



LUND UNIVERSITY

Sjävläkning av sprickor i betong

Fagerlund, Göran; Hassanzadeh, Manouchehr

Published in:
Bygg & teknik

2012

[Link to publication](#)

Citation for published version (APA):
Fagerlund, G., & Hassanzadeh, M. (2012). Sjävläkning av sprickor i betong. *Bygg & teknik*, 66-71.

Total number of authors:
2

General rights

Unless other specific re-use rights are stated the following general rights apply:
Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal

Read more about Creative commons licenses: <https://creativecommons.org/licenses/>

Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

LUND UNIVERSITY

PO Box 117
221 00 Lund
+46 46-222 00 00

Sjävläkning av sprickor i betong

En experimentell långtidsundersökning av betongens förmåga att självläka sprickor har genomförts åren 2009 till 2011 vid Avdelningen för byggnadsmaterial, Lunds tekniska högskola (LTH). Provkroppsexponering och okulära undersökningar genomfördes vid LTH. Analys av sammansättning av utfällda mineral i sprickor liksom mätning av kloridprofiler genomfördes vid CBI Betonginstitutet. I artikeln ges en sammanfattning av undersökningen. Resultaten har publicerats i sin helhet i två rapporter; *Fagerlund & Hassanzadeh* [1, 2].

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) spänningar orsakade av yttre mekanisk belastning.

I kloridhaltig miljö, till exempel i havsvatten eller i närvaro av tölsalt, tränger kloridjoner in i sprickan och kan då medföra armeringskorrosion, vilket medför en minskning av konstruktionens livslängd. Normalt antas att kloridinträngningen ökar med ökande sprickvidd. I normer och standarder begränsas därför sprickvidden till ett viss maximalt tillåtet värde. I svensk standard (SS 13 70 10) 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 (till exempel i plaskzonen i havet) sätts maxnivån till 0,15 mm.

För att begränsa sprickvidden till dessa låga värden krävs normalt att sprickarmering läggs in. Ofta blir därför den totala armeringsmängden betydligt högre än vad som fordras av rent konstruktiva skäl. Sprickviddsbegränsning är därför i många fall kostsam.

Man vet sedan länge att betong har förmåga till viss sjävläkning av defekter, till exempel sprickor. Detta har man kunnat konstatera genom täthets- och hållfasthetsmätningar efter vattenlagring av skadade prover; se till exempel *Edwardsen* [3], *Dhir mfl* [4], *Lauer & Slate* [5]. Exempel på hur sprickor kan tätas visas i *figur 1*, *Edwardsen* [3]. Prover med en enda genomgående spricka har lagrats i vatten upp till 700 timmar (29 dygn). Efter olika lång lagringstid har vatten tryckts genom provet. Sprickor med vidden 0,1 mm har tätats så gott som fullständigt inom 200 timmar. Sprickor med vidden 0,2 och 0,3 mm har fått avsevärd självtätning inom en månad. Andra undersökningar har visat att sjävläkningseffekten ökar om provet utsätts för tryckbelastning under vattenlagringstiden.

Undersökningar av hur sjävläkning påverkar kloridinträngning och därmed

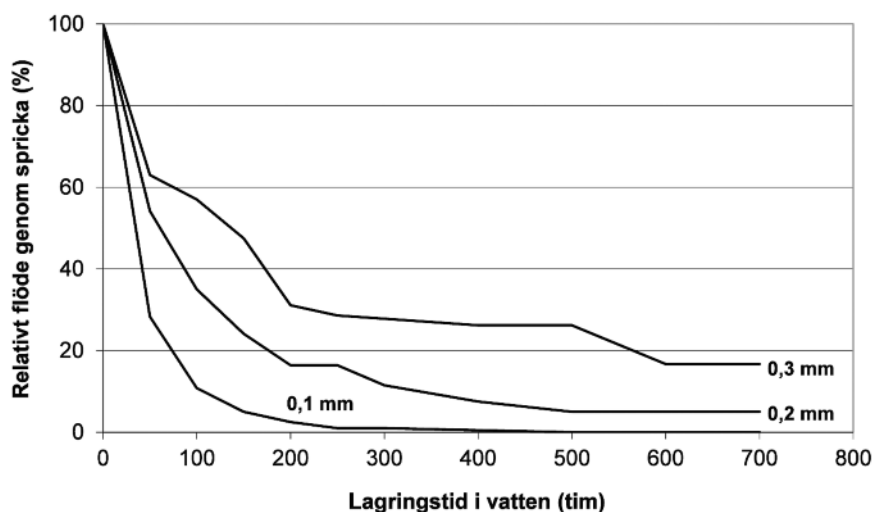
beständigheten i salt miljö saknas i stort sett helt. I rapport *Nordström* [6] visas dock några resultat för prover som varit exponerade för klorid säsongvis. Fiberarmerade prover med förtillverkade sprickor exponerades under fem år för saltstänk från en tölsaltad motorväg. Den uppmätta kloridnivån efter fem år var maximalt cirka 0,2 procent av cementvikten och tämligen oberoende av sprickvidd och sprickdjup. Sprickfri betong hade betydligt lägre kloridinträngning. Proverna lagrades inte i vatten och hade därför inte optimala möjligheter till sjävläkning.

