATMosphere zone**



## Fick's 2<sup>nd</sup> law – Leif Mejlbro's solution

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\partial C}{\partial t} = D \frac{\partial^2 C}{\partial x^2}, \quad x > 0, t > 0 \\ C(0, t) = t^p, \quad t > 0, \quad p > -1 \text{ (constant)} \\ C(x, 0) = 0, \quad x > 0 \\ \lim_{x \rightarrow +\infty} C(x, t) = 0, \quad t > t_{ex} \end{array} \right.$$



## Fick's 2<sup>nd</sup> law – Leif Mejlbro's solution

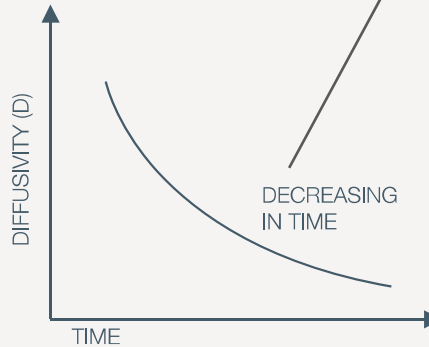
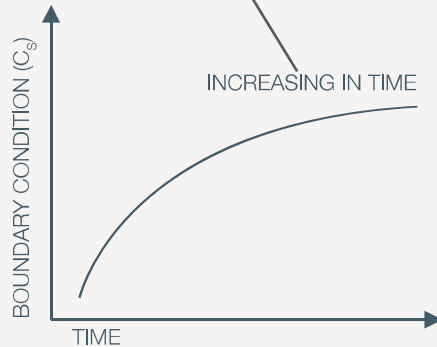
$$C(x,t) = C_i + (C_{sa}(t - t_{ex}) - C_i) \times \Psi_p \left( \frac{0.5x}{\sqrt{(t - t_{ex})D_a(t - t_{ex})}} \right)$$

$\Psi_p$  er en ny funktion – kaldet "Mejlbro's Psi-funktion", og er simpelthen fejlfunctionens komplementære (erfc) gjort generel, dvs.

$$\Psi_{p=0}(z) = \text{erfc}(z) = 1 - \text{erf}(z)$$

# The Mejlbro-Poulsen Model

$$C(x,t) = C_i + (C_{sa}(t-t_{ex}) - C_i) \times \Psi_p\left(\frac{0.5x}{\sqrt{(t-t_{ex})D_a(t-t_{ex})}}\right)$$



# The Mejlbro-Poulsen Model

$$C(x,t) = C_i + (C_{sa}(t-t_{ex}) - C_i) \times \Psi_p\left(\frac{0.5x}{\sqrt{(t-t_{ex})D_a(t-t_{ex})}}\right)$$

There is four parameters:

$$D_{av,ex} \approx D_{aex} \quad \alpha \quad S_p \quad p$$

or the derived and physical meaningful ones

$$D_1 \quad D_{100} \quad C_1 \quad C_{100}$$

# The Mejlbro-Poulsen Model

$$C(x, t) = C_i + (C_{sa}(t - t_{ex}) - C_i) \times \Psi_p \left( \frac{0.5x}{\sqrt{(t - t_{ex})D_a(t - t_{ex})}} \right)$$

$$C_{sa} = C_i + S \times \left( (t - t_{ex}) \times D_{aex} \times \left( \frac{t_{ex}}{t} \right)^\alpha \right)^p$$

$$S = S_p / (t_{ex} D_{aex})^p$$

$$D_a(t) = D_{ach}(t) \approx D_{av}(t) = D_{av,ex} \left( \frac{t_{ex}}{t} \right)^\alpha$$



**Constitutive  
models**

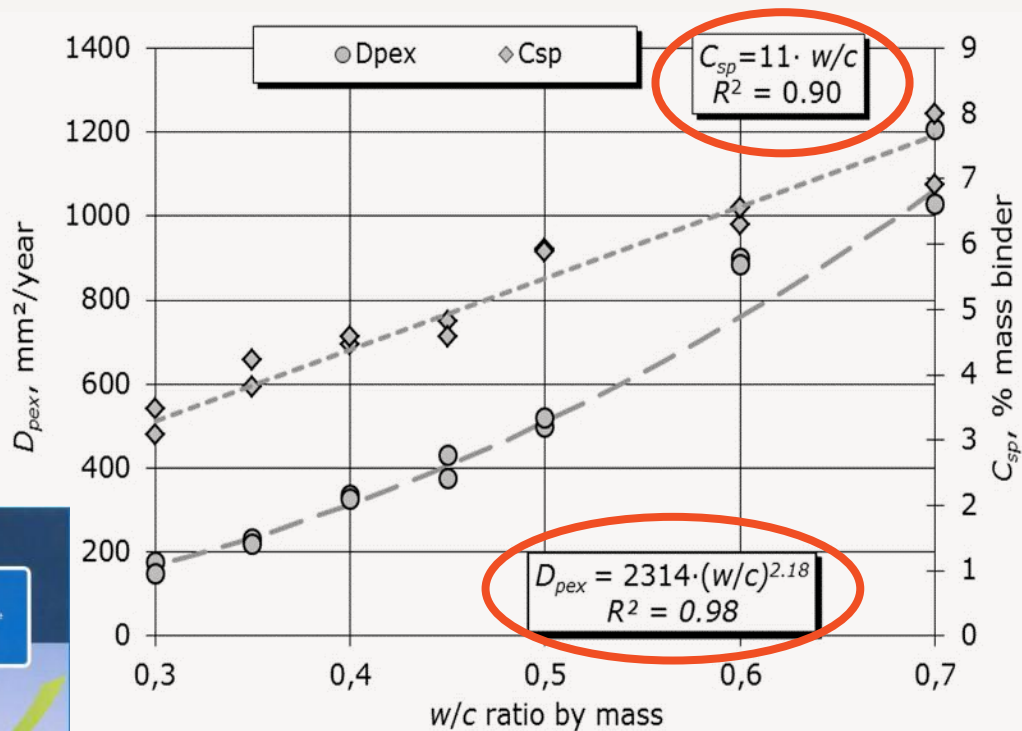
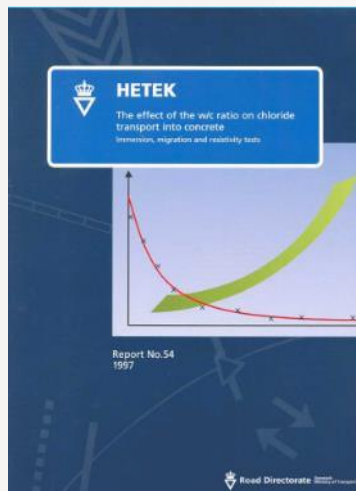
**Empirical  
models**

# Konstitutive modeller

Baseret på  
laboratorieresultater

Rapport 54

HETEK 1997



# Konstitutive modeller

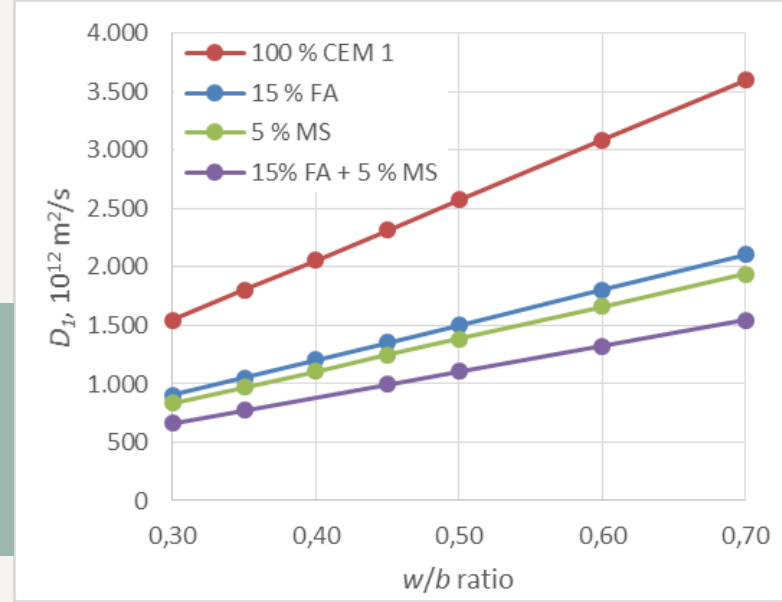
Ækvivalent v/c-  
forhold til  
kloridindtrængning  
og til binding

$$eqv(wL/c)_D = \frac{W + k_{air,D} \cdot L}{C + FA \cdot k_{FA,D} + MS \cdot k_{MS,D}}$$

$$eqv(w/c)_C = \frac{W}{C + FA \cdot k_{FA,C} + MS \cdot k_{MS,C}}$$

# Konstitutive modeller

Relation between the first year achieved diffusivity and the equivalent water to cementitious ratio for chloride ingress



$$D_1 = B \cdot \left( eqv \left( \frac{wL}{c} \right)_D \right)^N \cdot k_{D_1,env}$$

