



TEKNOLOGISK  
INSTITUT



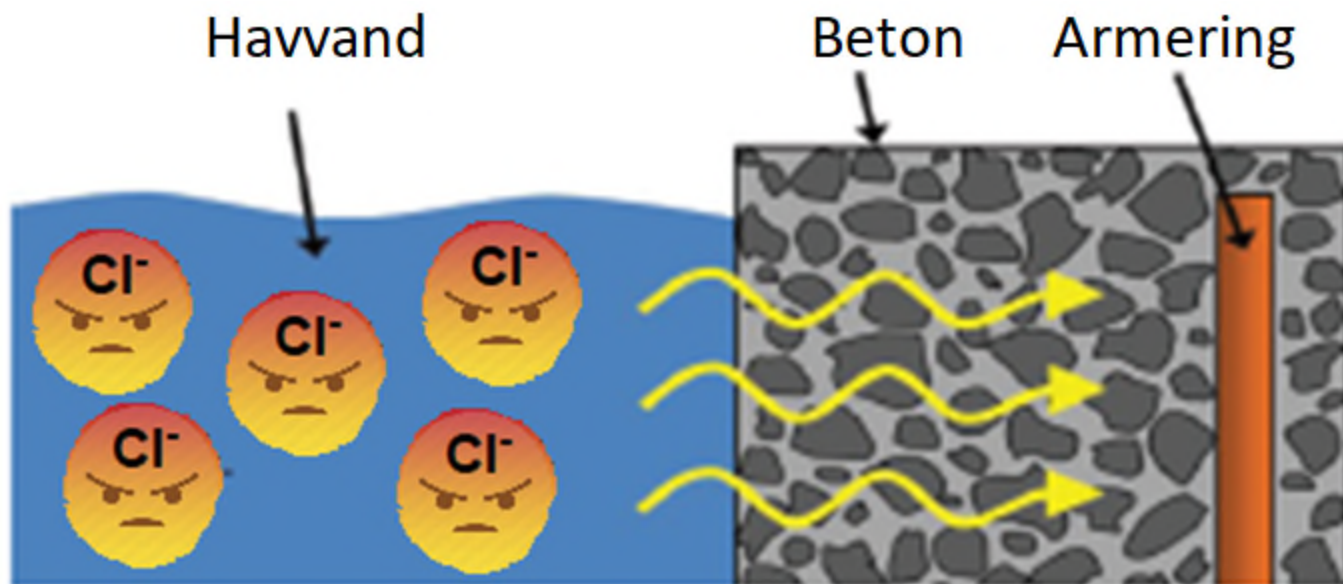
NTNU  
Norwegian University of  
Science and Technology

# Kvadratrodsmetoden for estimering af kloridindtrængning i beton - Muligheder og begrænsninger

Industriel Ph.d. Simon Fjendbo  
Vejledere: Mette Rica Geiker (NTNU), Klaartje de  
Weerd (NTNU) & Henrik Erndahl Sørensen (DTI)



