

SBUF-projekt 11993

## Sjävläkning av sprickor i betong – Sammanfattning

### Bakgrund

Sprickor uppstår normalt i betongkonstruktioner under byggskedet och/eller under bruksskedet. Vanliga orsaker är; (1) temperaturspänningar orsakade av förhindrad sammandragning av den avsvalnande betongen, (2) krympspänningar orsakade av uttorkningskrympning, (3) krympspänningar orsakade av cementets hydratation ("kemisk krympning"), (4) dragspänningar orsakade av yttre mekanisk belastning.

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 fordras av rent konstruktiva skäl. Sprickviddsbegränsning är därför mycket kostsam.

Man vet att betong har förmåga till viss sjävläkning av defekter, t.ex. sprickor. Detta har man kunnat konstatera genom hållfasthetsmätningar på initialt defekta prover efter vattenlagring. Sjävläkningseffekten har visat sig öka om provet utsätts för tryckbelastning under vattenlagringstiden. Däremot finns det veterligen inga undersökningar av hur en ev. sjävläkning av sprickor med olika vidd påverkar kloridinträngningen.

### Syfte

Syftet med projektet var att undersöka sjävläkning av sprickor hos normal svensk brobyggnadsbetong (vct 0,40, Anläggningscement). Inverkan av sprickvidd (0,2 och 0,4 mm), sjävläkningstiden (1 och 2,2 år) och typ av vatten under sjävläkningen (hav, bräckt, rent) skall undersökas. Sjävläkningseffekten skulle studeras genom okulär besiktning (fotografering), genom kemisk/mineralogisk analys av utfällningar i sprickor och genom mätning av kloridinträngning i sprickor.

### Genomförande

34 provkroppar (h·b·l=200x150x300 mm) tillverkades; 18 provades efter 1 års exponering; 16 provades efter 28 månaders exponering. Två armeringsjärn lades in i varje provkropp på 55 eller 75 mm avstånd från bottenytan. Proverna göts i rostfria stålramar som användes för att överföra kraften vid tillverkning av sprickan och för att fixera sprickvidden. Vid 14 dygns ålder böjdes proverna så att en spricka upp till armeringsläget uppstod. Sprickvidden vid ytan fixerades till antingen 0,2 eller 0,4 mm.

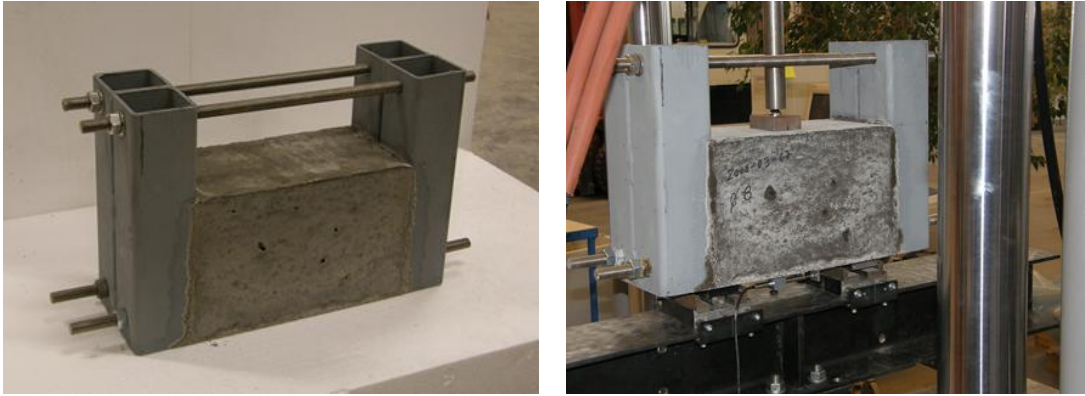


Fig 1: Vänstra bilden: Provkropp gjuten i stålram.

Högra bilden: Tillverkning av spricka genom böjning i provningsmaskin.

Sprickan fotograferades på båda sidor av provet varefter provets sidor isolerades så att fukt- och kloridtransport enbart kunde ske i sprickans längdriktning från dess ände.



Fig 2: Exempel på spricka före exponering. Vänstra bilden, sprickvidd 0,4 mm.

Högra bilden, Sprickvidd 0,2 mm.