[ $\text{mm}^2/\text{year}$ ]



# Constitutive models

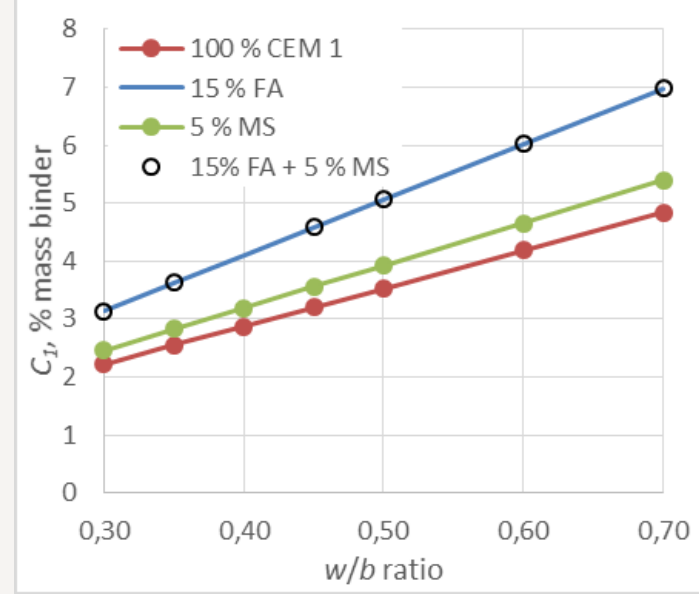
Forholdet mellem aldringsfaktor og miljø

OBS: Der blev ikke observeret effekt af betonkvalitet!

$$\alpha = k_{\alpha, env}$$

# Constitutive models

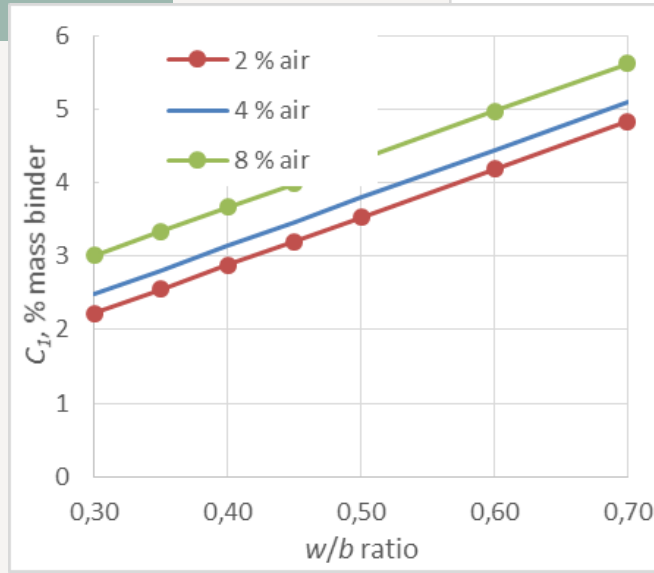
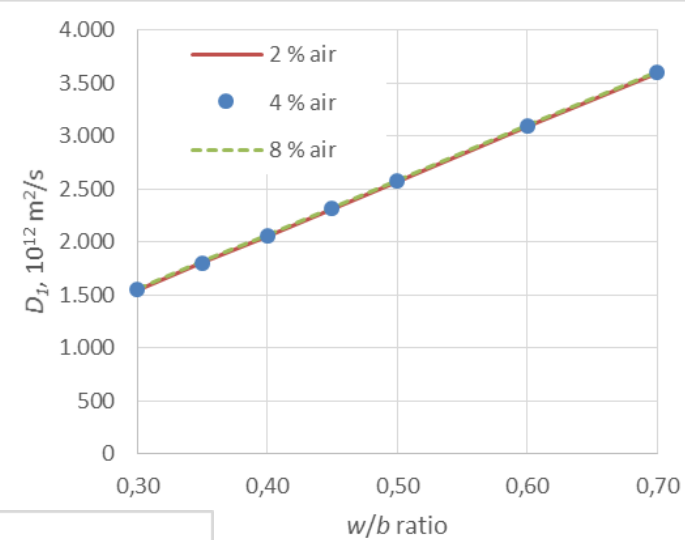
Forholdet mellem det første års grænsebetingelse og det ækvivalente forhold mellem vand og cement for kloridbinding



$$C_1 = (A \cdot eqv(w/c)_C + k_{air,C} \cdot L) \cdot k_{C_1,env} \quad [\% \text{ mass binder}]$$

# Konstitutive modeller

Effekt af luftindblanding på første års opnået diffusivitet og første års randværdi



# Konstitutive modeller

Forholdet mellem første års randværdi og det ækvivalente forhold mellem vand og cement for kloridbinding