Syfte

Syftet med projektet var att undersöka hur sjävläkning av sprickor sker hos normal svensk brobyggnadsbetong som lagras under lång tid i olika typer av vatten, och att undersöka vilken inverkan sjävläkning har på tätheten mot kloridinträngning i sprickor.

Inverkan av följande faktorer studerades:

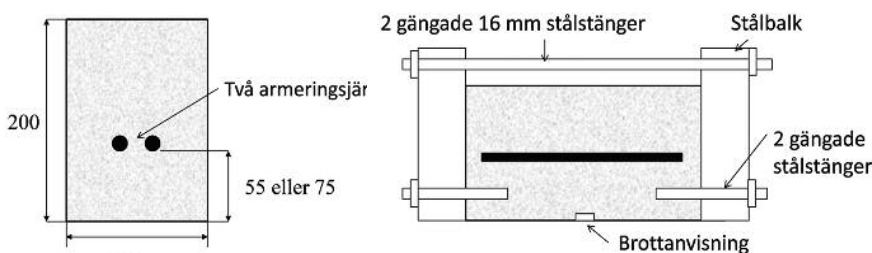
- Sprickvidd (0,2 och 0,4 mm).
- Sjävläkningstid (12 och 28 månader).
- Typ av vatten under sjävläkningen (hav, bräckt, rent).



Figur 1: Inverkan av sprickvidd och lagringstid på vattenflöde under tryck genom ett vattenlagrat betongprov. Resultat hämtade från *Edwardsen* [3].



Artikelförfattare är **Göran Fagerlund**, Avdelningen för byggnadsmaterial, Lunds tekniska högskola, Lund, och **Manouchehr Hassanzadeh**, Vattenfall Research and Development AB och Avdelningen för byggnadsmaterial, Lunds tekniska högskola, Lund.



Figur 2: Provkropp. Tvärsnitt och längdsnitt.

Självläkningseffekten undersöktes genom okulär besiktning (främst fotografering), genom kemisk/mineralogisk analys av utfällningar i sprickor och genom mätning av kloridinträngning i sprickor.

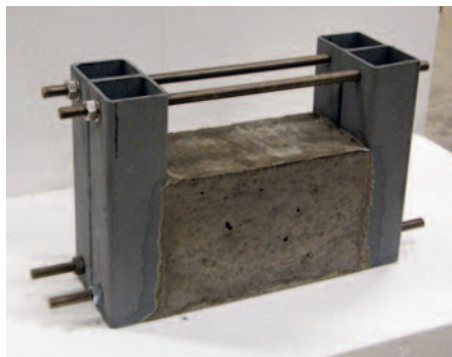
Prover

Trettiofyra provkroppar ($h \times b \times l = 200 \times 150 \times 300$ mm) tillverkades av följande betong:

- Vattencementtal 0,40.
- Anläggningscement (sulfatresistent cement med låg alkalitet).
- Tryckhållfasthet efter 28 dygn, 84 MPa.

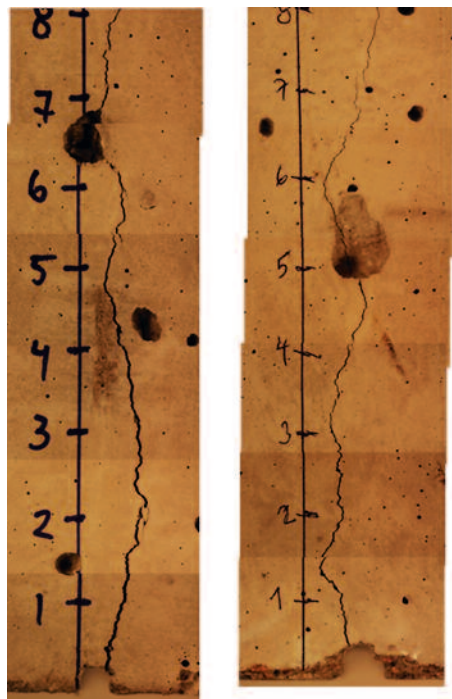
Betongen är en typisk svensk brobyggnadsbetong bortsett från att den saknar luftinblandning.

