

SBUF-projekt 12644. Självläkning av sprickor-etapp 2

Sammanfattning av slutrapport

G Fagerlund, B Nilsson: Effect of cement type on healing of cracks in concrete exposed to sea water. Influence on chloride penetration. Avd byggnadsmaterial, LTH, Rapport TVBM-3183, 2016.

Bakgrund till projektet

Sprickor uppstår normalt i betongkonstruktioner under byggskedet och/eller under bruksskedet. I kloridhaltig miljö, t.ex. i havsvatten eller i närvaro av avsningsalt, tränger kloridjoner in i sprickan och medför armeringskorrosion. Man antar att kloridinträngningen ökar med ökande sprickvidd. I normer och standarder begränsas därför maximal sprickvidd. I svensk standard tillåts maximalt 0,2 mm sprickvidd (i betongytan) hos konstruktioner som ständigt är nedsänkta i havsvatten. För konstruktioner som utsätts för omväxlande uppfuktning av saltvatten och uttorkning (t.ex. i plaskzonen i havet) sätts maxnivån till 0,15 mm. För att begränsa sprickvidden krävs att sprickarmering läggs in. Ofta blir den totala armeringsmängden högre än vad som krävs av rent konstruktiva skäl. Sprickviddsbegränsning är därför mycket kostsam.

I en tidigare undersökning -Etapp 1- finansierad av SBUF (1) påvisades att en avsevärd självläkning av sprickor sker hos betong tillverkad med rent portlandcement vid lagring upp till 2 år i havsvatten. Redan i dag, och troligen ännu mer i framtiden, kommer portlandklinker att kombineras med olika mineraliska tillsatsmaterial; flygaska, slagg, silikastoft. Dessa material reagerar med den kalciumhydroxid som produceras vid portlandklinkerns reaktion. Detta kan medföra att möjligheten till självläkning minskar eftersom kalciumhydroxiden spelar stor roll för självläkningsförmågan. Avsikten med Etapp 2 av projektet var att undersöka hur inblandning av mineraliska tillsatsmedel påverkar möjligheten till självläkning.

Cementtyper

6 cementtyper undersöktes. 5 av dessa hade portlandcementet Anläggningscement som bas i vilken olika typer av tillsatsmaterial blandades in. Ett cement -Typ 5- var baserat på Sliteklinker. Alla cement tillverkades av Cementa:

Typ 1: Flygaskacement med 20% flygaska

Typ 2: Slaggcement med 20% granulerad masugnsslagg

Typ 3: Silikastoftcement med 10% silikastoft

Typ 4: Rent anläggningscement

Typ 5: Blandcement med 13% flygaska och 4% kalkstensfiller inblandade i Sliteklinker.