$$C_{100} = C_1 \cdot k_{C_{100}, env} \quad [\% \text{ mass binder}]$$

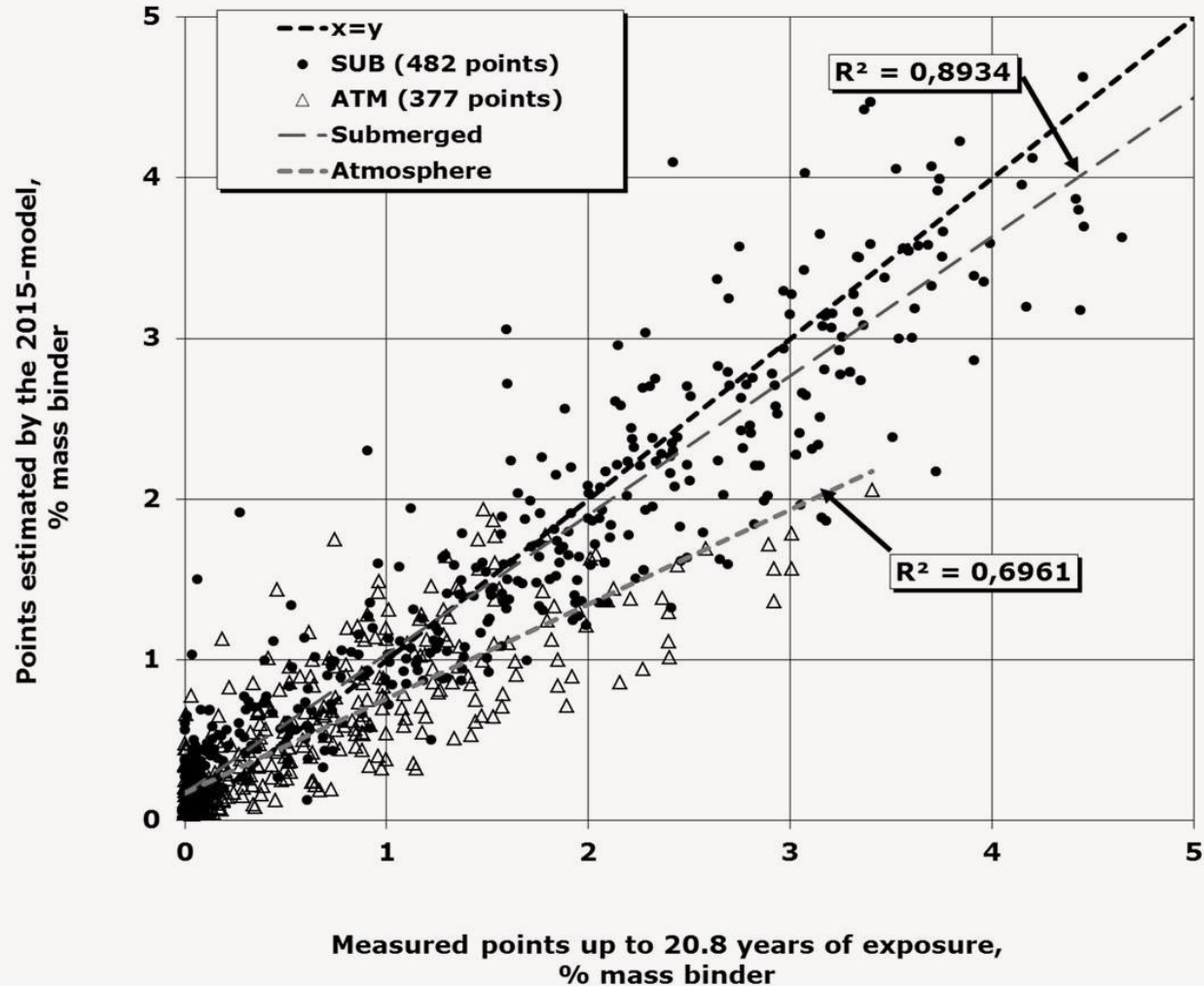
# Konstitutive modeller

*I alt har vi nu 17 koefficienter at bestemme ud fra hele datasættet*

# Optimering

A large concrete bridge structure spans across a body of water. The view is from underneath the bridge, looking out towards a town and another bridge in the distance. The sky is overcast.

# The resulting optimisation

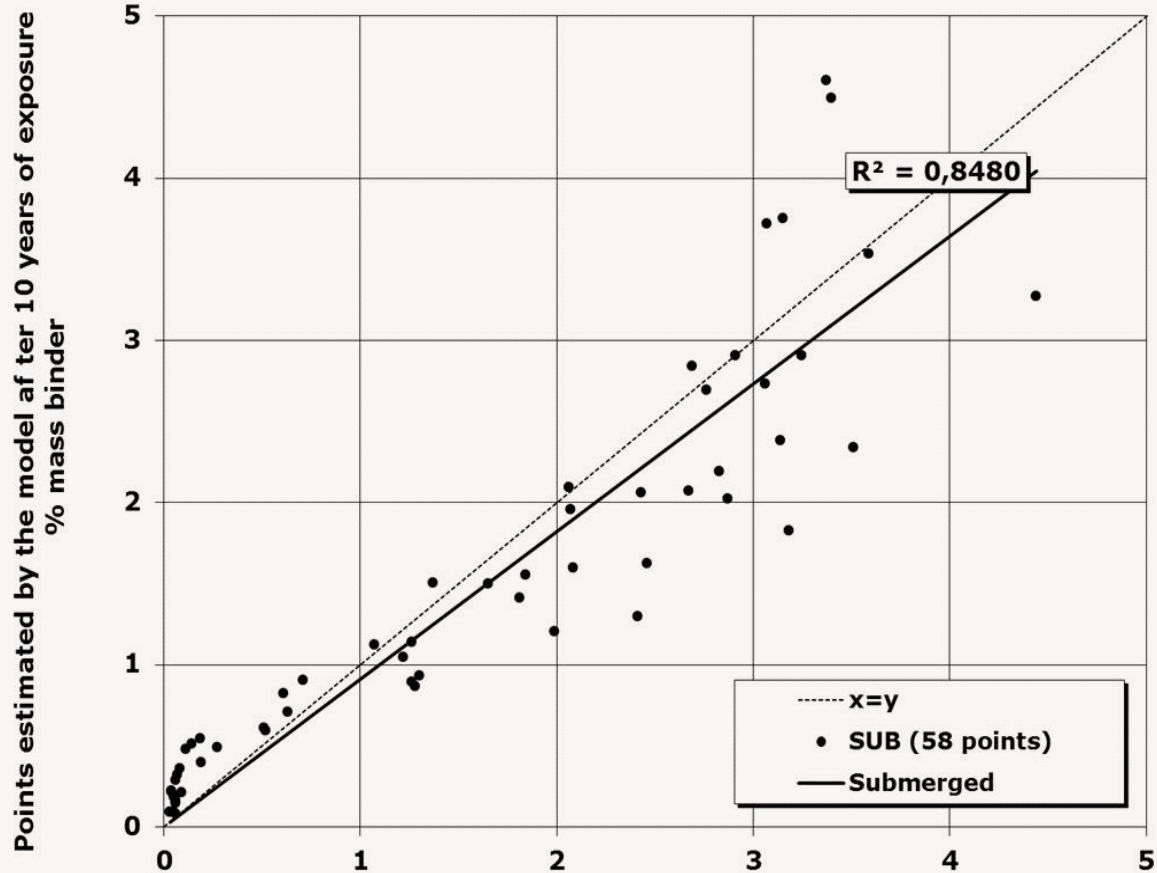


# The optimised coefficients for the constitutive models

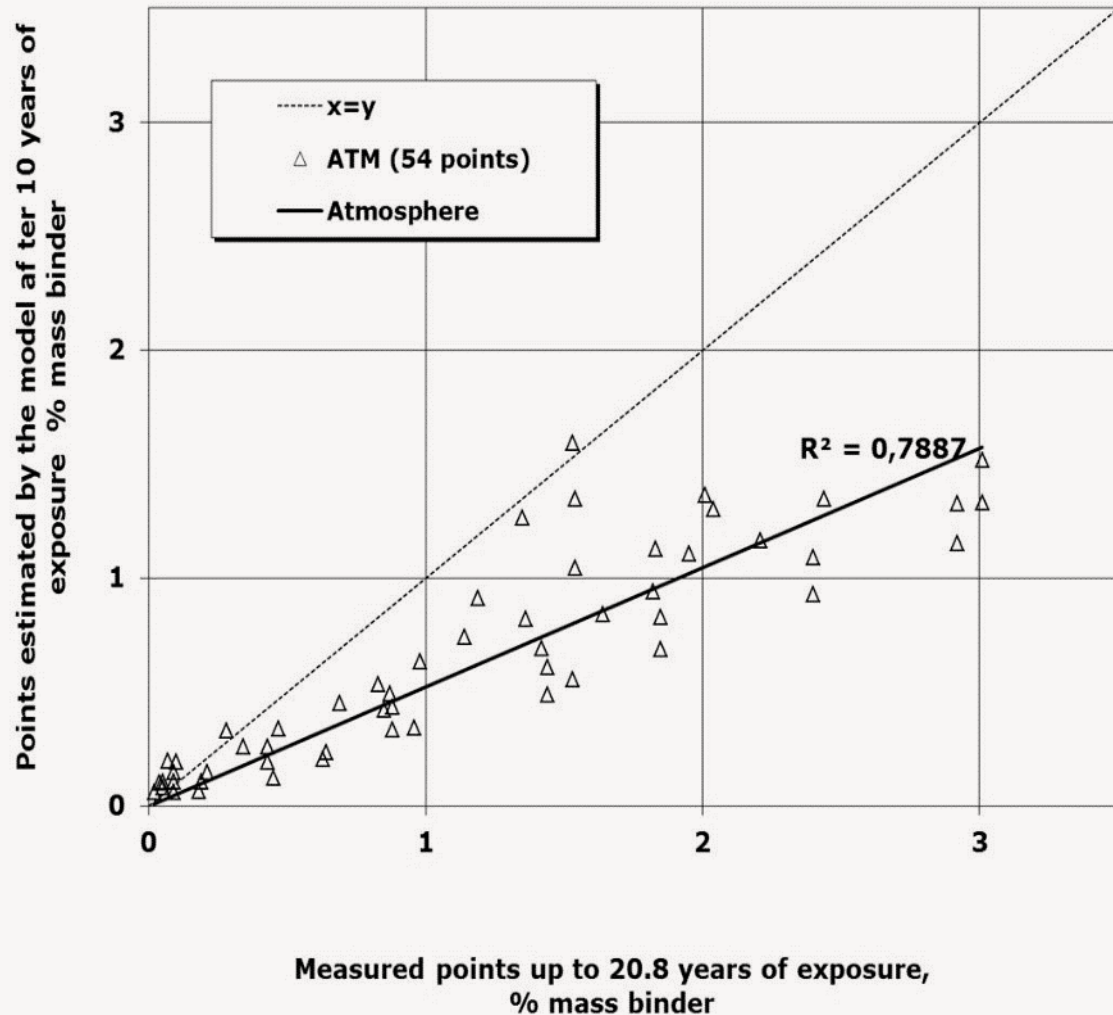
Coefficients in transport	Coefficients in binding
1. $B = 607$ [mm <sup>2</sup> /year]	1. $A = 5.5$ [% mass binder]
2. $N = 1.0$	2. $k_{air,C} = 0.11$
3. $k_{air,D} = 0.04$ [kg/%]	3. $k_{FA,C} = -1.1$
4. $k_{FA,D} = 5.7$	4. $k_{MS,C} = -1.2$
5. $k_{MS,D} = 18.1$	5. $k_{C1,ATM} = 0.52$
6. $k_{D1,ATM} = 0.15$	6. $k_{C1,SUB} = 1.2$
7. $k_{D1,SUB} = 0.46$	7. $k_{C100,ATM} = 1.5$
8. $k_{a,ATM} = 0.33$	8. $k_{C100,SUB} = 1.6$
9. $k_{a,SUB} = 0.37$	