Två armeringsjärn lades in i varje provkropp på 55 eller 75 mm avstånd från bottenytan. Orsaken var att förhindra att



Figur 3: Prov efter avformning.

proverna bröts upp i två delar vid tillverkningen av sprickan. Proverna göts mot rostfria stålglavlar som användes för att



Figur 6: Exempel på spricka före exponering. Vänstra bilden, sprickvidd 0,4 mm. Högra bilden, sprickvidd 0,2 mm (centimeterskala inritad på betongen).

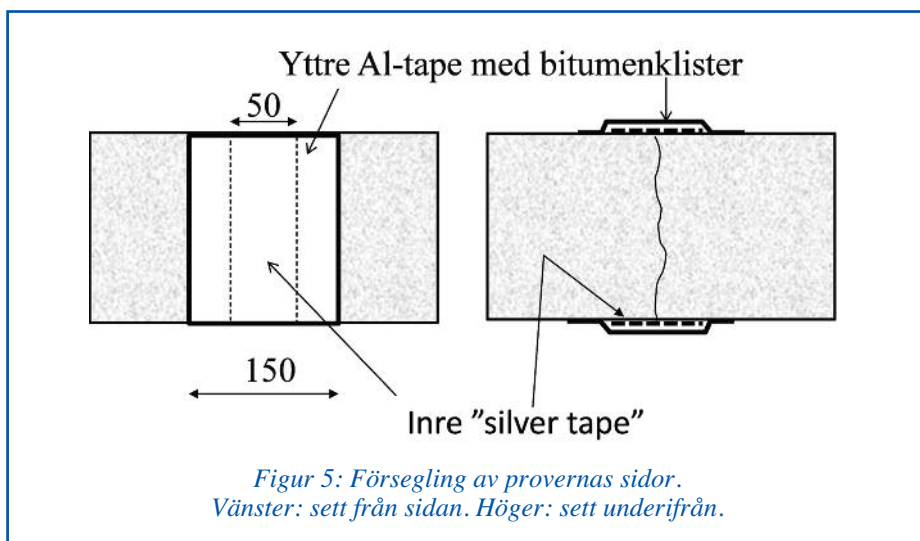


Figur 4: Prov under tillverkning av böjspricka.

även två prover med 0,4 mm sprickvidd utan låsning av sprickan

Ett prov under böjning visas i figur 4.

Efter fotografering förseglades sprickan på båda sidor av provet så att endast bottenytan skulle exponeras för vatten, luft och klorid. Metod för försegling visas i figur 5. I fyra prover förseglades även spricköppningen på provets undersida. Avsikten var, dels att se om någon självläkning kunde ske utan att sprickan var vattenfylld, dels att undersöka hur effektivt sättet att försegla var. Det senare skedde genom mätning av kloridhalten i sprickan efter avslutad exponering.



Figur 5: Försegling av provernas sidor. Vänster: sett från sidan. Höger: sett underifrån.

överföra kraften vid tillverkning av sprickan och för att fixera sprickvidden. Tvärsnitt och längdsnitt av en provkropp och visas i figur 2. En provkropp efter avformning visas i figur 3.

Under de första två veckorna lagrades proverna i mättat kalkvatten. Vid fjorton dygns ålder böjdes proverna i en provpress så att en spricka upp till armeringsläget uppstod. Böjkraften överfördes till provet genom två förankringsbultar i undre delen av varje stålglav. Sprickvidden vid bottenytan mättes och fixerades till antingen 0,2 eller 0,4 mm med hjälp av två stålstänger med låsmuttrar, monterade i stålramarnas överdel. Sprickorna hade därför inte möjlighet att relaxera, vilket bör vara negativt med avseende på möjligheten till självläkning. För att undersöka inverkan av relaxation tillverkades

Ett exempel på hur en spricka såg ut före försegling och exponering visas i figur 6.