Typ 6: Flygaskacement med 40% flygaska

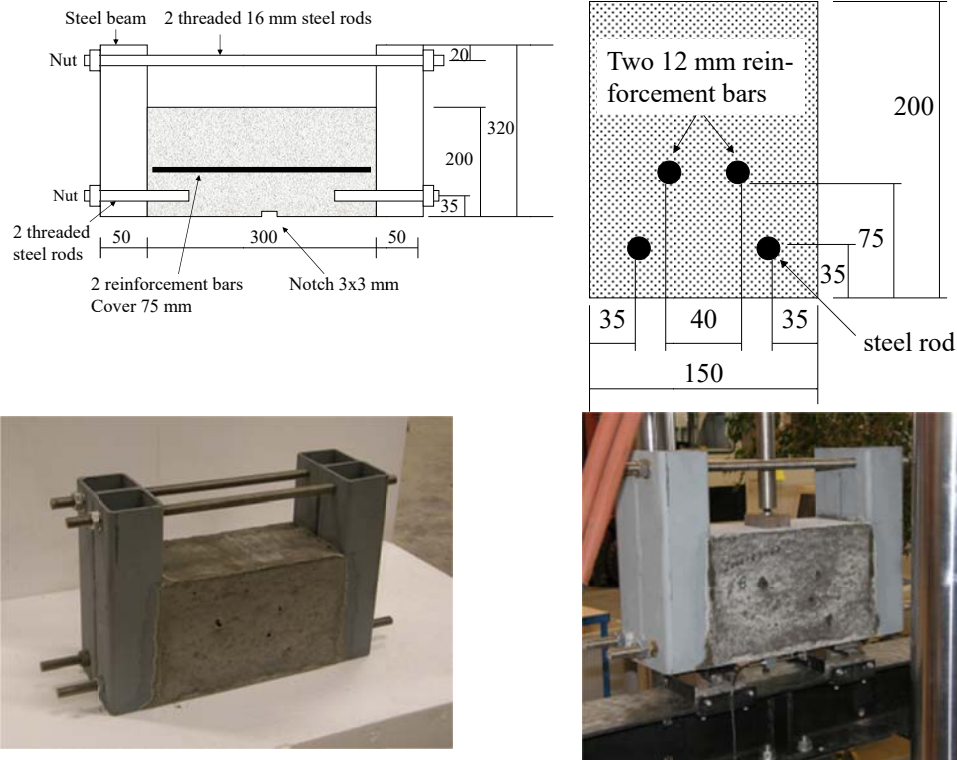
Betong

Alla prover av varje cementtyp tillverkades från en och samma betongsats. $v_{ct}=0,40$ och cementhalten ca 440 kg/m^3 för betong med alla cementtyper.

Provkroppar

Provkroppar med dimensionerna $L \times B \times H = 30 \times 15 \times 20$ cm tillverkades. Två armeringsstänger göts in på 75 mm avstånd från botten. Alla prover försågs med en centrisk spricka med ytvidden 0,2 mm eller 0,4 mm. Sprickan som utgick från provets bottenyta var fastlåst under hela tiden proverna exponerades. Bild av prov visas i Figur 1. Totala antalet prover var 36.

Provernans sidor isolerades så att kloridinträngning bara kunde ske från provens undersida.



Figur 1: Övre vänster: Längdsektion av provkropp. Övre höger: Tvärsektion.
Undre vänster: Prov efter avformning. Undre höger: Tillverkning av spricka genom böjning i provmaskin

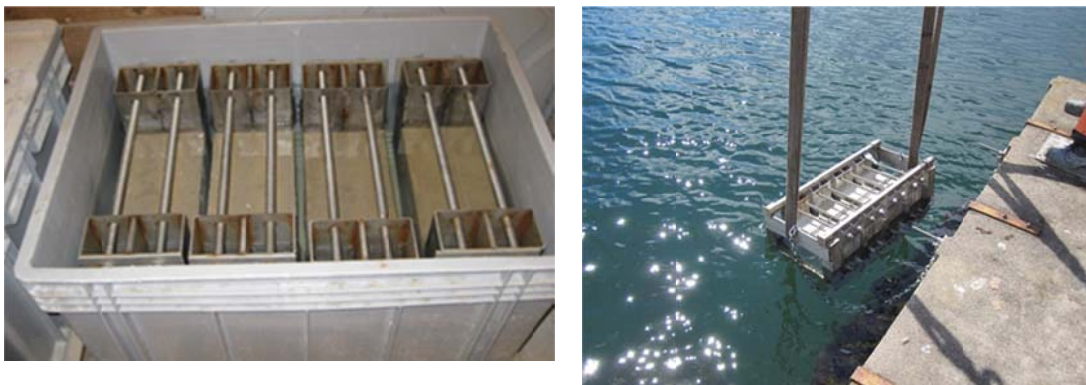
Sprickorna fotograferades på båda sidor av provkroppen innan de förseglades. Exempel visas i Figur 4:

Förlagring och exponering

Proverna förlagrades ca 2 månader i laboratoriet i mättat kalkvatten. Därefter exponerades de under 15 månader på två sätt:

1. i lab. nedsänkta i baljor med havsvatten hämtat från Träslövsläge i Kattegatt.
2. i havet i Träslövsläge

Bilder från exponering visas i Figur 2.



Figur 2: Exponering av provkroppar. Vänster: i baljor i lab. Höger: i rostfria stålburar i havet (nedsänkning pågående).