Proverna placerades i baljar som innehöll olika typer av vatten:

- Havsvatten hämtat från Kattégatt (Träslövsläge) (Salthalt 24 g/liter).
- Bräckt vatten hämtat från Östersjön (Salthalt 8g/liter).
- Kranvatten från Lund.

Tre typer av exponering användes:

- Typ 1: Ständigt nedsänkt i vatten.
- Typ 2: Omväxlande nedsänkt och torkande i labluft (1 vecka i vatten+1 vecka i luft).
- Typ 3: Spricköppning mot luft. Osprucken överyta i vatten (Kapillärsugning).



*Fig 3: Exponering. Vänstra bilden: Typ 1, Nedsänkta i vatten.*

*Högra bilden: Typ 3, Kapillärsugning från osprucken överyta.*

## Resultat

### Fotografering efter exponering

Alla prover fotograferades efter avslutad exponering. Exempel på sprickor efter 1 års lagring i havsvatten visas i Fig 4.



*Fig 4: Exempel på spricka efter 1 års nedsänkning i havsvatten. Samma prov som i Figur 2. Vänstra bilden, sprickvidd 0,4 mm. Högra bilden, Sprickvidd 0,2 mm.*

Exempel på fotografier av nedre 30-40 mm av en spricka efter 28 månaders exponering och samma spricka före exponering visas i Fig 5.

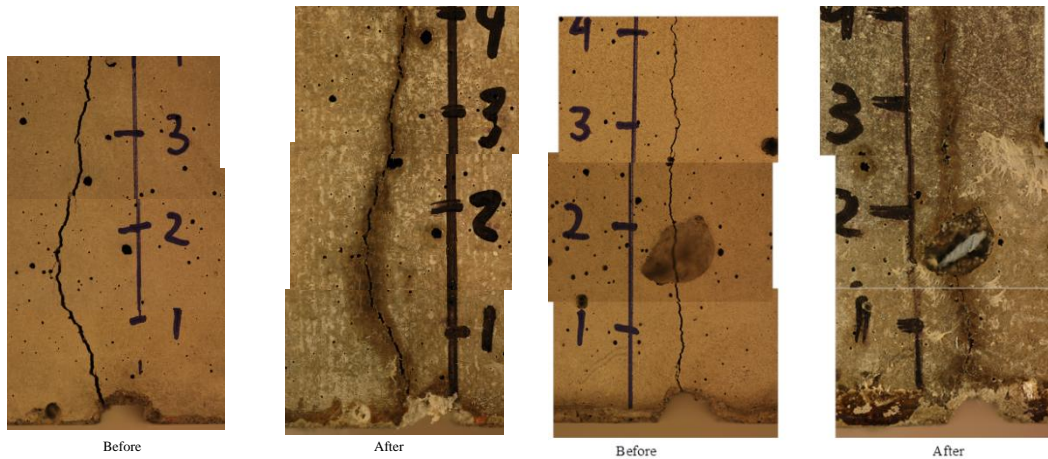


Fig 5: Exempel på sprickor efter 28 månaders nedsänkning i havsvatten.  
Vänstra två bilder: Sprickvidd 0,4 mm. Högra två bilder: Sprickvidd 0,2 mm.

Samtliga fotografier tyder på att viss självläkning skett hos prover helt nedsänkta i havsvatten (Typ 1) eller som är omväxlande nedsänkta i havsvatten och torkade (Typ 2). Så gott som ingen självläkning kan observeras i prover som kapillärsuger från ospruckna sidan (Typ 3) eller som är nedsänkta i kranvatten.

### Analys av utfällningar i sprickor

Ett urval av borrhärnor utborrade från provkroppar efter exponering under 12 resp. 28 månader sändes till CBI för kemisk/mineralogisk analys av utfällningar i sprickor. Använd teknik är SEM (Scanning Electron Microscopy) kombinerad med BSE (Back Scattered Electron Detector) och EDS (Energy Dispersive X-ray Spectroscopy).

Exempel på en borrhärna och lägen för provtagning visas i Fig 6.