Hvor godt kan vi estimere 20 års data med en model baseret på 10 års data?



Hvor godt kan vi estimere 20 års data med en model baseret på 10 års data?

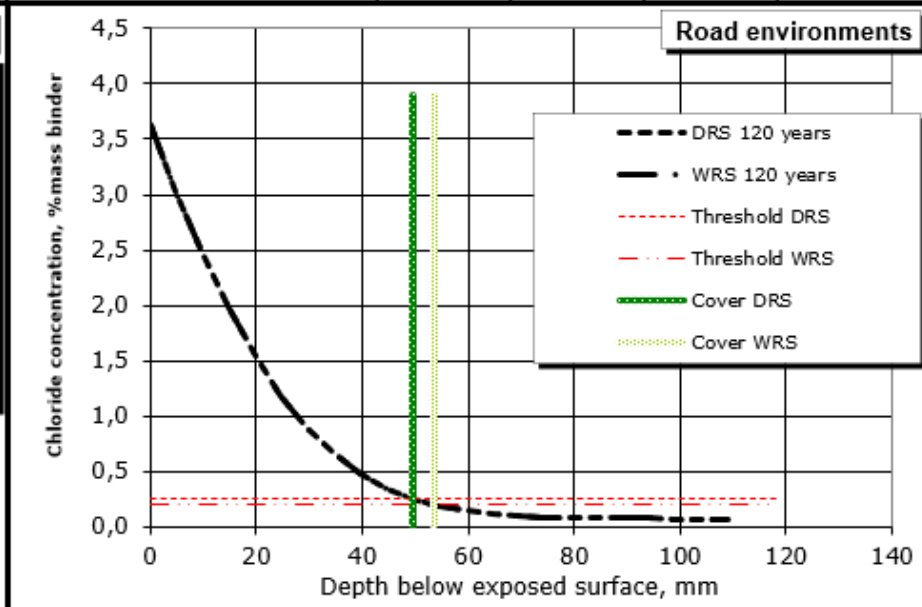
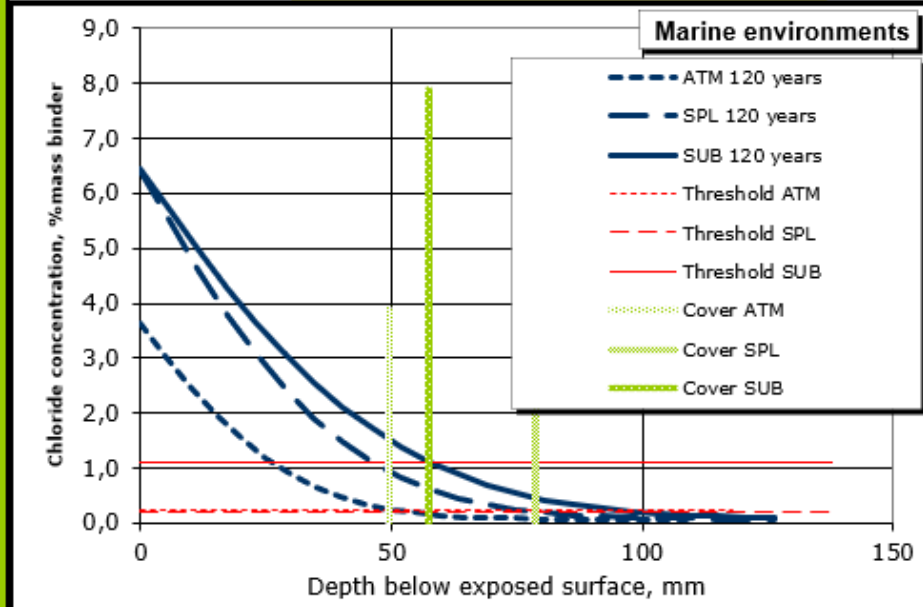


# Estimation of initiation time according to "Concrete Studies for the Fehmarnbelt Fixed Link" [Nilsson, Mejlbro, Frederiksen 2009] and [Nilsson and Frederiksen 2015].

Refer to documentation for definition of the environmental zones.

Concrete constituents etc.	SUB	SPL	ATM/DRS	WRS Unit
Cement content	83,5	87	80	80 % or kg/m <sup>3</sup>
Fly ash content	13,4	0	15	ditto
Micro silica content	3,1	13	5	5 ditto
Effective water content	36,9	35	40	40 ditto
Air content in concrete	2	6	6	6 % vol
Initial chloride content	0,08	0,08	0,08	0,08 % mass B
Concrete age at CF-exp.	0,04	0,04	0,04	0,04 year </> /y
<b>Expected init. time:</b>	<b>120</b>	<b>120</b>	<b>120</b>	<b>120</b> years
<b>w/b ratio:</b>	<b>0,37</b>	<b>0,35</b>	<b>0,40</b>	<b>0,40</b> -
<b>Expected depth of C<sub>cr</sub>:</b>	<b>58</b>	<b>79</b>	<b>50</b>	<b>53</b> mm

Diffusion coefficients	SUB	SPL	ATM/DRS	WRS Unit
$D_1$	48	31	14	14 mm <sup>2</sup> /year
$\alpha$	0,37	0,37	0,33	0,33 -
$D_{100}$	9	6	3	3 mm <sup>2</sup> /year
Surface concentrations	SUB	SPL	ATM/DRS	WRS Unit
$C_1$	3,98	3,97	2,33	2,33 % mass B
$C_{100}$	6,25	6,24	3,50	3,50 % mass B
Threshold concentrations	SUB	SPL	ATM/DRS	WRS Unit
$C_{cr}$	1,12	0,21	0,26	0,20 % mass B