Vid upptagning av proverna efter 15 månaders exponering i havet visade sig burar och provkroppar vara fullständigt överväxta av organiskt material som sjögräs, tång och musslor, se Figur 3.



Figur 3: Stålburar med prover vid upptagning efter 15 månader i havet.

Variabler

Labexponering, 12 dubbelprover:

- 3 cementtyper 1, 2, 3
- 2 sprickvidder

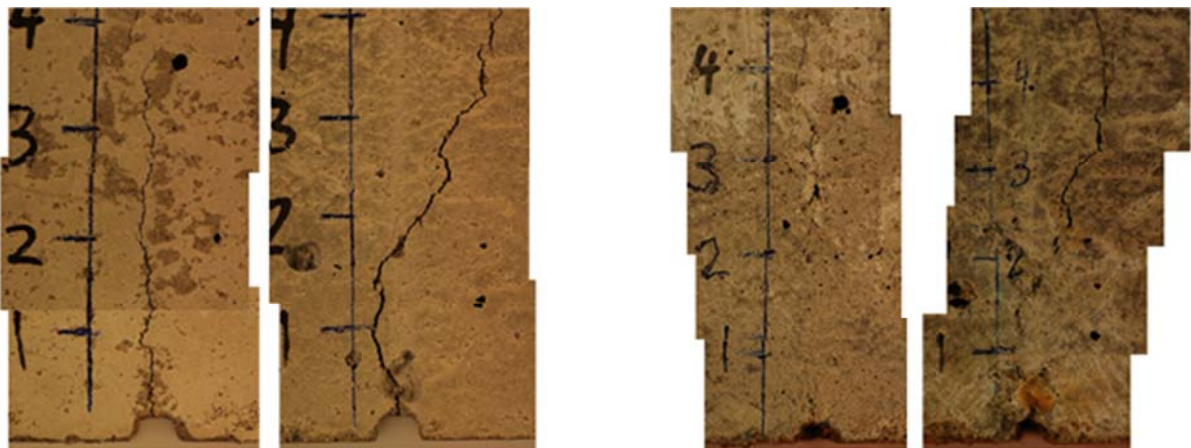
Fältexponering, 24 dubbelprover:

- 6 cementtyper 1, 2, 3, 4, 5, 6
- 2 sprickvidder

Provningar efter exponering

Fotografering

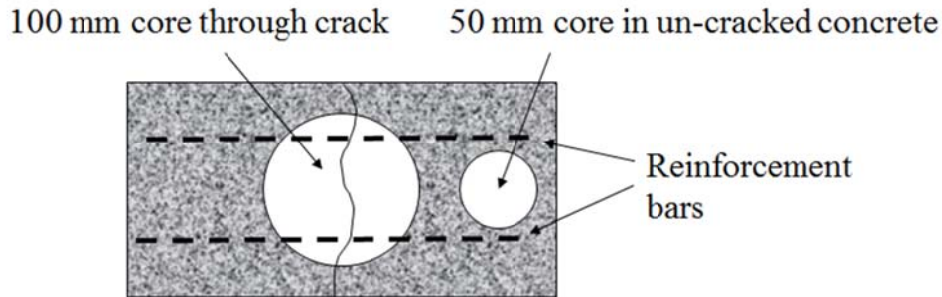
Efter det att förseglingen av sprickor avlägsnats fotograferades sprickorna på alla prover. Exempel på foton av sprickor hos två provkroppar före och efter exponering i havet visas i Figur 4. Tydliga tecken på att viss självläkning skett framgår.



Figur 4: Exempel på sprickor före (vänster) och efter (höger) 15 månaders exponering.

Kloridmätning, kloridprofil, klorid-diffusivitet

Borrkärnor togs ut parallellt med sprickan i samtliga prover. Dessutom togs kärnor ut i sprickfri del av vissa prover. Läget på kärnor visas i Figur 5.

