

# Fältprovning av betong under 20 år

## Vad har vi lärt oss?

### *Om kloridinträngning och kloridtröskelvärden*

Peter Utgenannt  
CBI Betonginstitutet



Swedish Cement and  
Concrete Research Institute



**Bakgrund**

**Vad har vi lärt oss**

**Hur kan resultaten användas i praktiken**

**Framtiden:  
Pågående och planerad forskning**

Trondheim

Borås RV 40


Träslövsläge hamn

Ölandsbron

Öresundsbron

Köping 3 februari 2015 - P. Utgenannt






Ölandsbron byggdes 1972  
Efter 10 år upptäcktes  
omfattande korrosionsskador  
Efter 20 år reparerades bron till en  
kostnad som var 4 gånger högre än  
den ursprungliga byggkostnaden

För lågt cementinnehåll  
För högt vct  
För litet täckskikt  
Porös ballast  
Bräckt vatten (~0,4 % Cl)  
För tidig avformning  
Källa: Hans Ingvarsson, Trafikverket

Kollad 3 februari 2015 - P. Utgerann



Öresundsförbindelsen började  
byggas 1995 och invigdes 2000

Träslövsläge hamn

Ölandsbron

Öresundsbron

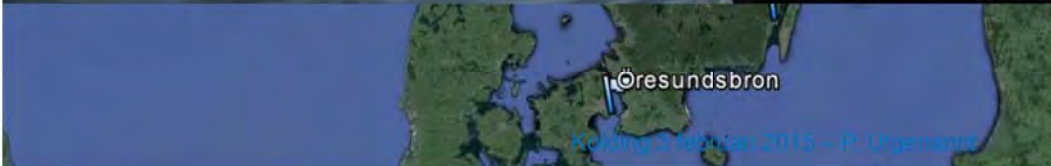
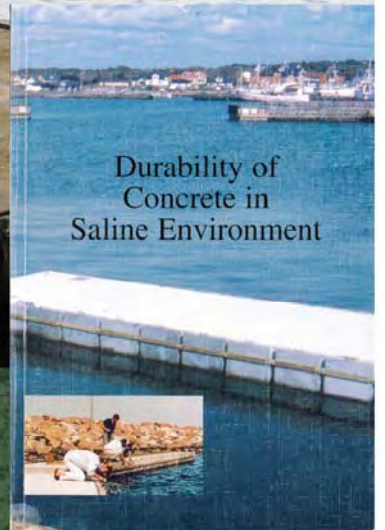
Kollad 3 februari 2015 - P. Utgerann





Fältprovplatsen i Träslövsläge byggdes 1991. Ett 40-tal betongsammansättningar.

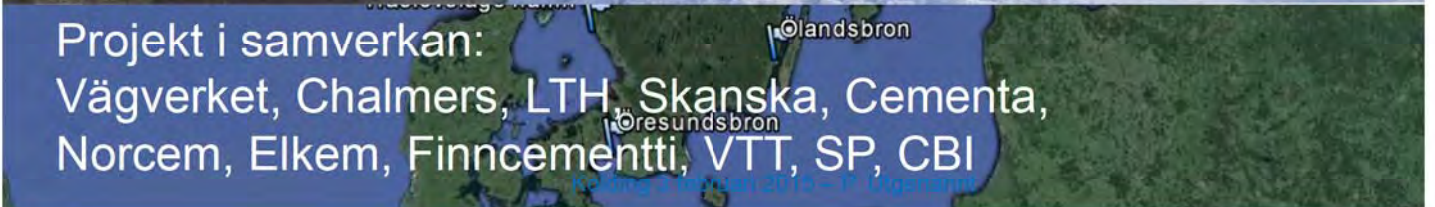
Projekt i samverkan:  
Cementa, SP, CBI



Fältprovplatsen vid RV 40 byggdes 1995. Ett 100-tal betongsammansättningar.



Projekt i samverkan:  
Vägverket, Chalmers, LTH, Skanska, Cementa,  
Norcem, Elkem, Finncementti, VTT, SP, CBI





## Syfte med provplatserna:

Val av betongkvalitet till Öresundsförbindelsen

Öka kunskapen om beständigheten hos betong tillverkad med olika bindemedel i olika miljöer

Utveckla och kalibrera modeller för olika nedbrytningsmekanismer

Validera laboratorieprovningmetoder mot verkligheten

Möjliggöra utveckling av nya material, tex nya bindemedel och ytbehandlingsmedel

**Ge byggherrar och entreprenörer  
underlag för att kunna göra säkra materialval  
samt  
Möjliggöra tillförlitliga bedömningar  
av återstående livslängd**

Kolding 3 februari 2015 – P. Utgenannt

## Vad har vi lärt oss?

Kloridinträngning

Korrosion / Kloridtröskelvärden

*Salt-frostbeständighet*

*ASR (EU-projektet Partner)*

*Ytbehandling / Klotterskydd*

*Självrengörande ytor (titaniumdioxid)*



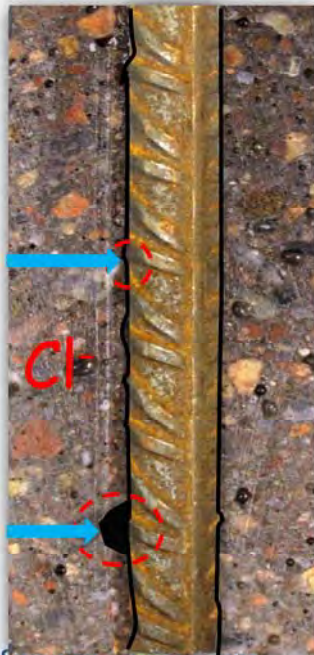
Swedish Cement and  
Concrete Research Institute