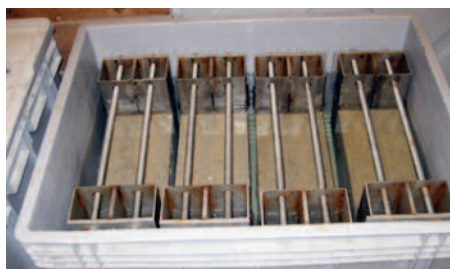
Exponering av prover

Proverna placerades i plastbaljor som innehöll tre olika typer av vatten, se figur 7:

- Havsvatten hämtat från Kattegatt (Träslövsläge) (salthalt 24 g/liter, kloridhalt 1,3 %).
- Bräckt vatten hämtat från Östersjön (salthalt 8 g/liter, kloridhalt 0,45 %).
- Kranvatten från Lund.

Tre typer av exponering användes:

- Typ 1: Ständigt nedsänkt i vatten. Simulerar en konstruktion under vatten.
- Typ 2: Omväxlande nedsänkt i vatten och torkande i laboratorieluft (en vecka i vatten plus en vecka i luft). Simulerar en konstruktion i plaskzonen.



Figur 7: Exponering. Vänstra bilden: Typ 1, nedsänkta i vatten. Högra bilden: Typ 3, kapillärsugning från sprickfri överyta.



Figur 8: Exempel på spricka efter ett års nedsänkning i havsvatten.

Samma prov som i figur 5. Vänstra bilden, sprickvidd 0,4 mm. Högra bilden, Sprickvidd 0,2 mm.

● Typ 3: Spricköppning ständigt mot luft. Osprucken överyta ständigt i vatten. Simulerar övervattensdelar av en konstruktion i vatten.

Salthalten hölls konstant genom att baljorna täcktes med täta lock. Vatten byttes ut vid några tillfällen.

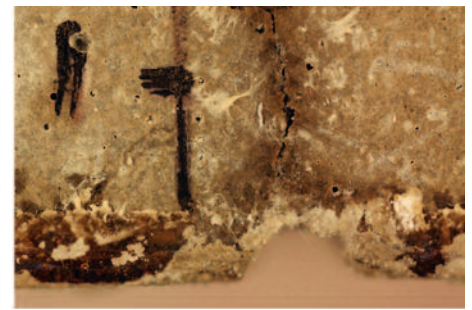
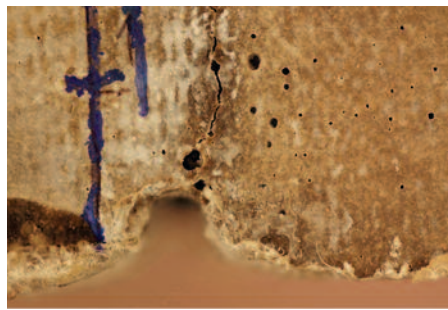
Arton prover exponerades under 12 månader, och sexton prover under 28 månader. Alla mätningar gjordes efter avslutad exponering.

Utseende hos sprickor efter avslutad exponering

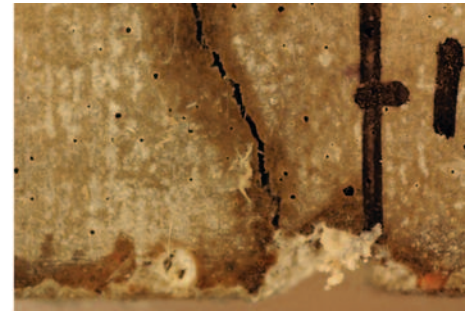
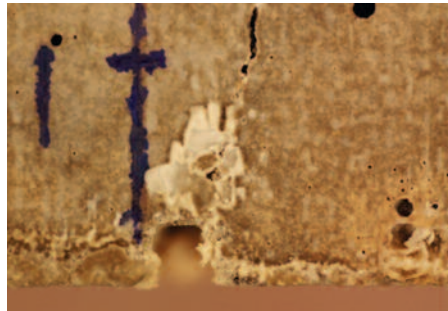
Alla prover fotograferades efter avslutad exponering. Exempel på hur en spricka ser ut längs hela sin längd efter ett års lagring i havsvatten visas i figur 8, som kan direkt jämföras med figur 6, som visar samma spricka före exponering. Det syns klara tecken på någon form av självläkning, framförallt för sprickan med vidden 0,2 mm.

Exempel på utseendet hos nedre centimetern av en spricka med vidden 0,2 mm och 0,4 mm efter 12 respektive 28 månaders permanent nedsänkning i havsvatten visas i figur 9 och 10. Även dessa bilder tyder på att någon form av självläkning skett. Kvaliteten hos denna, till exempel inverkan på klorinträngning kan dock inte bedömas enbart på grundval av fotografier.