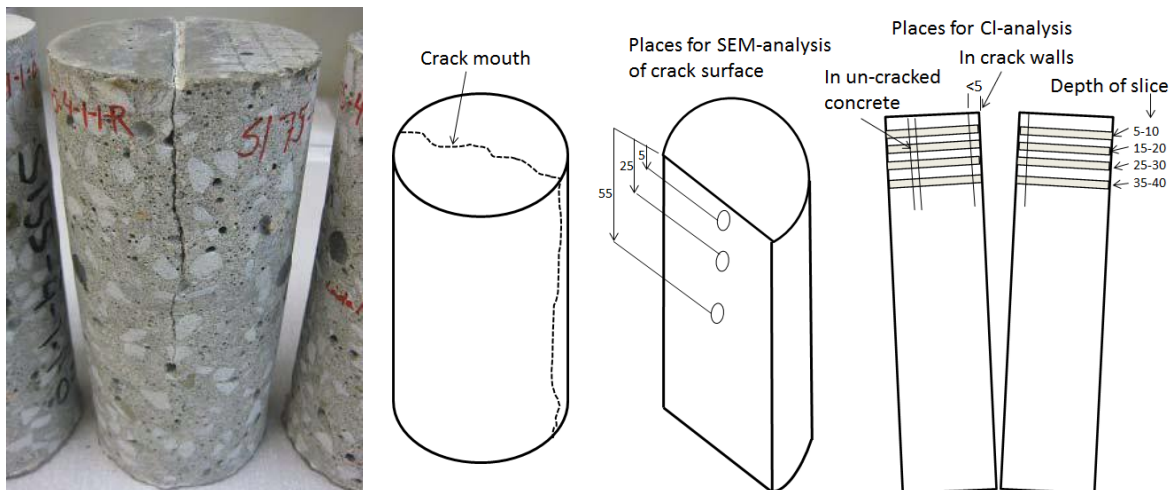


Fig 6: Vänster; Borrhärna. Höger; Lägen för provtagning och fotografering efter halvering av kärnan.

Samtliga sprickytor mikrofotograferades i SEM. Ett exempel visas i Fig 7.



Fig 7: Utfällningar på sprickyta. Provet helt nedsänkt i havsvatten under 28 månader. Sprickvidd 0,4 mm.

Utfällningarna i sprickor på prover nedsänkta i havsvatten, eller cykliskt utsatta för havsvatten och torkning, bestod huvudsakligen av:

- Ettringit, nålformade kristaller bestående av aluminium, kalcium och svavel.
- Kalciumhydroxidkristaller (portlandit)
- Kalciumkarbonatkristaller (kalcit)
- Magnesiumkarbonatkristaller (brucit)

### Analys av kloridinträngning

Prover togs ut från sprickväggen på tre olika djup i sprickan (5, 25, 50 mm) och analyserades med avseende på kloridhalt och cementhalt. Dessutom togs prover ut i osprucken betong på samma djup. Exempel på resultat visas i Fig 8 för betong som lagrats under 28 månader i havsvatten.

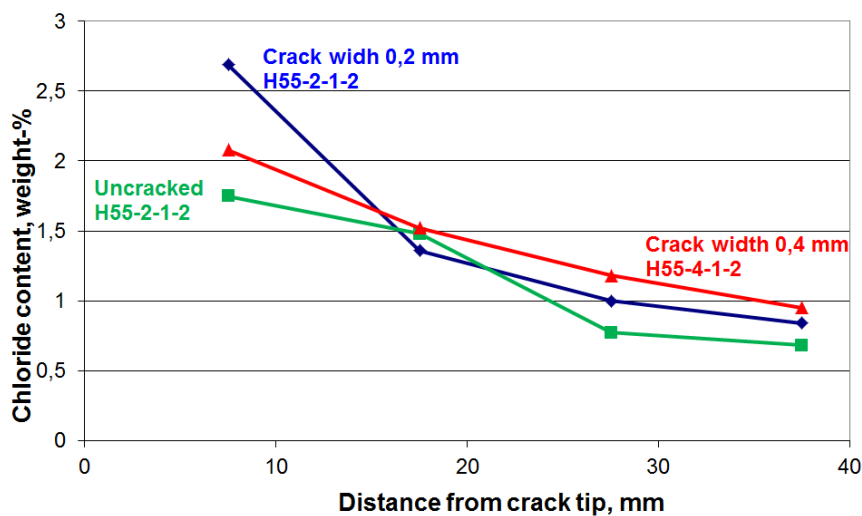


Fig 8: Kloridprofil i 0,2 och 0,4 mm breda sprickor lagrade 28 månader i havsvatten. Kloridprofil i osprucken betong visas även.