Kolding 3 februari 2015 – P. Utgenannt





# Tröskelvärden för kloridinitierad armeringskorrosion

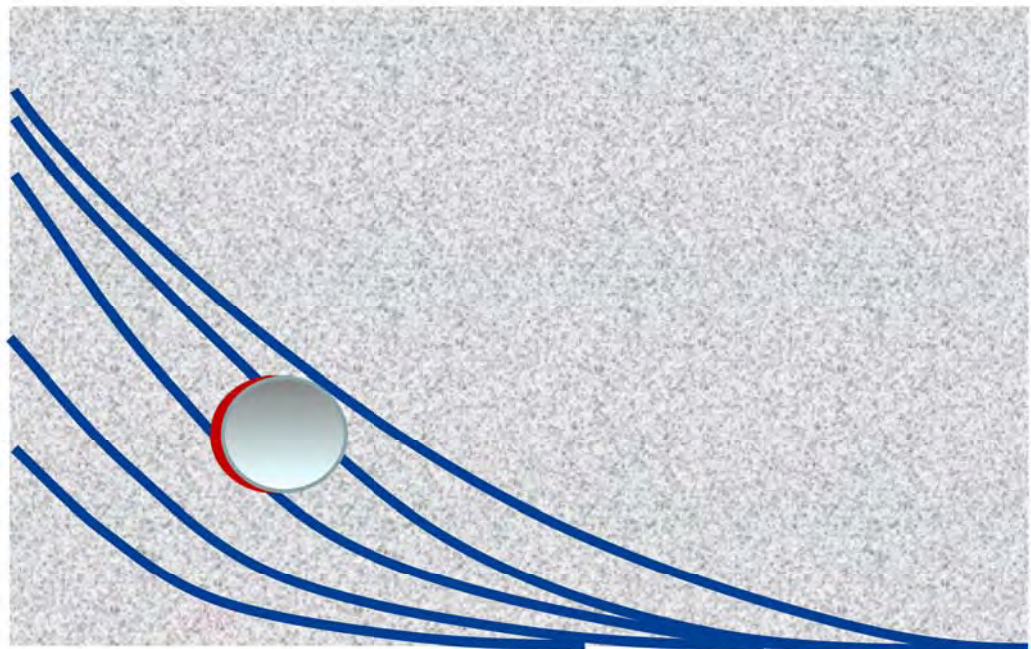


Swedish Cement and  
Concrete Research Institute

Kolding 3 februari 2015 – P. Utgenannt



$Cl^-$   
  
 $Cl^-$



Hur snabbt tränger kloriderna in i betongen ?  
Vilken kloridhalt krävs för att korrosion skall initieras ?

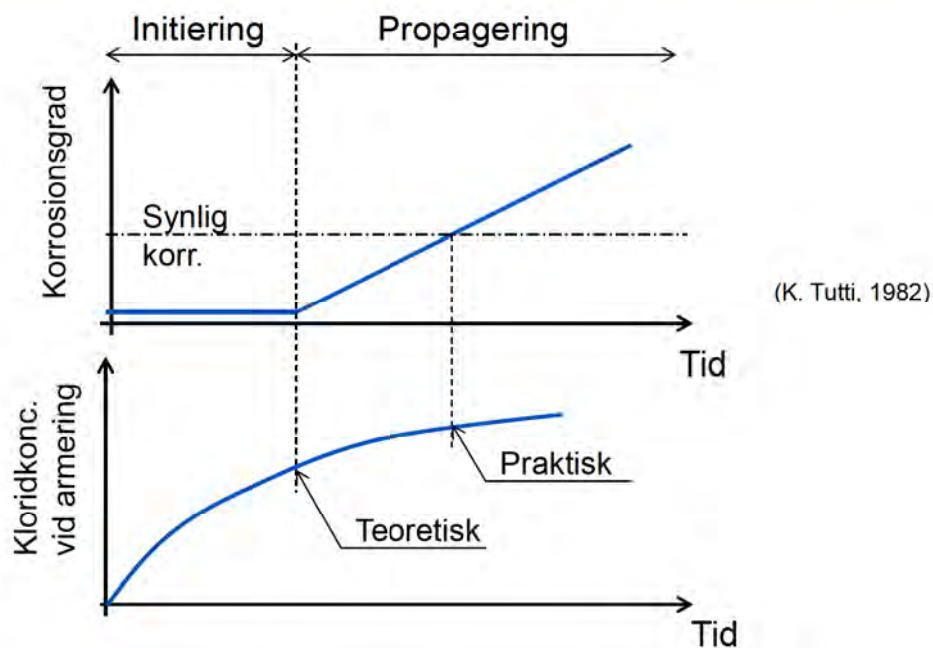


Swedish Cement and  
Concrete Research Institute

Kolding 3 februari 2015 – P. Utgenannt



# Definition - kloridtröskelvärde



Swedish Cement and  
Concrete Research Institute

Kolding 3 februari 2015 – P. Utgenannt



## Faktorer som påverkar tröskelvärden

- Exponeringsmiljö
- Defekter i kontaktytan mellan stål/betong
- Typ av bindemedel:
  - pH-värde i porlösningen
  - Kloridbindningskapacitet och transport av joner och gaser
- Stålytans egenskaper
- Hydratationsgrad och vattenbindemedelstal