Ett stort antal fotografier av prover har publicerats i rapporterna [1] och [2]. Samtliga fotografier tyder på att viss självläkning skett hos prover som varit helt nedsänkta i havsvatten (Typ 1), eller som varit omväxlande nedsänkta i havsvatten och torkade (Typ 2). Viss självläkning kan även observeras för prover som

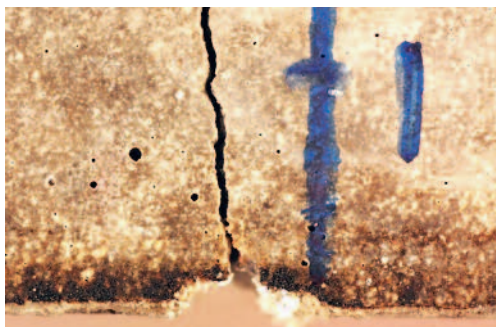


Figur 9: Nedre delen av en provkropp med 0,2 mm spricka nedsänkt i havsvatten under 12 månader (vänster bild) och 28 månader (höger bild).



Figur 10: Nedre delen av en provkropp med 0,4 mm spricka nedsänkt i havsvatten under 12 månader (vänster bild) och 28 månader (höger bild).

varit nedsänkta i bräckt vatten. Så gott som ingen självläkning kunde observeras okulärt i prover som kapillärsugit från ospruckna sidan (Typ 3) eller som varit nedsänkta i kranvatten. Resultaten i figur 1 visar dock att avsevärd självläkning kan ske i rent vatten. Exempel på prover som exponerats för kranvatten visas i figur 11.



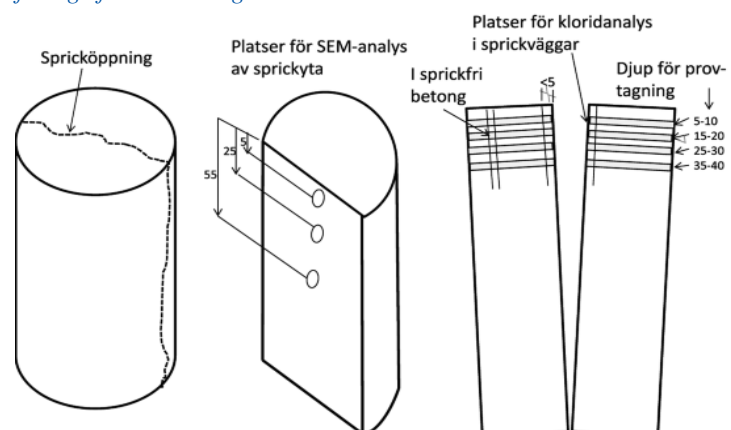
Figur 11: Nedre delen av en provkropp med 0,4 mm spricka nedsänkt i kranvatten under tolv månader.

Analys av utfällningar i sprickor

Ett urval av borrkärnor uttagna parallellt med sprickan från provkroppar efter exponering sändes till CBI för kemisk/mineralogisk analys av utfällningar i sprickor. Använd teknik är SEM (Scanning



Figur 12: Ovan till höger; borrkärna. Nedan; lägen för provtagning och fotografering efter halvering av kärnan.



Electron Microscopy) kombinerad med BSE (Back Scattered Electron Detector) och EDS (Energy Dispersive X-ray Spectroscopy).

Exempel på en borrkärna och lägen för provtagning visas i figur 12.

Samtliga sprickytor mikrofotograferades i SEM. Ett exempel visas i figur 13.

Utfällningarna i sprickor på prover nedsänkta i havsvatten, bräckt vatten 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).

Även för prover som lagrats i rent vatten noterades utfällning av främst kalciumhydroxid.

Analys av kloridinträngning

Vid CBI togs prover ut från sprickväggen på fyra olika djup från spricköppningen.



Figur 13: Utfällningar på sprickyta. Provet har varit helt nedsänkt i havsvatten under 28 månader. Sprickvidd 0,4 mm.