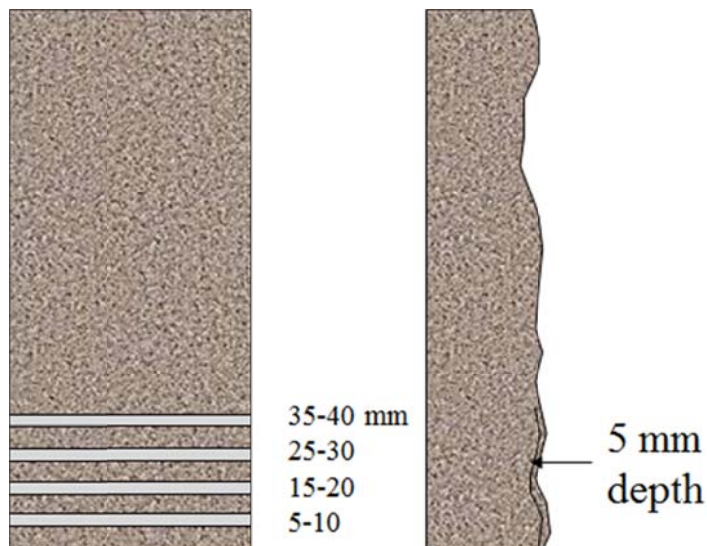


Figur 5: Läge för borrkärnor. Provet sett från undersidan.

100 mm kärnor spräcktes längs sprickan. Klorid- och kalciumanalys gjordes på djupet 0-5 mm räknat från sprickväggens yta på 4 olika avstånd från sprickans botten, se Figur 6. För 50 mm kärnor togs prover ut på olika djup från kärnans bottenyta. Samtliga analyser gjordes vid CBI (2). Ur mätdata får man kloridprofilen relaterad till aktuell cementhalt i betong och sprickvägg. Ur kloridprofilen beräknas transportkoefficienten (diffusiviteten) för klorid. Diffusiviteten δ_{eff} definieras av följande ekvation:

$$\frac{dc}{dt} = \delta_{eff} \cdot \frac{d^2c}{dx^2}$$

Där c är kloridhalten på djupet x efter tiden t . δ_{eff} innefattar effekten av att en viss mängd klorid binds i betongen. Ju högre diffusivitet ju snabbare kloridinträngning.

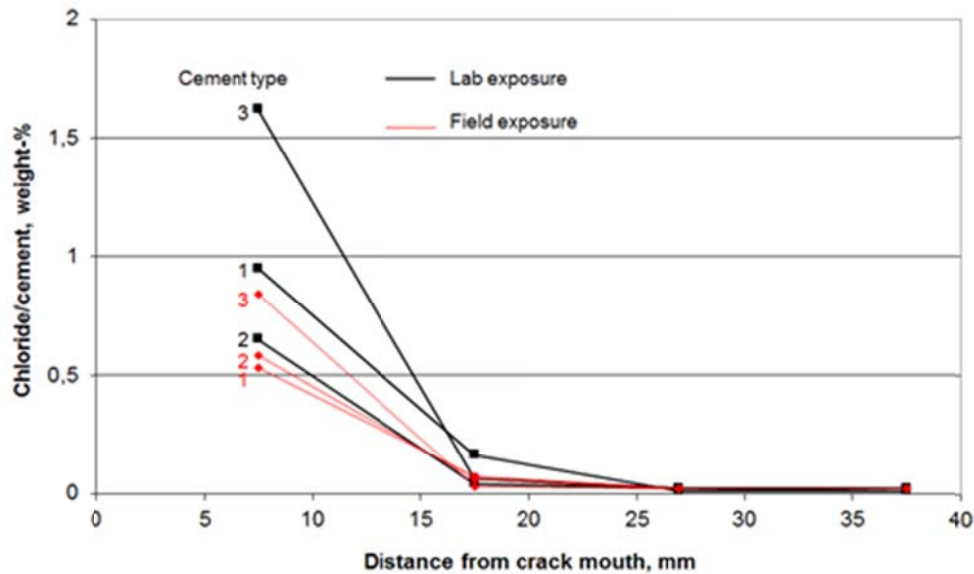


Figur 6: Läge för kloridanalyser i sprickväggen. Vänster: Spräckt kärna sedd framifrån.
Höger: Spräckt halv kärna sedd från sidan.