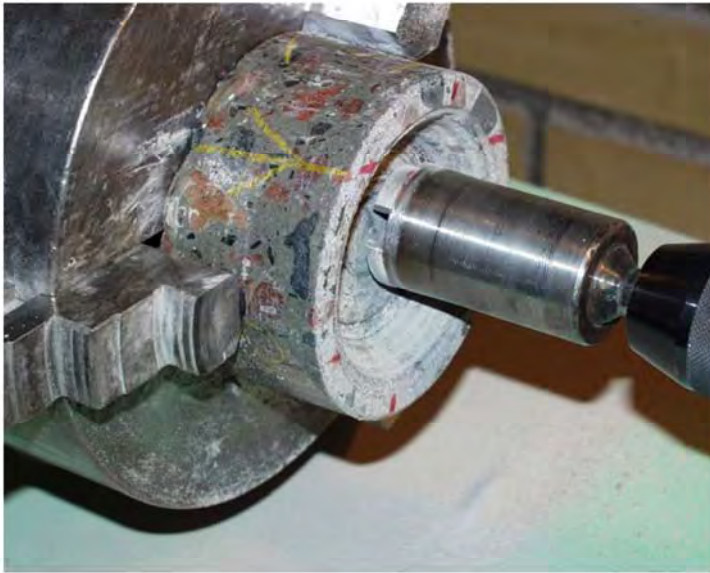


Swedish Cement and  
Concrete Research Institute

Kolding 3 februari 2015 – P. Utgenannt







## Total kloridjonkoncentration

- vikt-% cem.
- vikt-% betong



Swedish Cement and  
Concrete Research Institute

Kolding 3 februari 2015 – P. Utgenannt



## Bedömning av pågående korrosion



Swedish Cement and  
Concrete Research Institute

Kolding 3 februari 2015 – P. Utgenannt





# Kloridinträngning



Prof. Tang Luping  
Chalmers/CBI



Chloride Ingress in Concrete Exposed to Marine Environment  
-Field data up to 20 years' exposure



Dimitrios Boubitsas  
Tang Luping  
Peter Utgenannt



Tekn Lic Dimitrios Boubitsas  
CBI

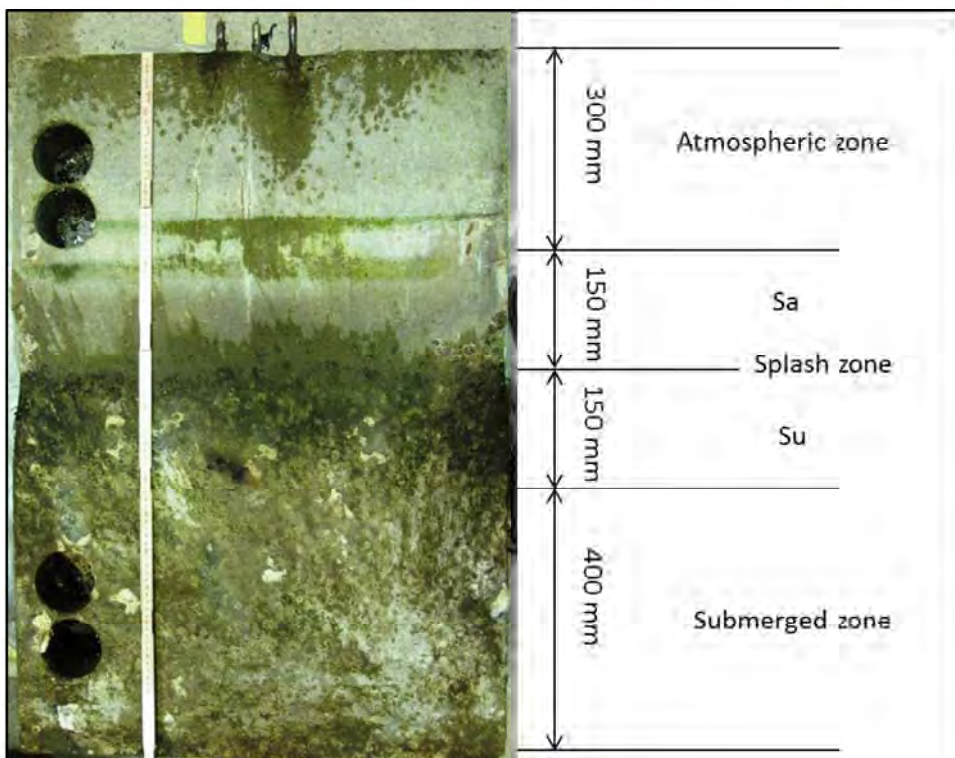


Swedish Cement and  
Concrete Research Institute

Kolding 3 februari 2015 – P. Utgenannt

part of the  
SP Group

# Concrete slab for sampling



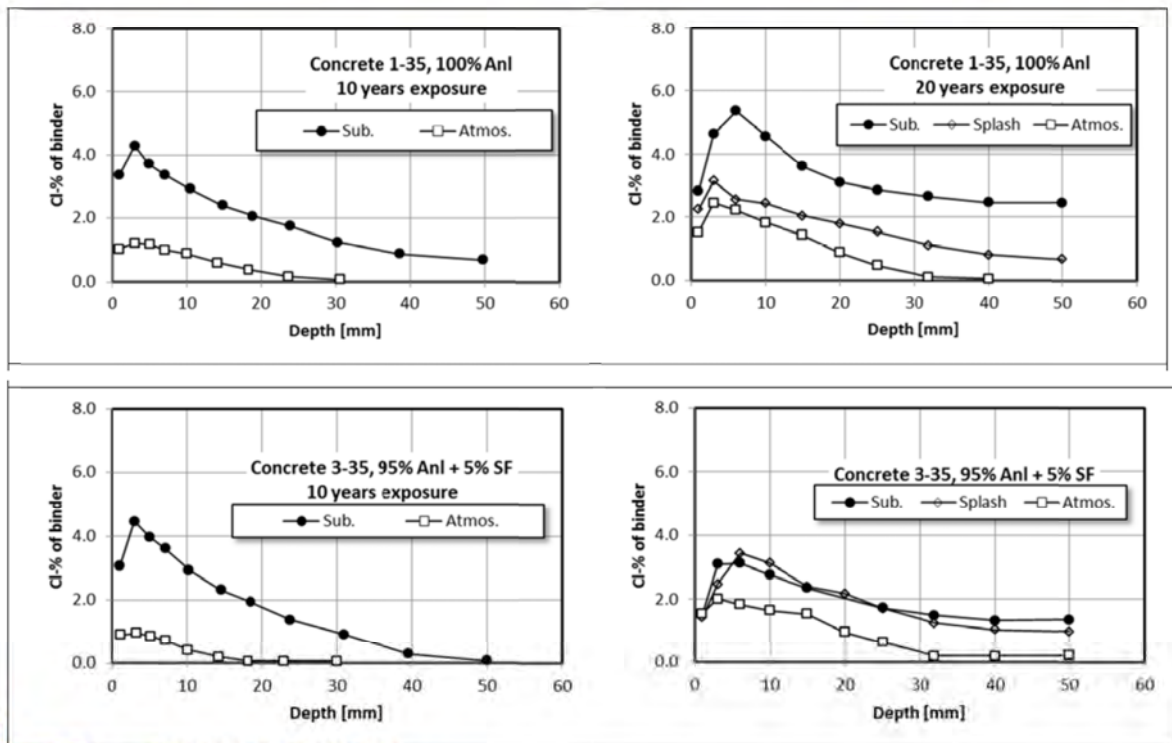
Swedish Cement and  
Concrete Research Institute