FOTO: KALINOWSKI & TRÄGÅRDH, CBI

Provlägena visas i figur 12. Provdjupet vinkelrätt mot sprickväggen var cirka 5 mm. Proverna analyserades vid CBI med avseende på kloridhalt och cementhalt. För två betongprover som exponerats

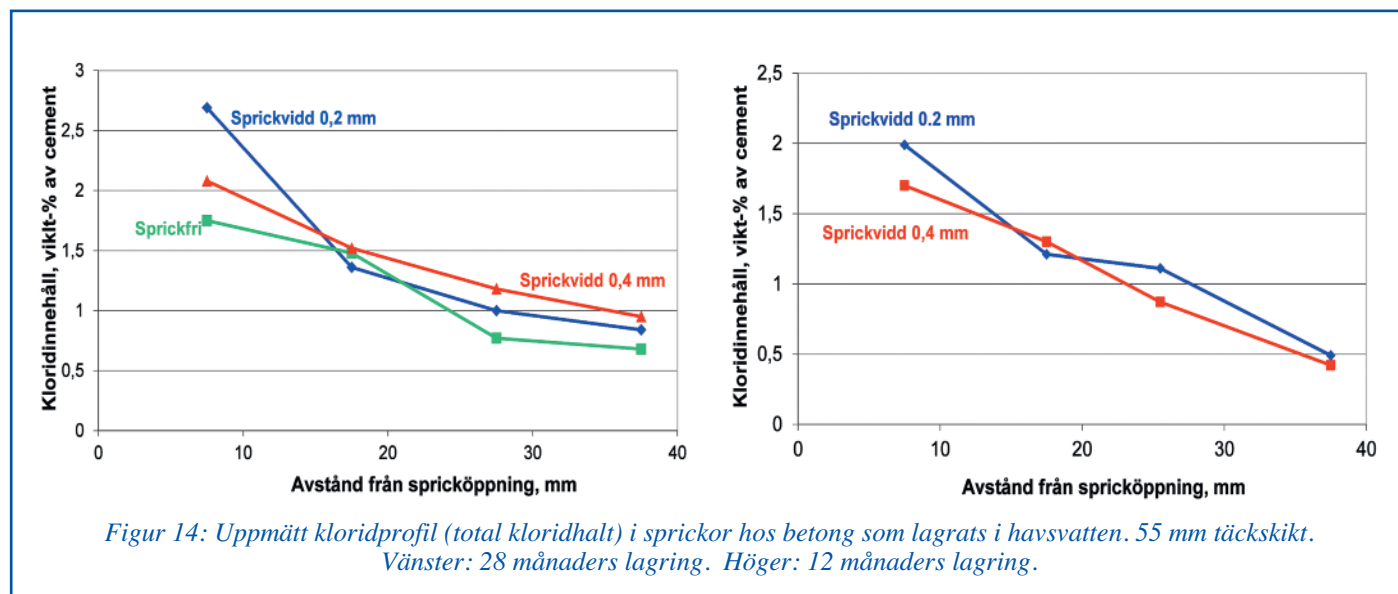
under 28 månader gjordes även kloridanalys i sprickfri del av betongen. Jämförelse kunde därför göras mellan kloridinträngning i sprickor och i sprickfri betong. Ingen kloridinträngning kunde uppmätas i sprickor hos prover som hade förseglad spricköppning. Detta visar att metoden att försegla sprickorna har fungerat.

Exempel på uppmätta kloridprofiler visas i figur 14 för betong med 55 mm täcksikt lagrad under 12 respektive 28 månader i havsvatten. Prover med 75 mm täcksikt ger liknande resultat. Alla kloridhalter uttrycks i viktprocent av cementvikten i provet.

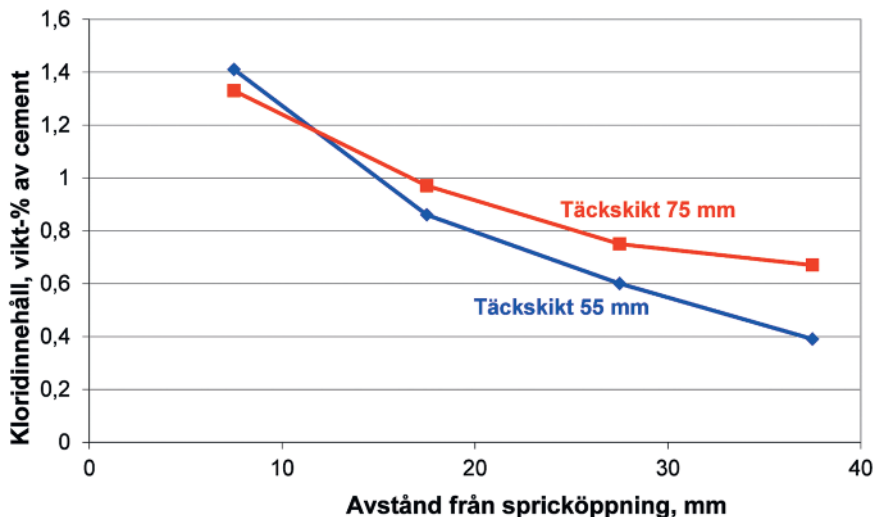
I figur 15 visas kloridprofiler hos prover som varit lagrade bräckt vatten under 28 månader. Kloridnivåerna är lägre än vid lagring i det saltare havsvattnet.