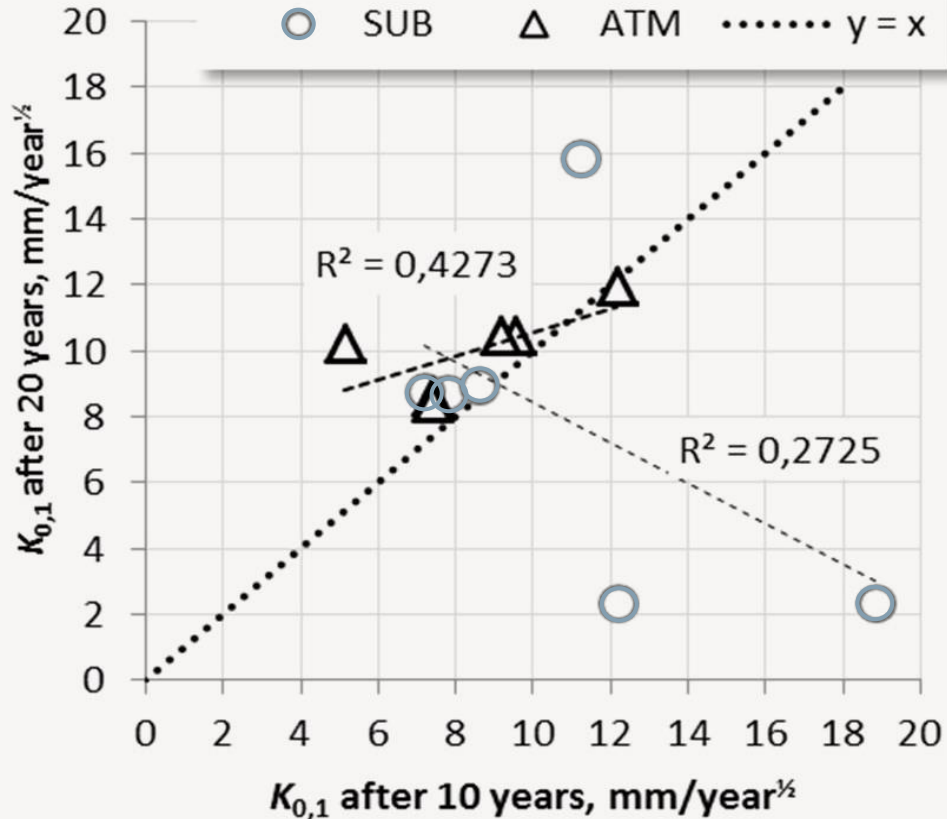


# Dårlig korrelasjon for konstant $D_a$ og $C_{sa}$ fra 10 års eksponering til 20 år

Plot of

- >  $K_{0,1}$  for 10 years of exposure vs.
- >  $K_{0,1}$  for 20 years of exposure

$$K_{C_r} = 2 \cdot \sqrt{D_a} \cdot \operatorname{erfc}^{-1} \left( \frac{C_r - C_i}{C_{sa} - C_i} \right) \cdot \sqrt{t}$$





# Resultater

An aerial photograph of a cable-stayed bridge deck over the ocean. The bridge deck is a wide, multi-lane road with white lane markings. In the center of the deck, there is a dark, rectangular area of construction material, possibly asphalt or concrete, with several orange traffic cones placed around it. The bridge is supported by cables that fan out from the sides. The water is dark blue with some ripples.



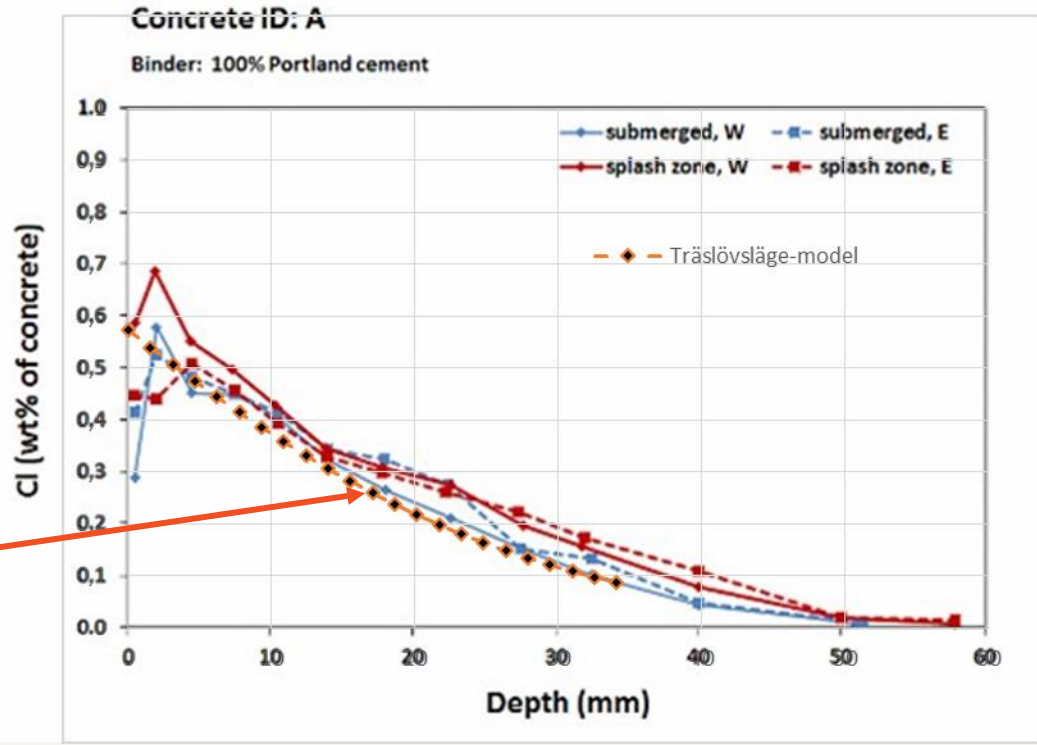
# Den naturlige eksponeringsplads i Rødby ved Femern Bælt



# Comparison with new data from Denmark

**OBS: No curve fitting  
involved**

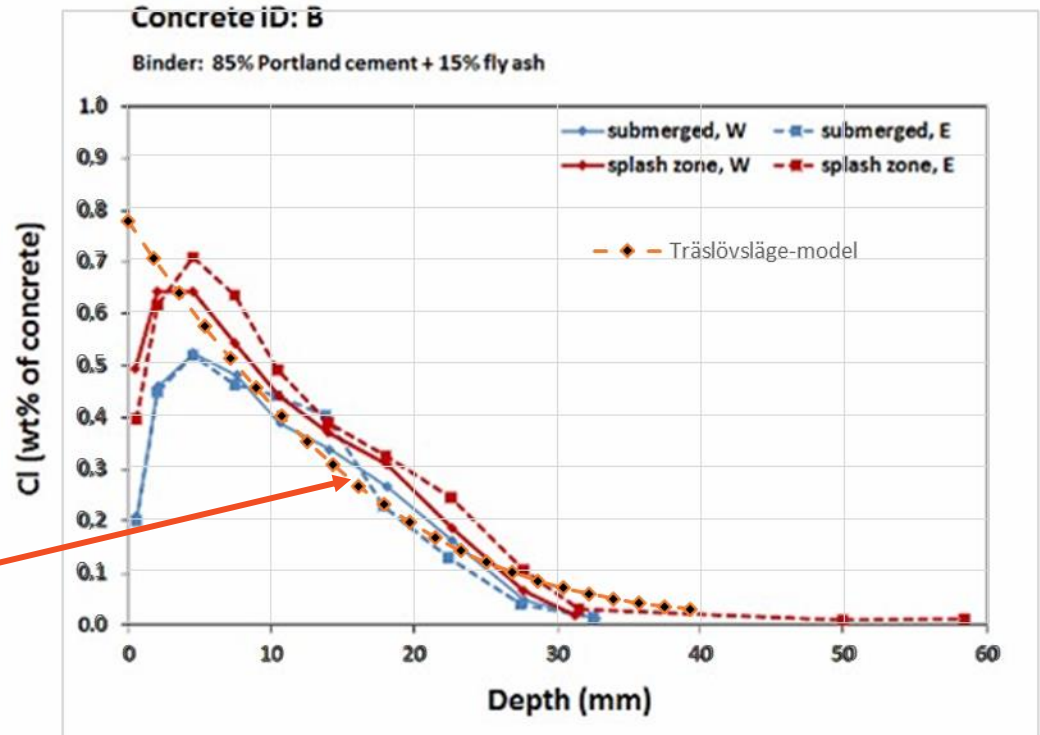
From model based on data  
from Sweden, Träslövsläge