Kolding 3 februari 2015 – P. Utgenannt





# Kloridprofiler efter 10 resp. 20 års exponering



Swedish Cement and  
Concrete Research Institute

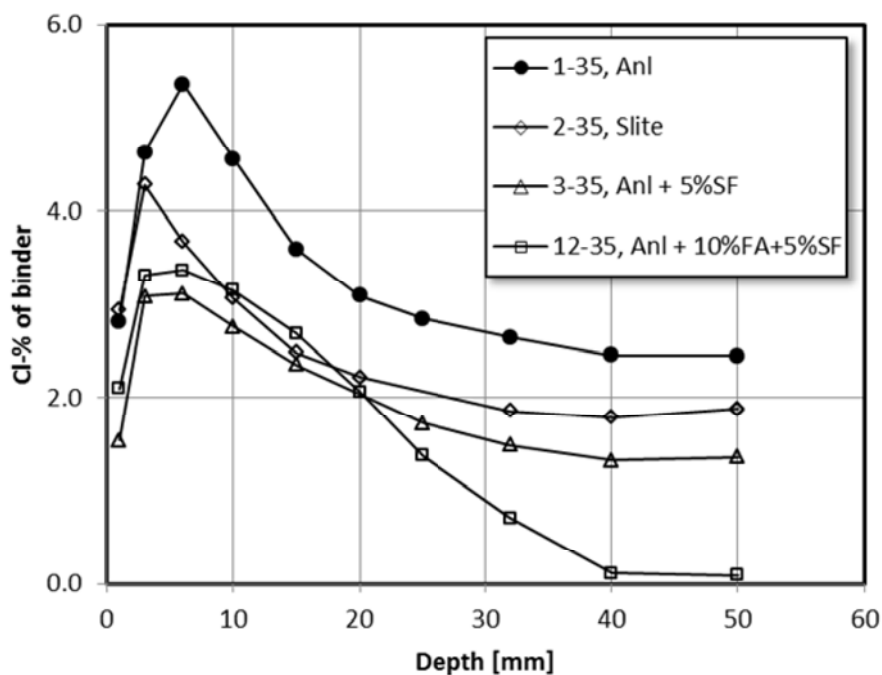
Kolding 3 februari 2015 – P. Utgenannt



part of the  
SP Group

# Kloridinträngning – olika bindemedel

Submerged zone, w/b 0.35



Swedish Cement and  
Concrete Research Institute

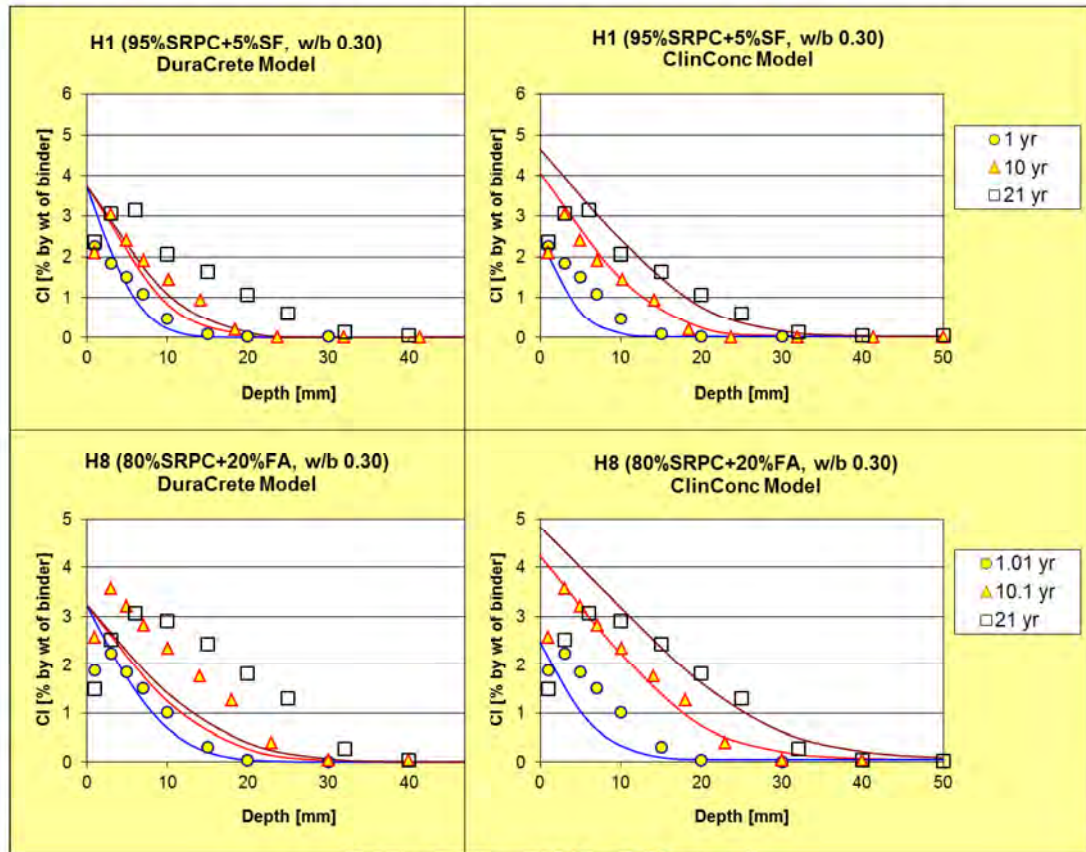
Kolding 3 februari 2015 – P. Utgenannt



part of the  
SP Group



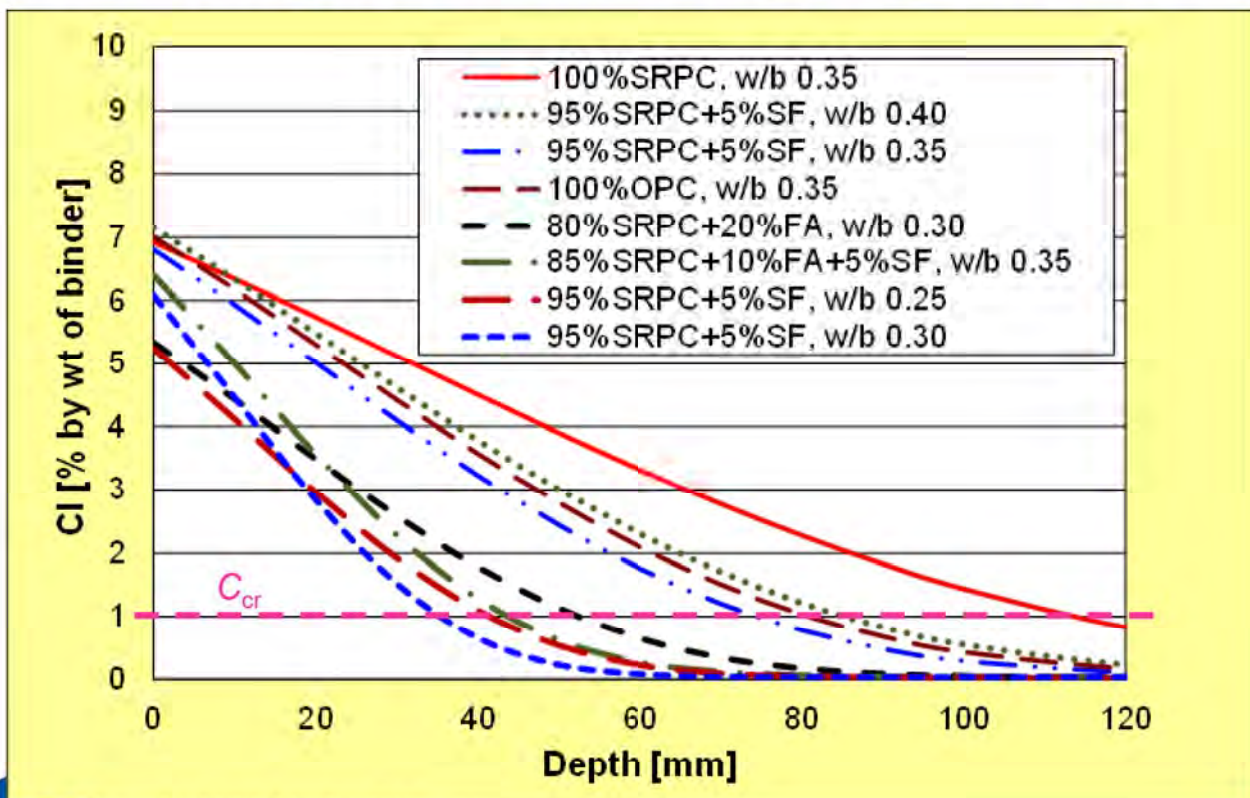
# Modellering av kloridprofiler (låga w/b och med Silika/Flygaska)



Kolding 3 februari 2015 – P. Utgenannt



## Beräkning av kloridinträngning efter 100 år



Concrete Research Institute

Kolding 3 februari 2015 – P. Utgenannt





# Slutsatser

- Generellt är kloridinträngningen högre i undervattenzonen än i skvalpzonen och i atmosfärszonen
- Bindemedel med flera delmaterial, så som flygaska och silika kan effektivt reducera kloridinträngningen.
- Den empiriska DuraCrete modellen underskattar kloridinträngningen för betong med låga vattenbindemedelstal och med puzzolanska delmaterial.
- Den mekanismbaserade ClinConc-modellen ger rimligt god förutsägelse av kloridinträngningen från 1 upp till 20 års ålder.
- Nödvändigt täckskikt för att uppnå 100 års livslängd varierar mycket beroende på bindemedelstyp.