# Kloridinitieret korrosion i marint miljø



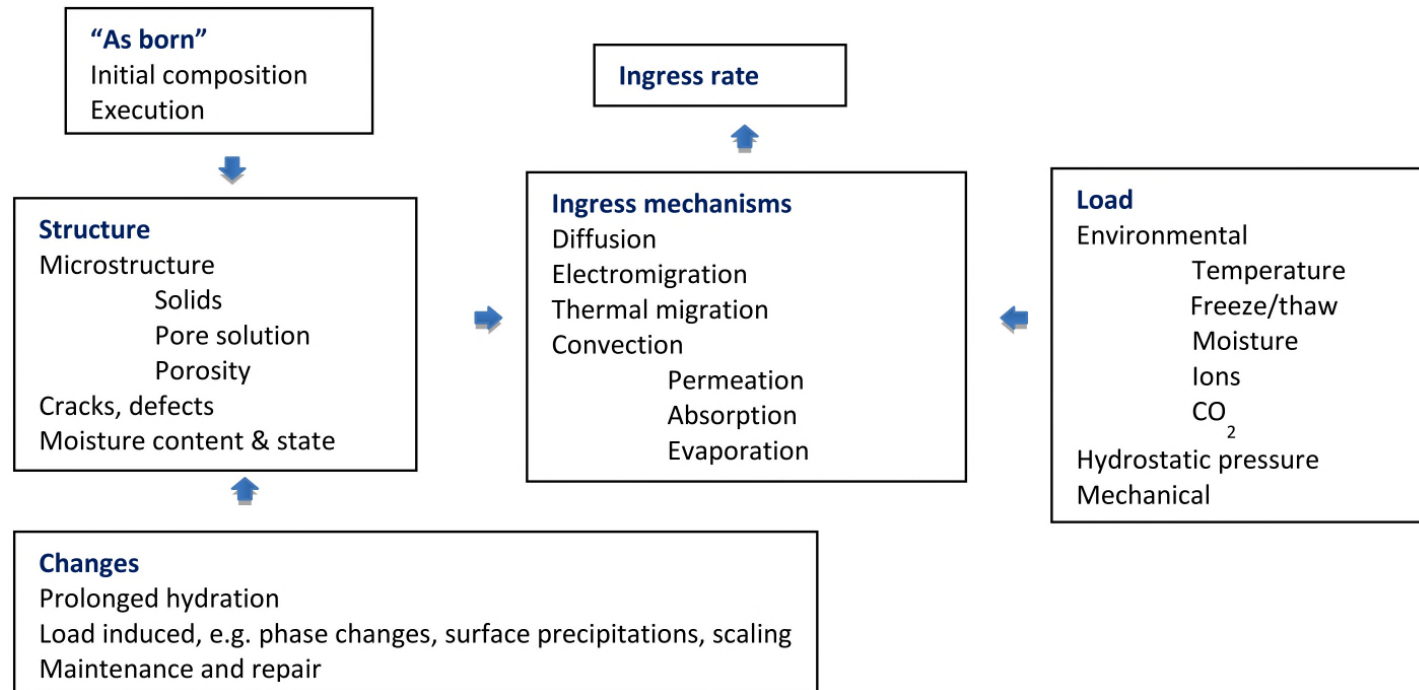
Hvor hurtigt trænger kloriden ind i betonen?

Ved hvilken kloridkoncentration initieres korrosion (kloridtærskelværdi)?

Modificeret fra: Poulsen, S. L., & Sørensen, H. (2014). Chloridtærskelværdier og levetidsberegninger. Nyt fra Teknologisk Institut.

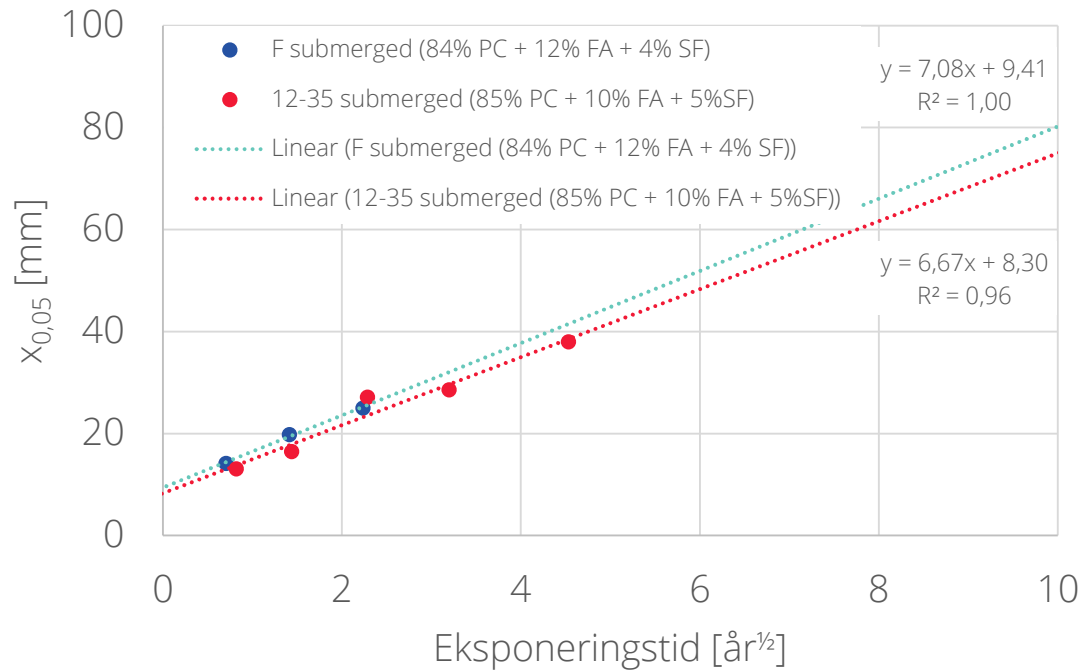


# Faktorer, der har indflydelse på kloridindtrængning





# Kvadratrodsobservationen



$$x_{0.05}(t) = a_{0.05}\sqrt{t} + b_{0.05}$$

Poulsen, S. L. and H. E. Sørensen (2014).  
Chloride ingress in old Danish bridges.  
Proceedings 2nd International Congress on Durability of Concrete (ICDC),  
New Delhi, India.