Kloridprofilerna kan användas för att utvärdera en kloridtransportkoefficient. Resultatet visas i Tabell 1.

*Tabell 1: Kloridtransportkoefficient utvärderad ur kloridprofiler hos prover som lagrats under 28 månader i havsvatten eller bräckt vatten. Medelvärden av beräkningar baserade på mätta kloridvärden på olika djup från spricköppningen.*

Vattentyp	Täckskikt mm	Sprickvidd mm	Kloridtransportkoeff. $m^2/s$
Havsvatten	55	0,2	$4,2 \cdot 10^{-12}$
		0,4	$4,3 \cdot 10^{-12}$
	75	0,2	$5,5 \cdot 10^{-12}$
		0,4	$6,5 \cdot 10^{-12}$
	Osprucken	0	$3,2 \cdot 10^{-12}$
Bräckt vatten	55	0,4	$3,6 \cdot 10^{-12}$
	75	0,4	$5,0 \cdot 10^{-12}$

Tabellen visar att sprickorna utgör ett avsevärt hinder för kloridtransport. Skillnaden är dessutom anmärkningsvärt liten mellan kloridtransport i sprickor och i osprucken betong. Dessutom är skillnaden mellan 0,2 och 0,4 mm breda sprickor rätt liten. Ökat täckskikt tycks ge något högre transportkoefficient.

Transportkoefficienten är betydligt lägre efter 28 månaders vattenlagring än efter 1 års lagring vilket visas av tabell 2.

*Tabell 2: Inverkan av vattenlagringstid på kloridtransportkoefficienten. 55 mm täckskikt*

Vattentyp	Sprickvidd mm	Kloridtransportkoeff. $m^2/s$	
		1 års lagring	28 månaders lagring
Havsvatten	0,2	$10,4 \cdot 10^{-12}$	$4,2 \cdot 10^{-12}$
	0,4	$9,4 \cdot 10^{-12}$	$4,3 \cdot 10^{-12}$
Bräckt	0,4	$9,8 \cdot 10^{-12}$	$3,6 \cdot 10^{-12}$

## Resultatets betydelse

Undersökningen visar att avsevärd självläkning sker av upp till 0,4 mm breda sprickor i betong som lagras i saltvatten. Sjävläkningen medför att kloridinträning i sprickor blockeras rätt kraftigt. Konsekvensen är att man borde kunna tillåta något bredare sprickor än vad som godtas i dagens regler. Den något högre kloridtransportkoefficienten i sprickor jämfört med i osprucken betong kan kompenseras med ett proportionellt något större täckskikt.

Om ytterligare undersökningar skall genomföras kan dessa bestå av:

1. Försök av samma typ som i undersökningen men med ännu bredare sprickor, t.ex. 0,5 och 0,6 mm.
2. Fältexponering av prover direkt i havet, t.ex. i fältstationen Träslövsläge. Därvid kommer även effekter av biologisk aktivitet att ingå.

## Projektleddning

Projektleddare och anslagsmottagare från SBUF är Kyösti Tuutti, Skanska AB.

Arbetet har genomförts vid avd. byggnadsmaterial LTH. Ansvarig projektleddare vid LTH var Manouchehr Hassanzadeh. Arbetet genomfördes i nära samarbete med Göran Fagerlund f.d. LTH.

## Rapporter

Samtliga resultat har sammanfattats i två rapporter:

Efter 1 års exponering:

Fagerlund, G.; Hassanzadeh, M.: *Self-healing of cracks in concrete long-term exposed to different types of water*. Avd. byggnadsmaterial, LTH. Rapport TVBM-3156, Lund 2010.

Efter 28 månaders exponering:

Fagerlund, G.; Hassanzadeh, M.: *Self-healing of cracks in concrete exposed to different types of water. Effect on chloride penetration*. Avd. byggnadsmaterial, LTH. Rapport TVBM-3161, Lund 2011.

Analysresultat från CBI-undersökningar har presenterats i två arbetsrapporter från CBI Kalinowski, M., Fjällberg, L.: *Analys av utfällningar på sprickytor och kloridhalter i betong*. Cement och Betong Institutet. Uppdragsnummer P900443, 2010.

Kalinowski, M., Trägårdh, J.: *Analys av utfällningar på sprickytor och kloridhalter i betong*. Cement och Betong Institutet, Uppdragsnummer PX00644, 2011.