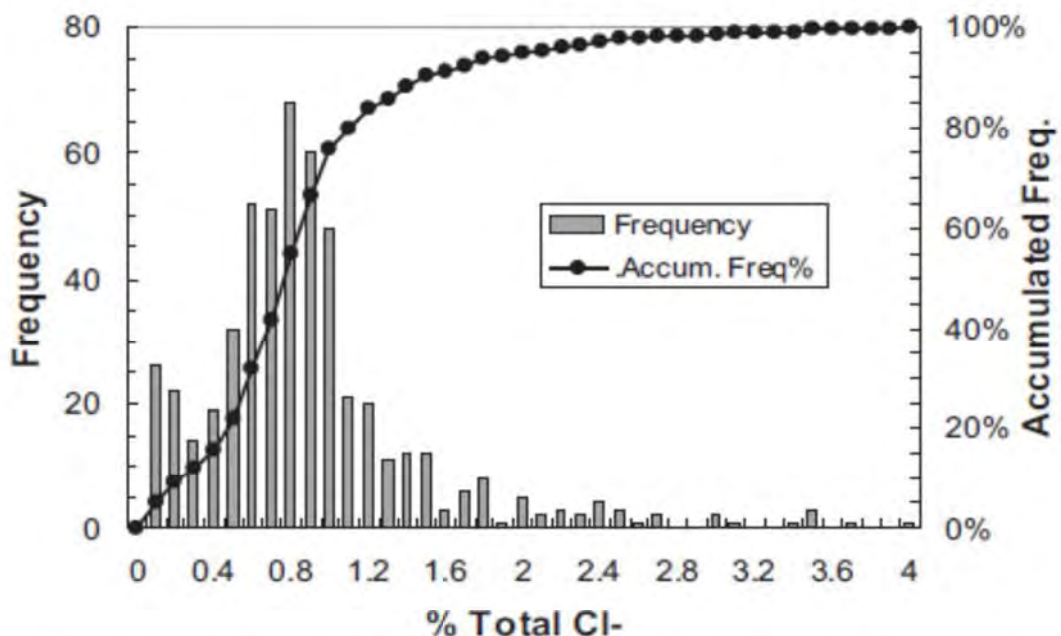


Swedish Cement and  
Concrete Research Institute

Kolding 3 februari 2015 – P. Utgenannt



## Kloridtröskelvärden



Kloridtröskelvärden funna i litteraturen, uttryckt som procent klorider i förhållande till bindemedelsvikten (Alonso and Sanchez 2009).



Swedish Cement and  
Concrete Research Institute

Kolding 3 februari 2015 – P. Utgenannt





# Experimentellt arbete

Icke-destruktiv mätning med RapiCor.