Prover med sprickor som hade möjlighet att relaxera nådde ungefär samma kloridnivåer som prover med låsta sprickor vilket tyder på att relaxation inte ökat självläkningen.

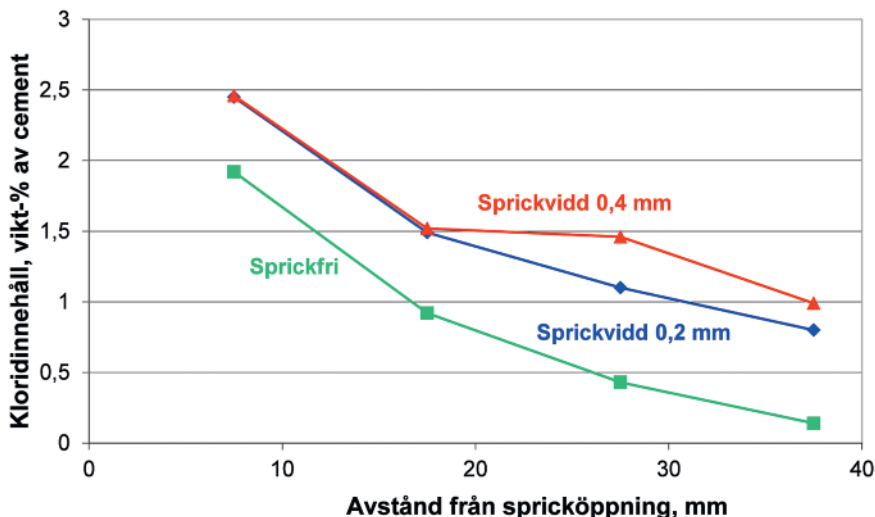
Prover som exponerats cykliskt för nedsänkning i havsvatten och torkning



Figur 14: Uppmätt kloridprofil (total kloridhalt) i sprickor hos betong som lagrats i havsvatten. 55 mm täcksikt. Vänster: 28 månaders lagring. Höger: 12 månaders lagring.



Figur 15: Uppmätt total kloridprofil i sprickor hos betong som lagrats i bräckt vatten under 28 månader. Sprickvidd 0,4 mm.



Figur 16: Uppmätt total kloridprofil för betong som utsatts för cyklisk exponering för vatten och torkning. Sprickvidd 0, 0,2 och 0,4 mm, 75 mm täckskikt.

uppnådde ungefär samma kloridhalt i sprickor som permanent exponerade prover. Däremot var kloridhalten i sprickfri betong lägre hos dessa prover, vilket är naturligt eftersom den effektiva

tiden för kloridexponering är lägre. Resultat för 28 månaders exponering visas i figur 16.

Alla mätningar visar att kloridhalten minskar med ökat djup från spricköpp-

ningen. Detta visar att sprickan utgör ett hinder mot kloridinträngning. Figureerna visar också att sprickvidden inte spelar så stor roll som man kunde förvänta. I figur 14 har även en uppmätt kloridprofil för sprickfri betong lagts in. Den ligger något lägre än kloridprofiler i sprickor, men skillnaden är anmärkningsvärt liten.

Kloridprofilerna för prover som varit konstant nedsänkta i vatten kan användas för att utvärdera en effektiv kloridtransportkoefficient för sprickan. Detta görs genom att uppmätta kloridhalter och exponeringstiden förs in i transportekvationen för kloridtransport:

$$\frac{c_x}{c_s} = \operatorname{erfc} \left[\frac{x}{(4 \cdot \delta \cdot t)^{1/2}} \right] \quad (1)$$

Där c_x är uppmätt kloridhalt på avstånd x (m) från spricköppningen, c_s är antagen kloridhalt vid spricköppningen, t är exponeringstiden (sek) och δ är den sökta transportkoefficienten (m^2/s). erfc är den så kallade komplementära felfunktionen. Denna återfinns i tabeller över matematiska funktioner.