Kloridabsorption i sprickfri betong (50 mm kärnor)

Jämförelse mellan labexponering och fältexponering

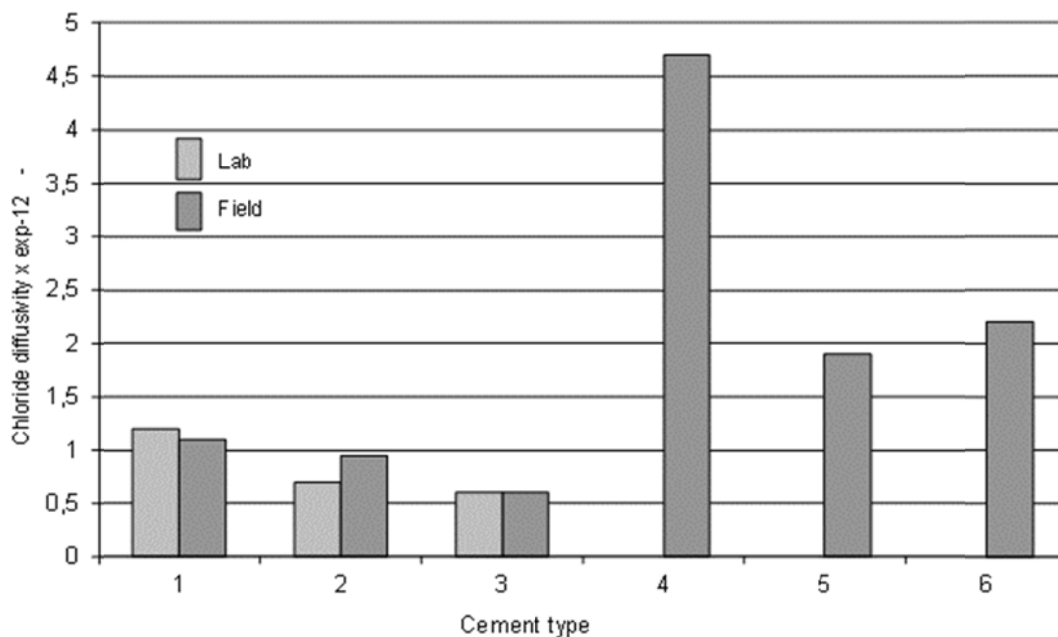
Cementtyper 1, 2 och 3 provades både i lab och i fält. Uppmätta kloridprofiler visas i Figur 7. Kloridabsorptionen är betydligt högre i lab än i fält trots att proverna utsattes för samma vatten. Orsaken är sannolikt att temperaturen skiljer sig, ca +22°C i lab och ca +10°C i fält. Kloridbindningen är nämligen högre vid låg temperatur. Trots den högre kloridabsorptionen i fält är beräknad kloriddiffusivitet i stort sett densamma för lab och fält (Figur 8).



Figur 7: Kloridprofiler för sprickfri betong.