Visuell besiktning



Uppmätning av kloridhalten vid armeringsjärnen

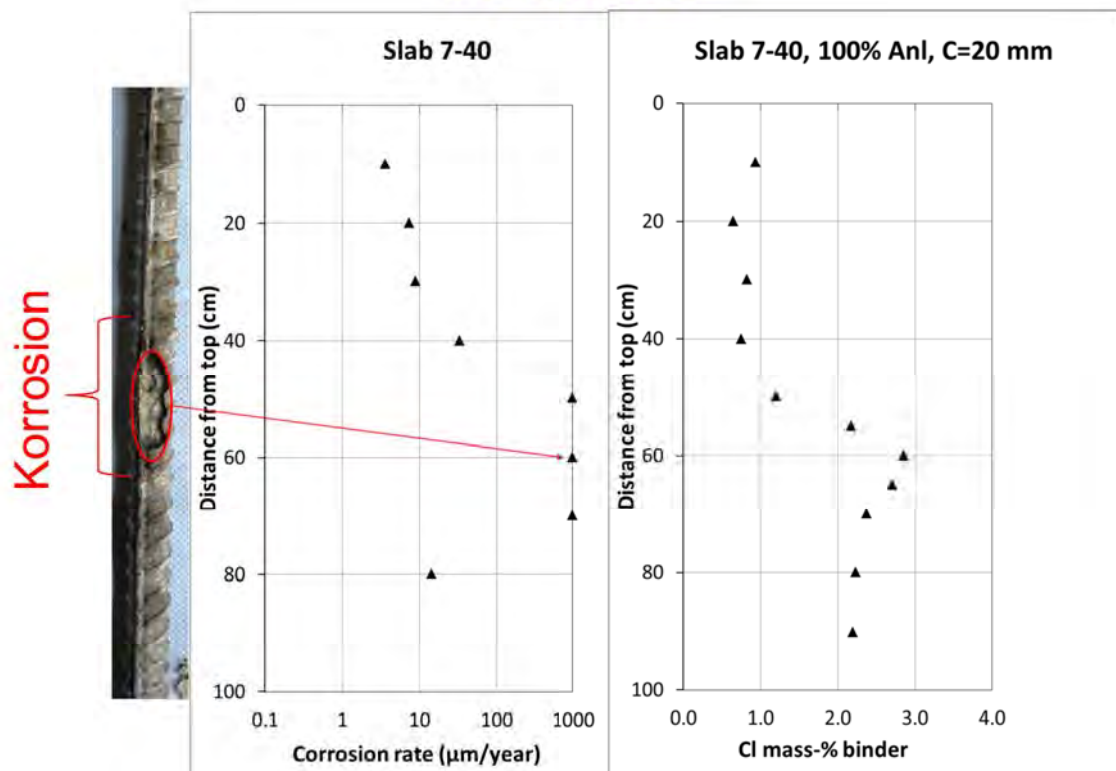


Swedish Cement and  
Concrete Research Institute

Kolding 3 februari 2015 – P. Utgenannt



## Resultat



Swedish Cement and  
Concrete Research Institute

Kolding 3 februari 2015 – P. Utgenannt





## Kloridhalt nära armeringsjärn som korroderar med en viss hastighet

Concrete	Binder:w/b:air%/ Rebar	Cover [mm]	Diameter [mm]	Corrosion rate [ $\mu\text{m}/\text{yr}$ ]	Cl% wt of binder <sup>a</sup>
1-35	SRPC:0.35:6/b1	10	12	~50 (~20 <sup>b</sup> )	2.4 (3 <sup>b</sup> )
2-35	OPC:0.35:6/b2	25	20	~40 (~30 <sup>b</sup> )	2 (1.7 <sup>c</sup> )
2-50	OPC:0.5:6/b1	10	12	~20 (~70 <sup>b</sup> )	2.4 (3 <sup>c</sup> )
2-50	OPC:0.5:6/b2	15	12	~15 (~10 <sup>b</sup> )	2 (1.1 <sup>c</sup> )
3-351	SRPC+5%SF:0.35:6/b1	20	20	~70 (~40 <sup>b</sup> )	2 (1.8 <sup>c</sup> )
6-35	SRPC+5%SF:0.35:2/b1	25	20	~15 (~10 <sup>b</sup> )	1.2 (0.9 <sup>c</sup> )
6-35	SRPC+5%SF:0.35:2/b2	20	20	~80 (~70 <sup>b</sup> )	1.4 (1.2 <sup>c</sup> )