Comparison with  
new data from  
Denmark

**OBS: No curve fitting  
involved**

From model based on data  
from Sweden, Träslövsläge

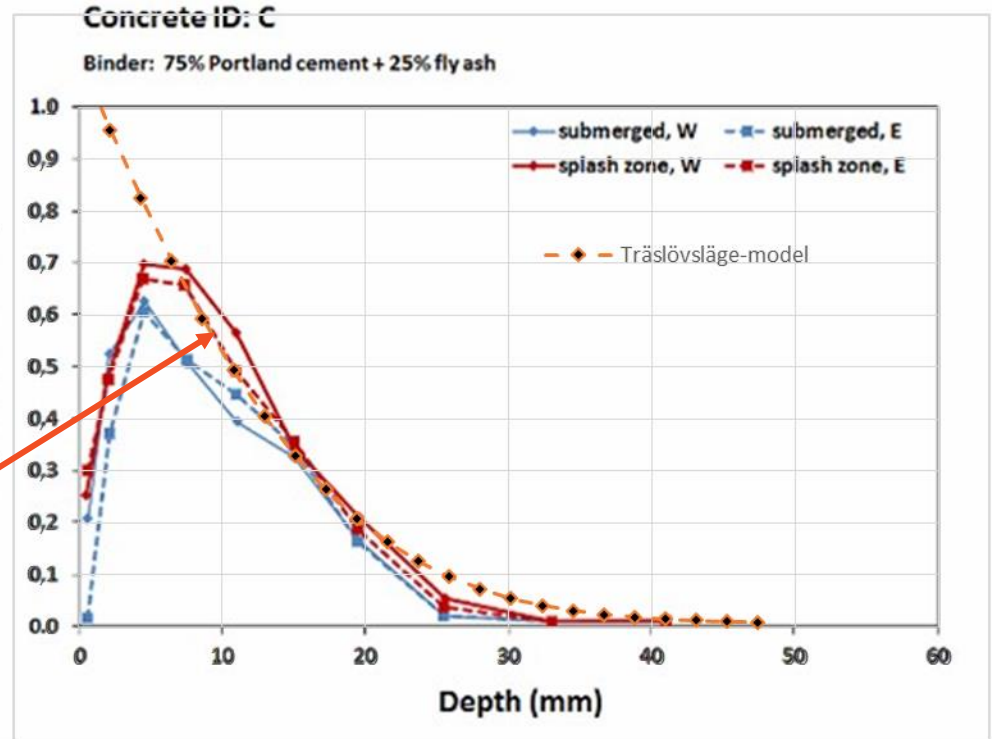




# Comparison with new data from Denmark

**OBS: No curve fitting  
involved**

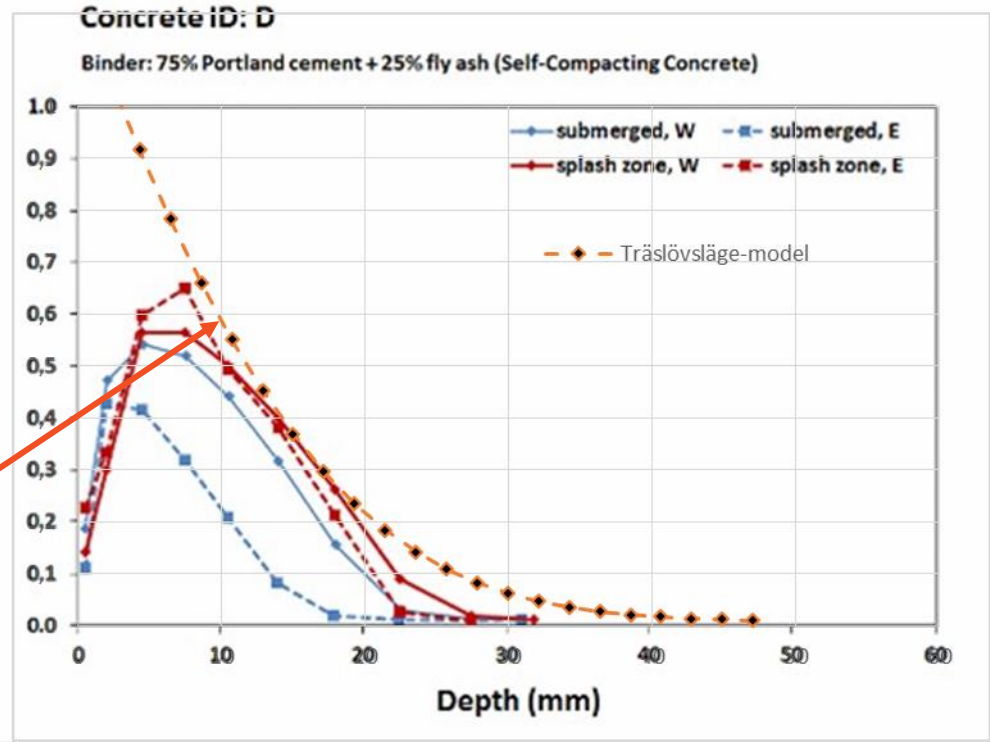
From model based on data  
from Sweden, Träslövsläge



# Comparison with new data from Denmark

**OBS: No curve fitting  
involved**

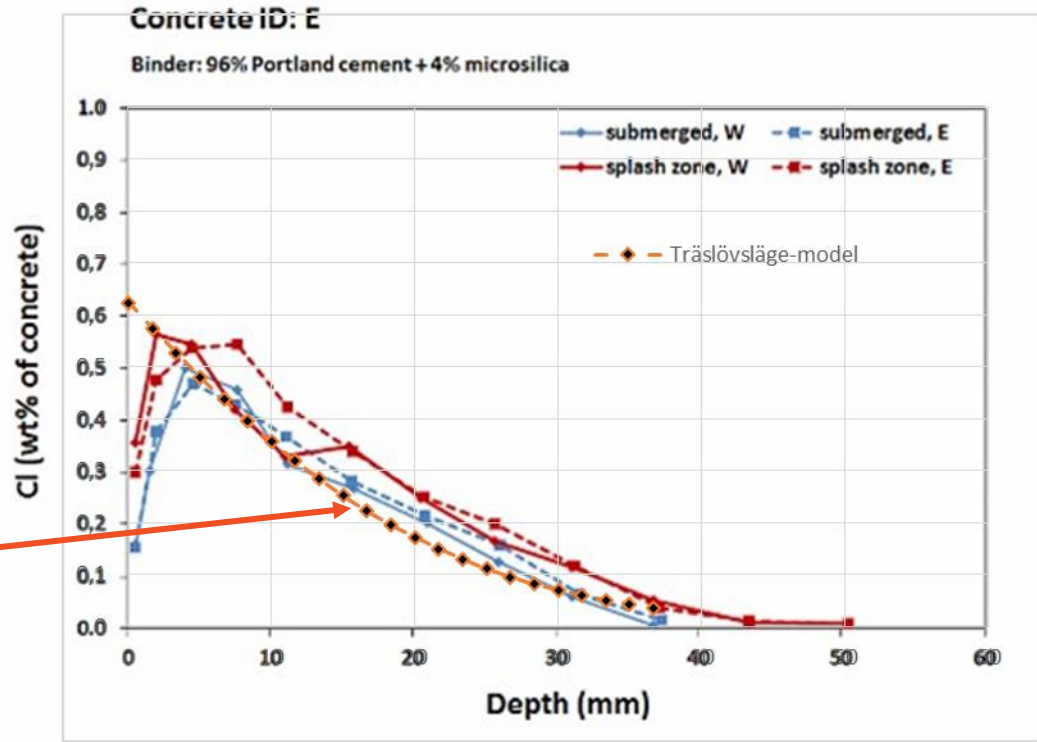
From model based on data  
from Sweden, Träslövsläge



# Comparison with new data from Denmark

**OBS: No curve fitting  
involved**

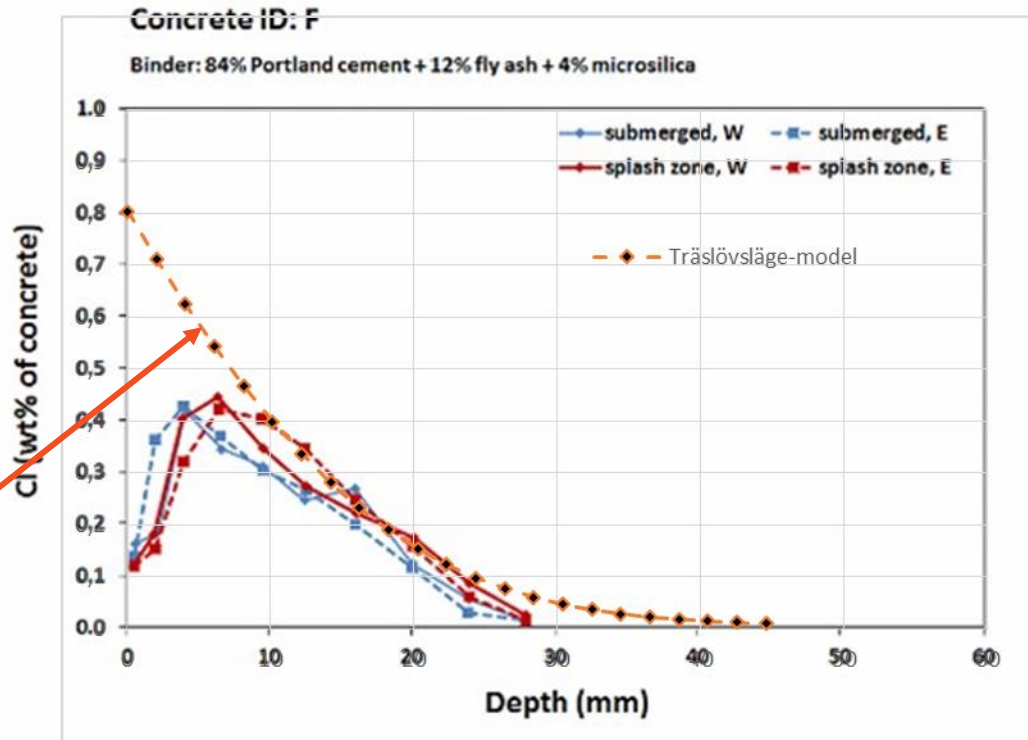
From model based on data  
from Sweden, Träslövsläge