Poulsen, S. L., H. E. Sørensen and U. Jönsson (2018).  
Chloride ingress in concrete blocks at the Rødbyhavn marine exposure site - Status after 5 years.  
4th International Conference on Service Life Design for Infrastructures (SLD4).  
Delft, The Netherlands: 192-203.





TEKNOLOGISK  
INSTITUT



NTNU  
Norwegian University of  
Science and Technology

# Kvadratrodsmetoden til estimering af kloridindtrængning



# Test af metoden – Testede parametre

- Interval af mulige referencekoncentrationer
- Indflydelse af valgt referencekoncentration på  $a_{cr}$  og  $b_{cr}$
- Hvor længe går der, inden indtrængningsdybderne følger en ret linie (hvornår kan vi lave kloridanalyse første gang)? – uddybes
- Indflydelse af betonsammensætning, hvilke bindertyper er den gyldig for? – uddybes
- Indflydelse af eksponeringsmiljø, hvilke eksponeringsmiljøer er den gyldig for?
- Hvor godt beskrives senere indtrængning? – uddybes





TEKNOLOGISK  
INSTITUT



NTNU  
Norwegian University of  
Science and Technology

# Fordele og ulemper ved kvadratrodsmetoden



# Sammenligning af modeller

- Der findes mange modeller. F.eks. *fib* model code, Duracrete, Life365, Chlodif, Clinconc, Ducom, DTU multi species og Stadium.

- Formel eksempel for *fib* model code: 
$$C_{xt}(k_e, D_{RCM}, k_t, t_0, C_0, C_s, t, x, a) = C_0 + (C_s - C_0) \cdot \left[ 1 - \operatorname{erf} \left[ \frac{x}{2 \cdot \sqrt{k_e \cdot D_{RCM} \cdot k_t \cdot \left( \frac{t_0}{t} \right)^a \cdot t}} \right] \right]$$