7-35	SRPC+5%SF:0.35:2/b1	20	20	~30 (~100 <sup>b</sup> )	2.2 (1.1 <sup>c</sup> )
7-35	SRPC:0.35:2/b2	15	20	~45 (~40 <sup>b</sup> )	2.4 (1.5 <sup>c</sup> )
8-40	OPC:0.4:2/b1	20	20	~10 (~5 <sup>b</sup> )	2.3 (1 <sup>c</sup> )
12-35	SRPC+5%SF+10%FA:0.35:6/b1	10	12	~15 (~5 <sup>b</sup> )	3.2 (3 <sup>c</sup> )
12-35	SRPC+5%SF+10%FA:0.35:6/b2	15	12	~10 (<5 <sup>b</sup> )	2.7 (2 <sup>c</sup> )
H1	SRPC+5%SF:0.3:2/b1	20	12	~20 (<5 <sup>b</sup> )	1.1 (0.5 <sup>c</sup> )

<sup>b</sup> data after 13 years' exposure (Tang et al. 2005).

<sup>c</sup> data after 10 years' exposure (Tang 2003b).



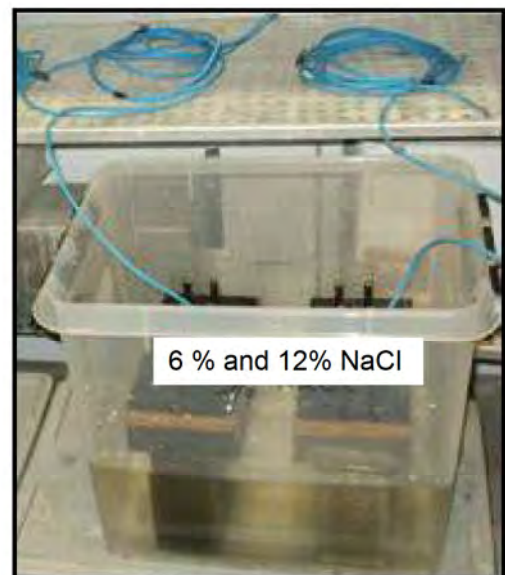
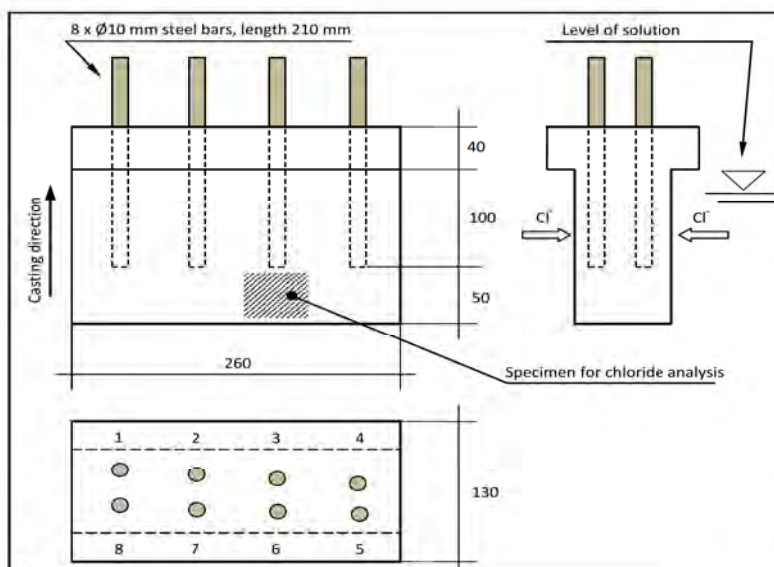
Swedish Cement and  
Concrete Research Institute

Kolding 3 februari 2015 – P. Utgenannt



part of the  
SP Group

## Laboratorieförsök



Två cementtyper: A – CEM I, B – CEM II A/LL



Swedish Cement and  
Concrete Research Institute

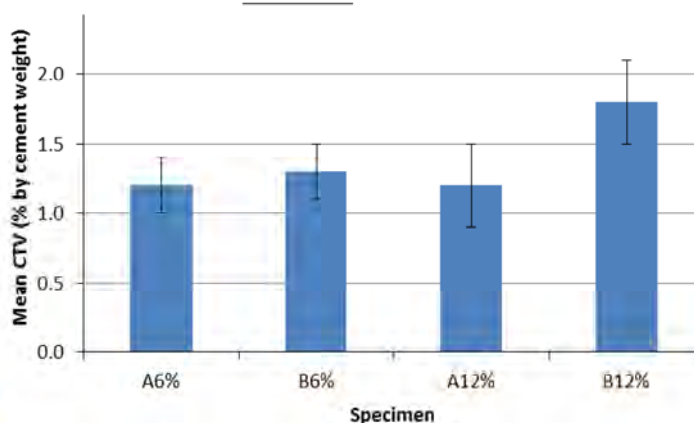
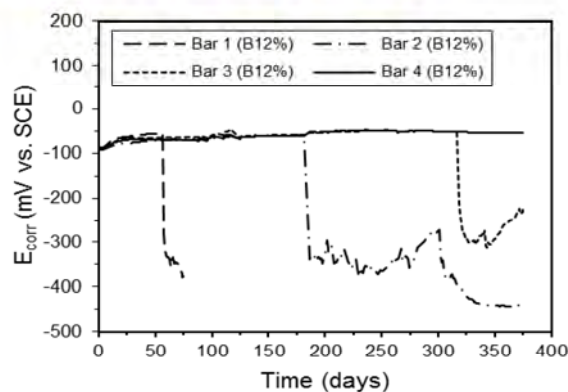
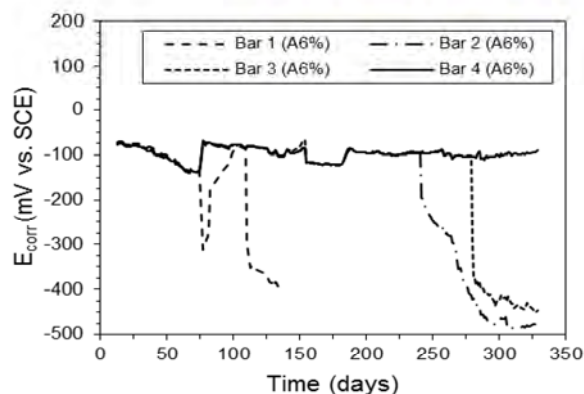
Kolding 3 februari 2015 – P. Utgenannt