# Comparison with new data from Denmark

**OBS: No curve fitting  
involved**

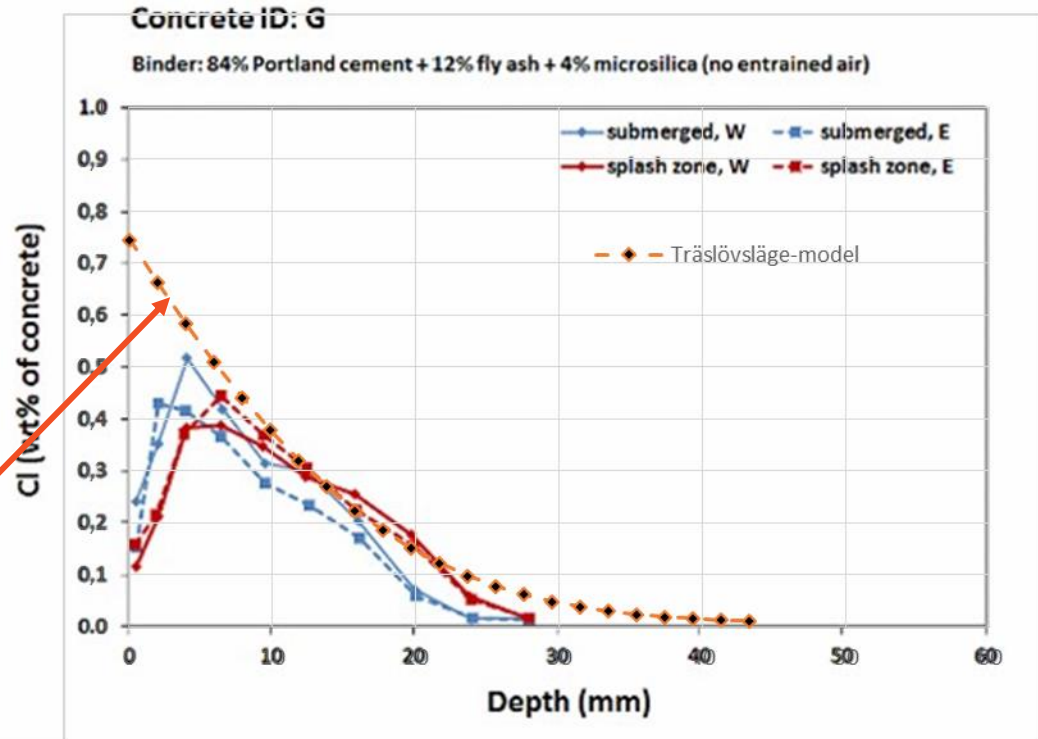
From model based on data  
from Sweden, Träslövsläge



Comparison with  
new data from  
Denmark

**OBS: No curve fitting  
involved**

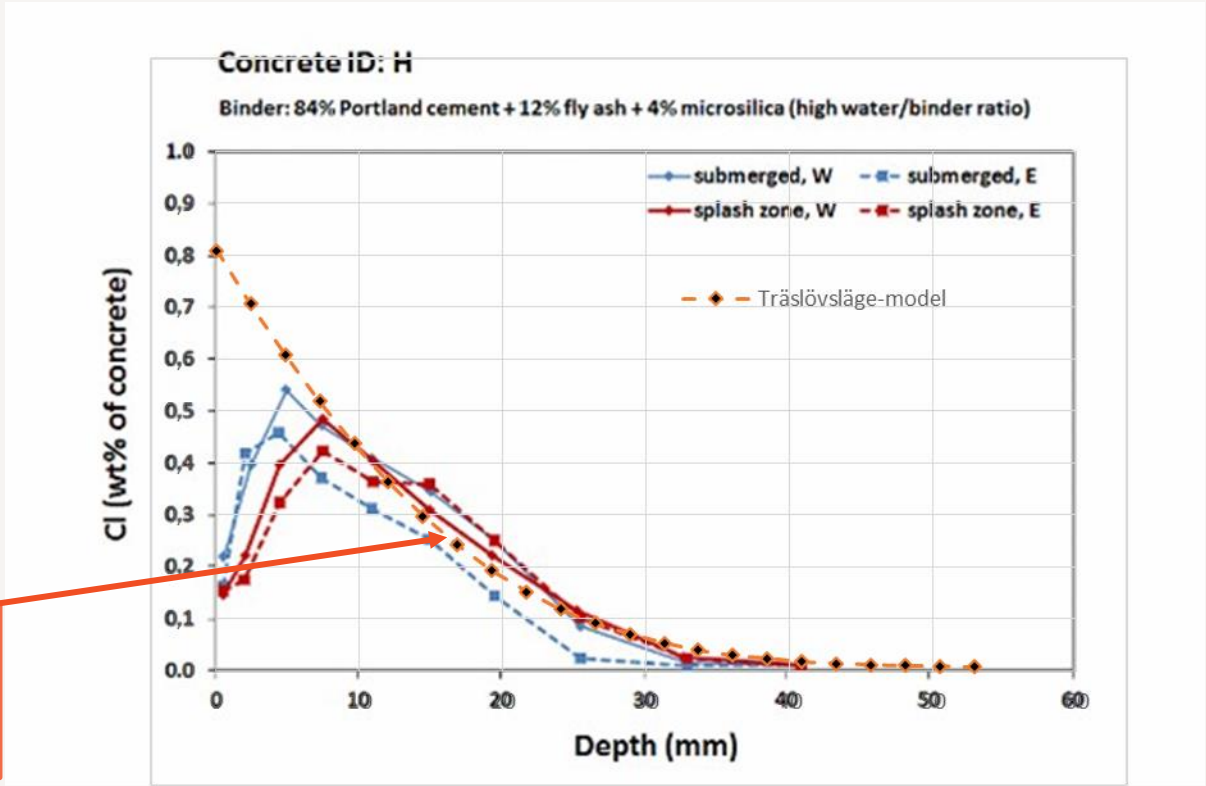
From model based on data  
from Sweden, Träslövsläge