- Formel for kvadratrodsmetode: 
$$x_{cr}(t) = a_{cr} \sqrt{t} + b_{cr}$$

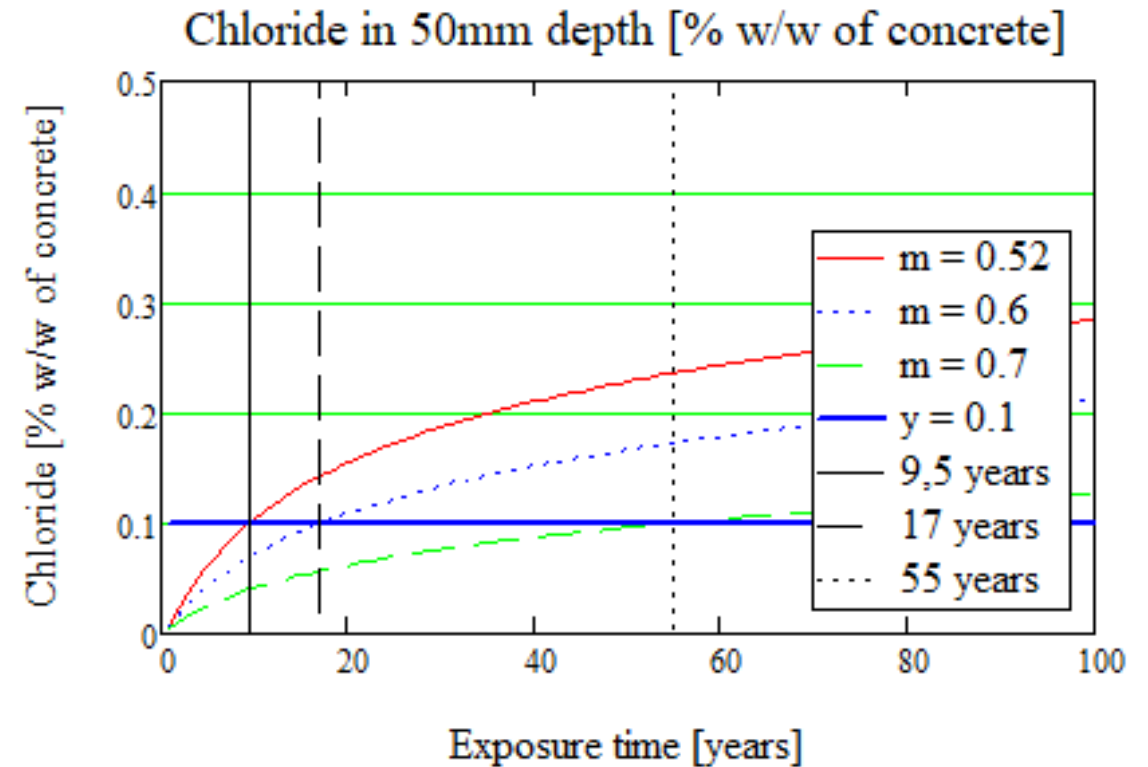




# Aldringsparameter

- Overfladekoncentration: 0.7% ift. Betonvægt
- Dæklag tykkelse: 50 mm
- $D_{28}$ :  $9 \cdot 10^{-12}$  m<sup>2</sup>/s
- Ageing parameter

Type of binder	Norwegian field study (9 years of exposure)	Recommendations:	
		<i>fib</i> Model Code for Service Life Design	Dutch Guidelines
CEM I	0.19	0.30	0.40
CEM I with 10-20 % FA	0.40		
CEM I >20% FA	0.52	0.60	0.70

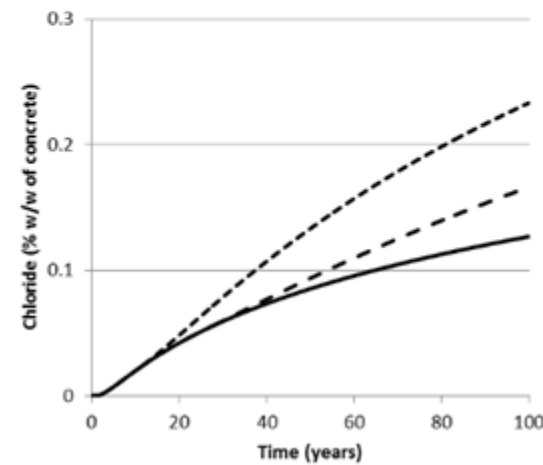
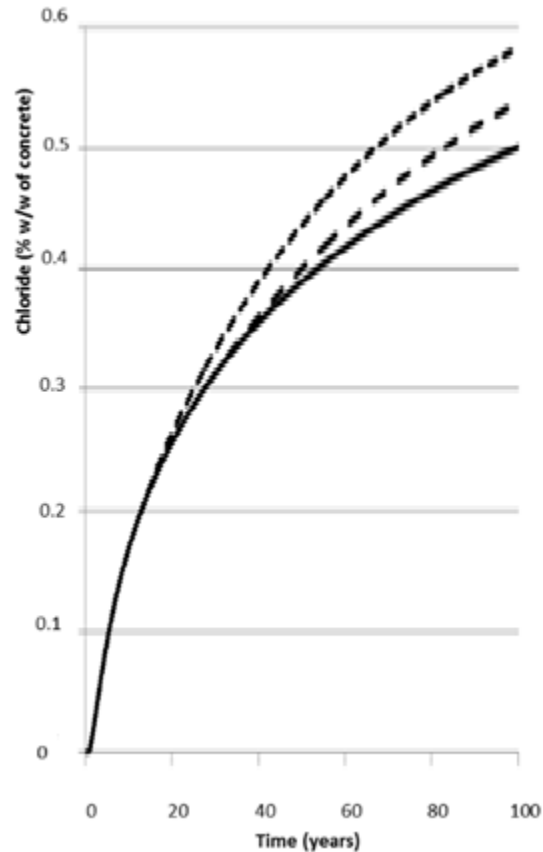




# Aldringsparameter, variation af virkningsperiode (0-10 år, 0-25 år og 100 år)

OPC, aldringsparameter = 0,3

Flyveaske, aldringsparameter = 0,6





# Fordele og ulemper ved kvadratrodsmetoden

Fordele	Ulemper
<p>Ukomplisert formel med få parametre</p> <p>Gennemsiktig proces, der er nem at overskue for kunden</p> <p>Metoden inkluderer ikke en følsom parameter såsom aldringsparameteren</p>	<p>Felteksponeeringsdata fra aktuelt eksponeringsmiljø er nødvendig. Er det ikke tilgængeligt kan der gå flere år med at fremskaffe det.</p>





# Hvad kan vi bruge dette til?

- Et mere pålideligt levetidsestimat via:
  - Tilgængelige kloridprofiler og kloridtærskelværdier
  - Database
  - Etablering af nye felteksponeringspladser



TEKNOLOGISK  
INSTITUT



NTNU  
Norwegian University of  
Science and Technology



Tak

Simon Fjendbo, konsulent,  
[SIFJ@teknologisk.dk](mailto:SIFJ@teknologisk.dk)