Fältexponering

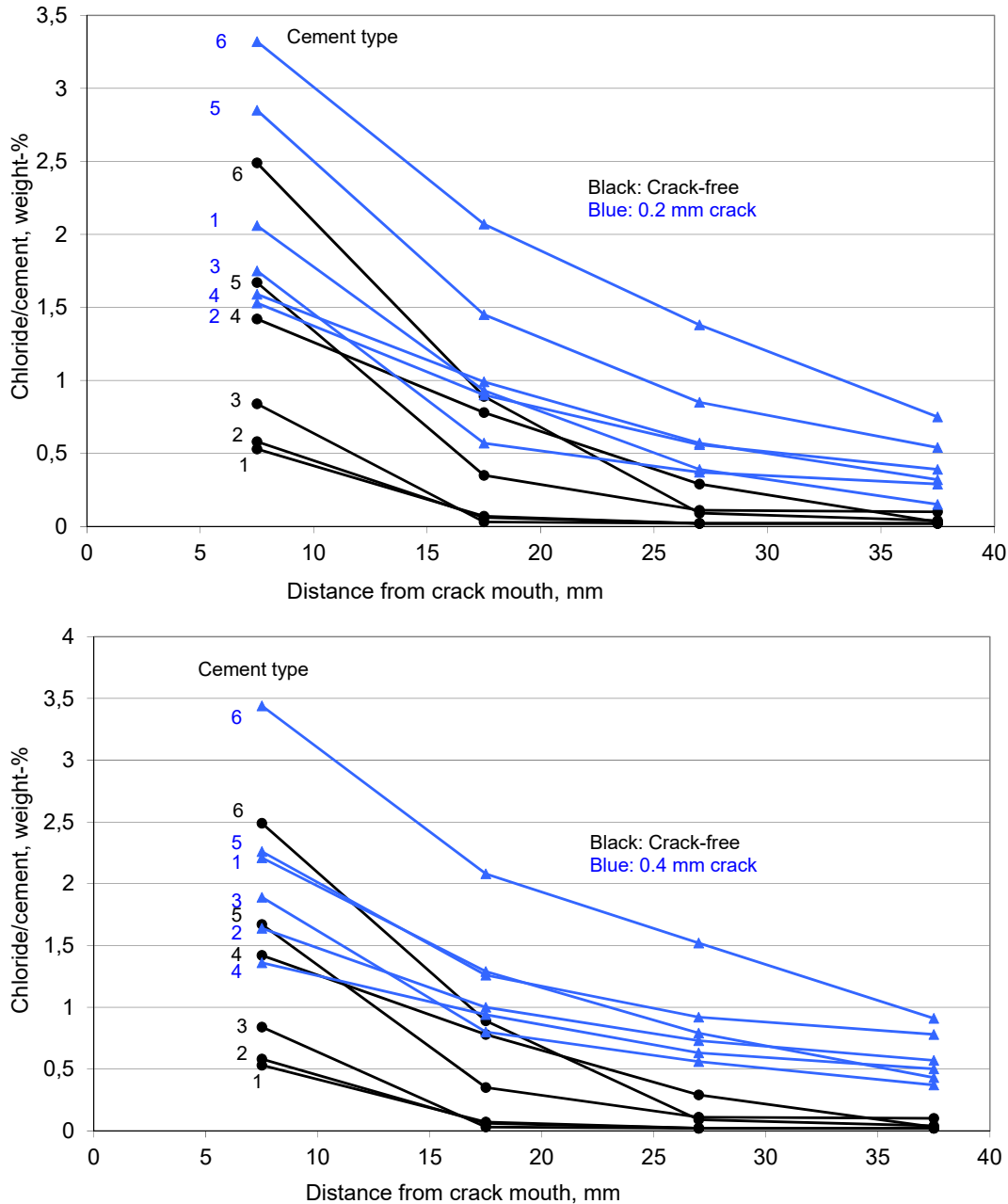
Samtliga cementtyper provades i fält. Beräknad kloriddiffusivitet visas i Figur 8. Skillnaden mellan de olika cementen är stor. Portlandcementet ger högst diffusivitet vilket beror på dess lägre kloridbindningsförmåga.



Figur 8: Beräknad kloriddiffusivitet för sprickfri betong.