part of the  
SP Group



# Resultat från laborieförsök



Swedish Ce  
Concrete Ri

Kolding 3 februari 2015 – P. Utgenannt



part of the  
SP Group

## Slutsatser

- Ett kloridtröskelvärde på 1 % av bindemedelsvikten verkar gälla för vanliga Portlandcement, sulfatresistenta Portlandcement och Portlandcement blandade med 5 % silika och med w/b-tal mellan 0,3 och 0,5.
- För bindemedel med 5 % silika och 10 % flygaska med w/b-tal 0.35, finns resultat som indikerar att kloridtröskelvärdet kan vara så högt som 2 % av bindemedelsvikten.
- Resultat från pågående laborieförsök är i linje med resultat från fältprovning efter 20 års exponering.
- Det återstår många frågetecken att rätta ut
  - Hur påverkar stålets kvalitet kloridtröskelvärdet?
  - Hur påverkar bindemedelstypen kloridtröskelvärdet?



Swedish Cement and  
Concrete Research Institute

Kolding 3 februari 2015 – P. Utgenannt



part of the  
SP Group



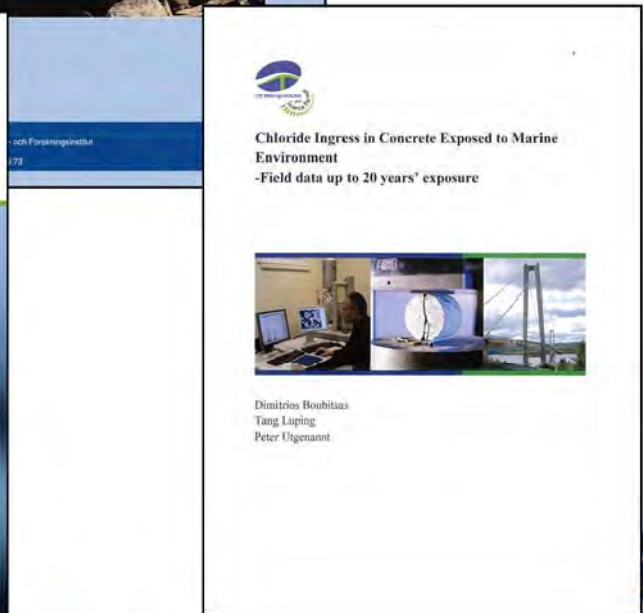
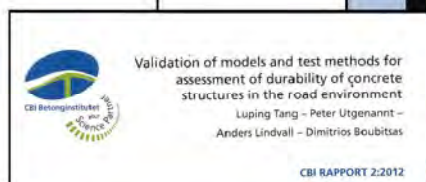
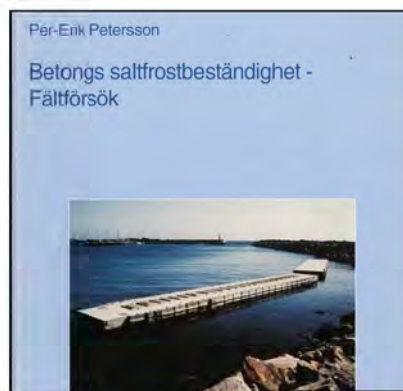
# Hur kan resultaten användas och göra nytta?

- Unika data för utveckling och kalibrering av nedbrytningsmodeller
- Som grund vid kravställande och i standarder, tex nationell anpassning till EN 206:
  - Vilka bindemedel är lämpliga i vilka exponeringsklasser
  - Vilka täcksikt är lämpliga
- Kalibrera laboratorieprovningmetoder mot fältdata
- Unika provplatser för utveckling av nya material och system



Swedish Cement and  
Concrete Research Institute

Kolding 3 februari 2015 – P. Utgenannt



Swed  
Conc

Kolding 3 februari 2015 – P. Utgenannt





# Framtiden: Pågående och planerad forskning

Fol-samarbete med Statens vegvesen  
Vegdirektoratet:

Ett 10-tal betongkvaliteter med olika  
bindemedel skall testas i laboratoriet och  
placeras ut vid Riksväg 40.

Tillverkning av betong med norska material.  
Omfattande provning i laboratoriet och i fält.



Swedish Cement and  
Concrete Research Institute

Kolding 3 februari 2015 – P. Utgenannt



# Framtiden: Pågående och planerad forskning

Projekt i samarbete med Chalmers, LTH och  
Cementa om 20 års-uppföljning av provkroppar  
exponerade vid Riksväg 40 – Salt-frost,  
kloridinträngning, korrosion. Vidareutveckling av  
nedbrytningsmodeller.



Swedish Cement and  
Concrete Research Institute

Kolding 3 februari 2015 – P. Utgenannt







Tack för uppmärksamheten!