Transportkoefficienten blir något beroende av vilket värde som antas för ytkoncentrationen, och av vilken uppmätt kloridhalt som används, det vill säga vilket avstånd från spricköppningen som används vid utvärderingen. Resultatet av utvärderingen för prover som exponerats under 28 månader visas i tabell 1.

Transportkoefficienterna för sprickor är anmärkningsvärt låga, och inte mycket högre än vad som tidigare uppmäts för två års havsexponerad betong med Anläggningscement, nämligen $5 \cdot 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$ respektive $2,8 \cdot 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$ för vattencementtal (vct) 0,50 respektive 0,40; Sandberg [7]. Skillnaden är dessutom relativt liten mellan kloridtransport i sprickor och i sprickfri del av betongen. De självläkta sprickorna tycks alltså utgöra ett avsevärt hinder för kloridtransport. Dessutom är skillnaden mellan 0,2 och 0,4 mm breda sprickor rätt liten. Ökat täckskikt tycks ge något högre transportkoefficient. Orsaken är oklar.

Transportkoefficienten är betydligt lägre efter 28 månaders vattenlagring än efter ett års lagring vilket visas av tabell 2. Detta antyder att självläkningen har ökat med exponeringstiden.

Sammanfattning

Undersökningen visar att avsevärd läkning tycks ske av 0,2 och 0,4 mm breda sprickor i betong som lagras i saltvatten eller bräckt vatten under längre tid. Läknings tycks medföra att kloridinträngning i sprickor försvåras. Konsekvensen är att man troligen skulle kunna tillåta något bredare sprickor än vad som godtas i dagens regler. Detta skulle medföra mindre behov av sprickbegränsande armering och därmed lägre produktionskostnad. Den något högre kloridtransportkoefficienten i sprickor jämfört med i

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	Kloridtransportkoefficient 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	$5,0 \cdot 10^{-12}$

Tabell 2: Inverkan av vattenlagringstid på kloridtransportkoefficienten. 55 mm täcksikt.

Vattentyp	Sprickvidd mm	Kloridtransportkoefficient 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	$9,8 \cdot 10^{-12}$	$3,6 \cdot 10^{-12}$

sprickfri betong kan kompenseras med ett proportionellt något större täcksikt.

För att skapa ytterligare säkerhet bör upprepade försök genomföras där exponering av prover sker i naturlig havsmiljö. Även andra bindemedel bör provas, framförallt sådana som innehåller mineraliska tillsatsmaterial (flygaska, masugnsslagg) eftersom sådana med all säkerhet kommer att bli vanligare i framtiden. Sådana bindemedel kan förväntas minska möjligheten till självläkning. ■

Referenser

[1] Fagerlund, G. & Hassanzadeh, M.: *Self-healing of cracks in concrete long-term exposed to different types of water*. Avd. Byggnadsmaterial, LTH. Report TVBM-3156, 2010.

[2] Fagerlund, G. & Hassanzadeh, M.: *Self-healing of cracks in concrete long-term exposed to different types of water. Effect on chloride penetration*. Avd. Byggnadsmaterial, LTH. Report TVBM-3161, 2011.

[3] Edvarsen, C.: *Water permeability and self-healing of through cracks in concrete*. Deutsche Ausschuss für Stalbeton. Bull. 455, 1996.

[4] Dhir, R.K., Sangha, C.M. & Munday, J.G.C.: *Strength and deformation properties of autogeneously healed mortar*. ACI Journal, Proc. Vol. 70, 1973.

[5] Lauer, K.R. & Slate, F.O.: *Autogenous healing of cement paste*. ACI Journal, Proc. Vol. 52, 1956.

[6] Nordström, E.: *Durability of sprayed concrete*. LTU, Div. of Structural Engineering. Doktorsavhandling, 2005.

Tack

De viktiga mätningarna av kloridhalt mineralanalysen genomfördes vid CBI under ledning av Mariusz Kalinowski i samarbete med Leif Fjällberg och Jan Trägårdh. Vi tackar dessa personer för deras utmärkta insats.

Vi vill även tacka SBUF, Skanska och Vattenfall för finansieringen av projektet.

[7] Sandberg, P.: *Chloride initiated reinforcement corrosion in marine concrete*. Avd. byggnadsmaterial, LTH. Rapport TVBM-1015, 1998.