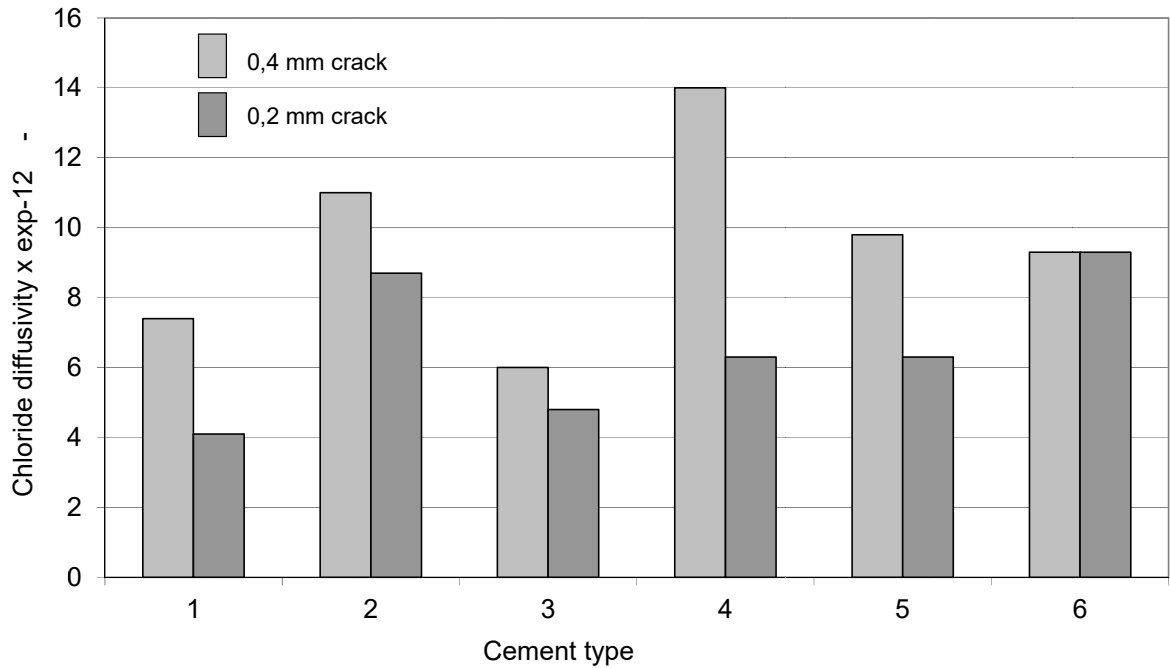
Kloridabsorption i sprickvägg (100 mm kärnor)

Kloridupptagning i sprickväggen hos prover med 0,2 och 0,4 mm sprickvidd exponerade i fält visas i Figur 9. Jämförelse görs med inträngning i sprickfri betong. För samtliga cementtyper är upptagningen större i sprickor. Skillnaden mellan 0,2 och 0,4 mm sprickvidd är tämligen liten. Däremot är kloridupptagningen alltid mycket högre än i sprickfri betong.



Figur 9: Jämförelse mellan kloridupptagning hos sprickfri betong och hos sprickvägg. Övre: 0,2 mm sprickvidd. Undre 0,4 mm sprickvidd.

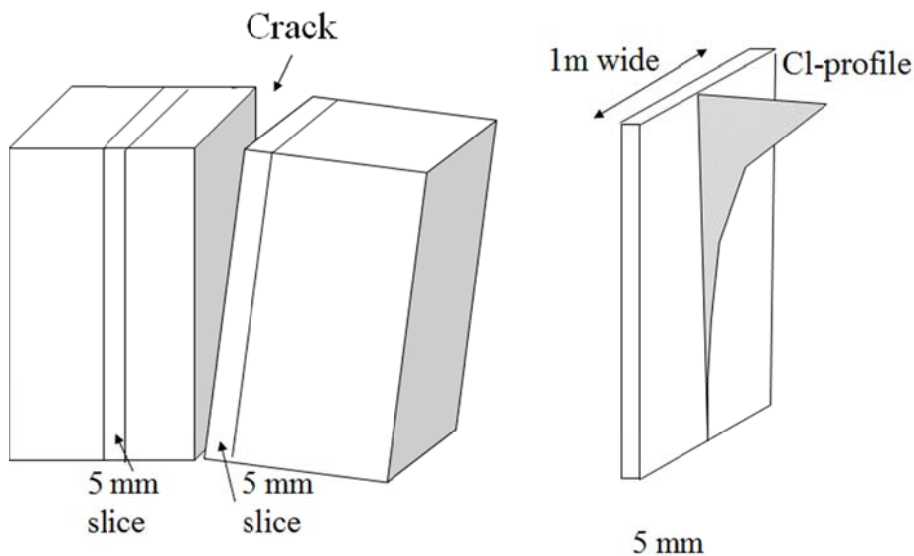
Kloriddiffusiviteten för en fiktiv sprickfri betong som skulle ha samma kloridprofil som uppmätt kloridtransport i sprickväggen beräknas ur kloridprofilerna för sprickväggarna. Resultatet visas i Figur 10. Skillnaden mellan de olika cementtyperna är liten och betydligt mindre än för sprickfri betong (Figur 8). Däremot är skillnaden mot sprickfri betong stor, jämför Figur 8.