# Comparison with new data from Denmark

**OBS: No curve fitting  
involved**

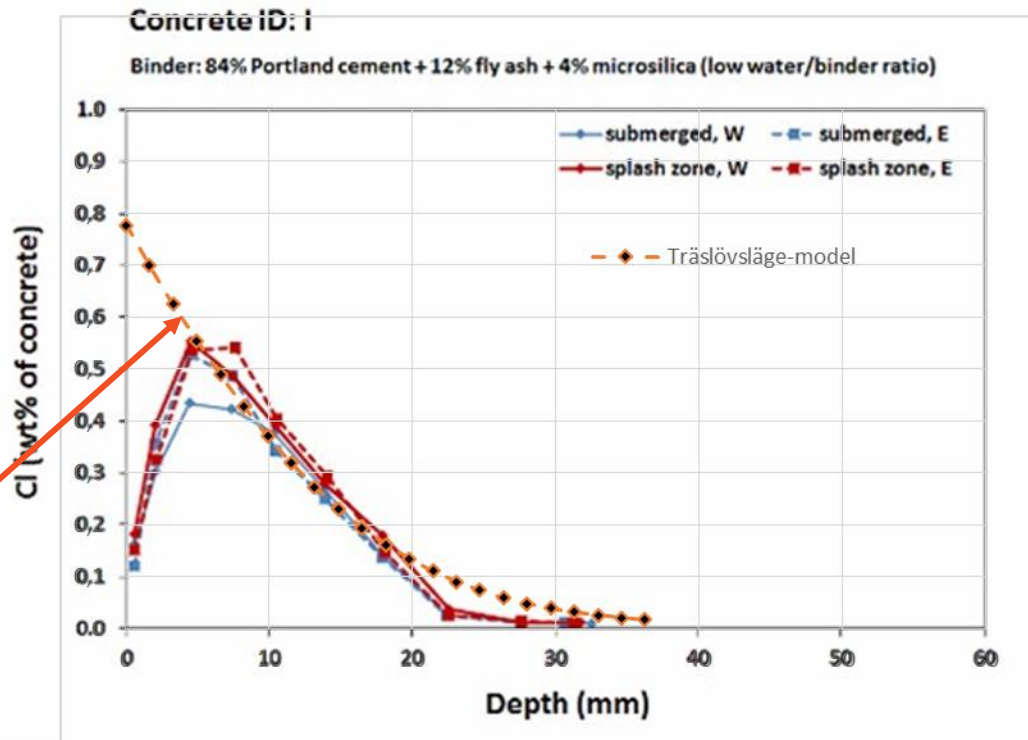
From model based on data  
from Sweden, Träslövsläge



# Comparison with new data from Denmark

**OBS: No curve fitting  
involved**

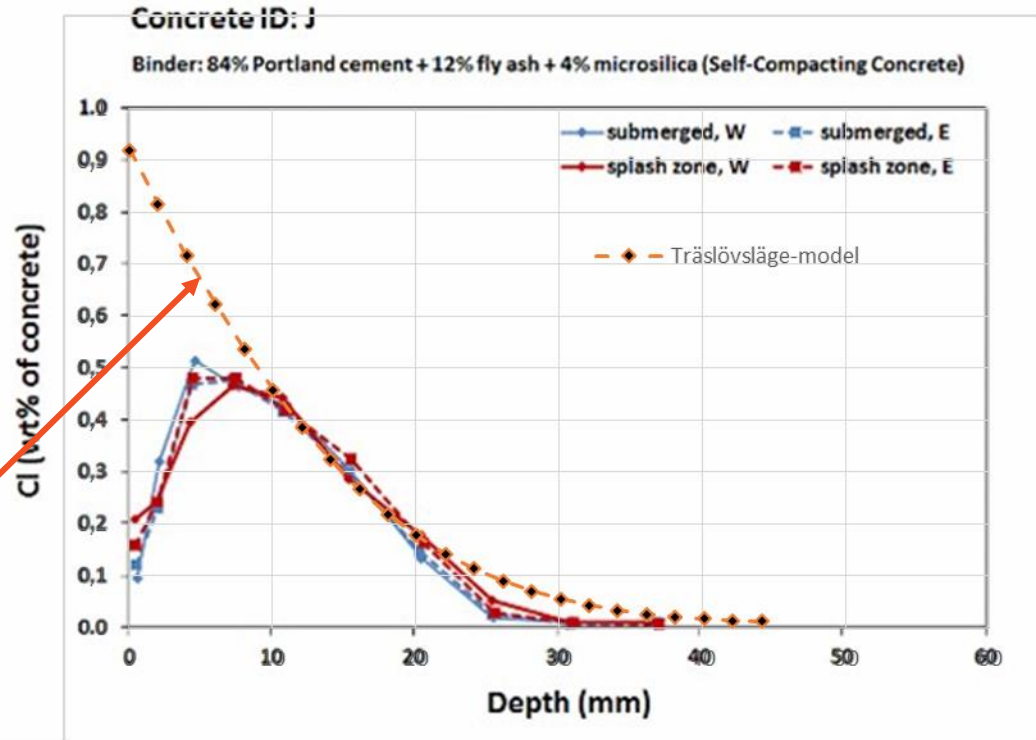
From model based on data  
from Sweden, Träslövsläge



# Comparison with new data from Denmark

**OBS: No curve fitting  
involved**

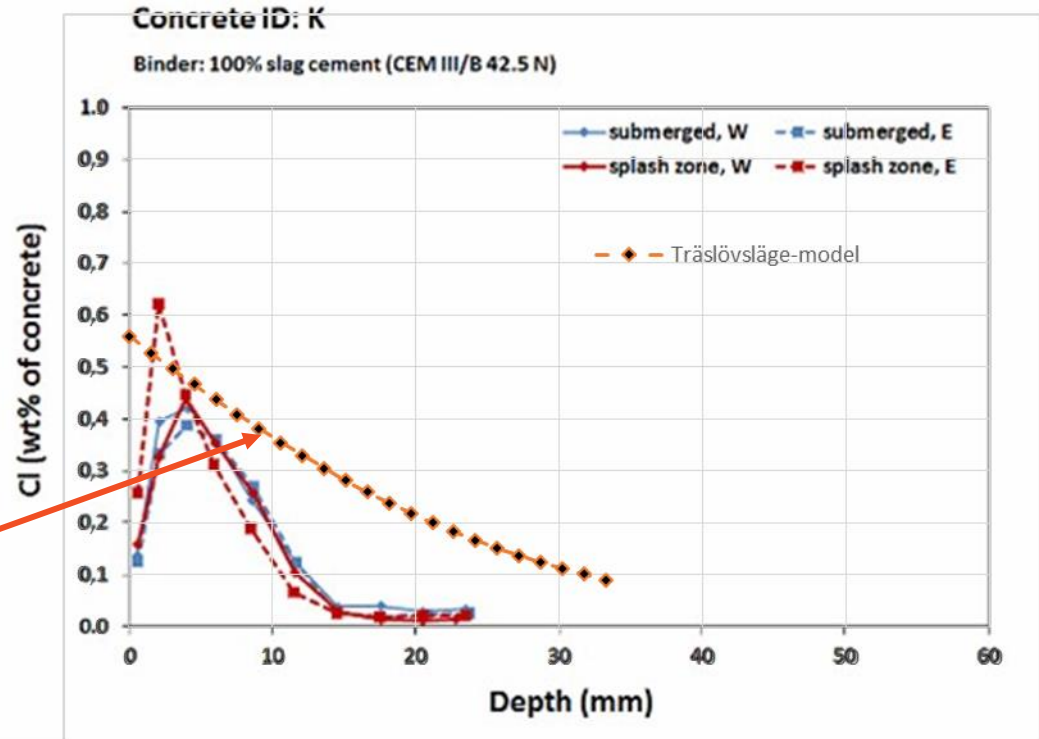
From model based on data  
from Sweden, Träslövsläge





# Comparison with new data from Denmark

**Ooops, BASED ON  
GUESTIMATES – no data  
for slag cement in  
Träslövsläge**



# A tool for design/specification of concrete

- > Kloridindtrængen i en række forskellige betoner fremstillet med CEM I + Silica + Flyveaske - med eller uden luft kan beregnes.
- > Vi savner dog gode og pålidelige data for kloridtærskelværdier for at kunne designe levetiden.
- > Også de forventede krav til prøvning af betonens kloridindtrængningsparametre kan være et output – ikke inkluderet endnu

# Concluding remarks – and further studies

- Datasættet fra Träslövsläge er nok det mest omfattende datasæt, vi har
- Datasættet har begrænsninger (f.eks. små og tynde prøver, beton med flyveaske har en begrænset tilstedeværelse, mangel på korrosionsdata - selvom nogle findes)
- Hvis vi ønsker at have et værktøj til desktop design af klorid resistent beton, danner dette datasæt et godt grundlag for videre udvikling
- Den her anvendte optimeringsprocedure er forenklet – meget bedre, men mere komplicerede værktøjer er tilgængelige, f.eks. inklusive en kovariansanalyse – ikke inkluderet endnu
- Data fra vejmiljøet findes og bør have samme type opmærksomhed – ikke inkluderet endnu

**Thank you  
for your attention**