Figur 10: Beräknad kloriddiffusivitet hos sprickväggar exponerade i fält.

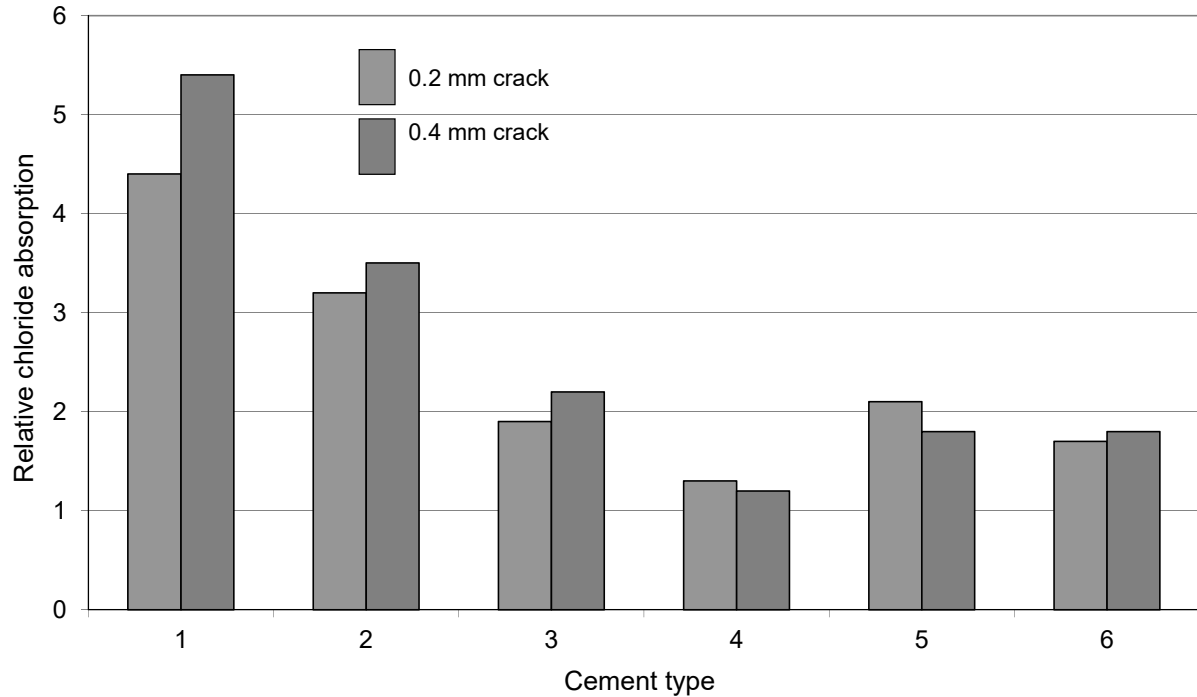
Sjävläkningsförmåga

Sjävläkningsförmågan beräknas genom att kloridupptagningen i yttre 5 mm av sprickväggen jämförs med kloridupptagningen i en 5 mm bred strimla i sprickfri betong enligt modellen i figur 11. Ju mindre skillnaden är desto större är sjävläkningsförmågan.



Figur 11: Modell för beräkning av kloridupptagning i 5 mm tjocka strimlor närmast sprickvägg och i sprickfri betong.

Resultatet av beräkningen visas i Figur 12. För alla cementtyper är kloridupptagningen i sprickvägg större än i sprickfri betong. Det rena portlandcementet (Typ 4) har störst sjävläkningsförmåga; skillnaden mellan kloridupptagning i sprickan och i sprickfri betong är bara ca 20% för detta cement. Inverkan av sprickvidden är liten för alla cementtyper.



Figur 12: Kloridupptagning i sprickvägg jämförd med kloridupptagning i sprickfri betong.

Referenser

- (1) Fagerlund G & Hassanzadeh M (2011). *Self-healing of cracks in concrete long-term exposed to different types of water. Effect on chloride penetration*. Avd. byggnadsmaterial, LTH, Rapport TVBM-3161.
- (2) Kalinowski R & Trägårdh J(2016). *Analys av kloridinhåll I betongkärnor*. CBI Uppdrag 6P00155.