Ett projekt finansierat av Energiforsks Betongprogram Vattenkraft

Sprickbegränsande armering

Utveckling av krav och deras inverkan på vattenkraftskonstruktioners beständighet

Manouchehr Hassanzadeh

Bakgrund

- Slakarmerad betongkonstruktion spricker vid belastning.
- I aggressiva exponeringsmiljöer ställs krav på största tillåtna sprickbredd för att skydda armeringen mot korrosion under konstruktionens förskrivna tekniska livslängd samt uppfylla täthetskravet hos konstruktioner utsatta för ensidig vattentryck.
- Krav enligt RIDAS (Kap. 9 i RIDAS):

  ”För konstruktioner belastade av ensidigt vattentryck bör inte sprickbredden w_k överstiga 0,20 mm. Sprickbredden 0,20 mm innebär i många fall orimligt hög armeringsmängd, varför det i vissa fall kan tillåtas att w_k=0,30 mm. För ytor mot luft bör w_k inte överstiga 0,30 mm.”
- Vattenkraftens konstruktioner är inte exponerade för klorider. Vidare, är alla sprickor inte genomgående. Man kan kanske överväga att tillåta större sprickbredder än de som olika normer och RIDAS föreskriver.
- Detta projekt genomfördes för att kartlägga vilken/vilka typer av sprickor är dominerande och hur de har påverkat konstruktionens beständighet.
- Projekt syftar bl.a. till att undersöka vilken reduktion av mängden minimiarmering som kan åstadkommas genom att kraven i RIDAS justeras efter konstruktionernas faktiska exponeringsmiljöer

Innehåll

- Projektets genomförande och begränsningar
- Inverkan av sprickbredd på betongkonstruktioners beständighet
  - Krav relaterade till konstruktionens beständighet
  - Exponeringsmiljöer
  - Korrosion orsakad av betongens karbonatisering
  - Karbonatisering av betong
  - Urlakning
  - Förhållandena i en spricka
  - Minimiarmering
- Anläggningsbesök
- Slutsatser

Projektets genomförande och begränsningar

Projektet har genomförts av
Manouchehr Hassanzadeh och Richard Malm

- Litteraturstudie för sammanställning av befintlig kunskap om inverkan av sprickbredd på betongkonstruktioners beständighet i vattenkraftsmiljöer .
- Fallstudie genom att besöka 10 vattenkraftsanläggningar byggda under följande tidsintervaller:
  - 1940 – 1960
  - 1960 – 1980
  - 1980 –
- Identifiera de dominerade spricktyperna och sprickmekanismerna och bestämma deras inverkan på konstruktionens beständighet.
- Översiktligt studie av inverkan av krav på sprickbredd på armeringsmängd i en konstruktion.

- Endast sprickor synliga för blotta ögat inspekterats.
- Sprickor som initieras vid betongens färska tillstånd har inte beaktats.
- Endast har nedbrytningsmekanismer som bryter ner en armerad betongkonstruktion genom att verka i dess sprickor beaktats.
- Endast har eurokodens modell för minimiarmering och sprickbreddsberäkning beaktats och tillämpats vid ett enkelt belastningsfall.

Krav på sprickbredd relaterat till konstruktionens livslängd

Acceptabel sprickbredd w_k (mm) enligt Tabell D-2 i ESK 11

Exponerings-klass	Korrosionskänslig[1]			Föga korrosionskänslig[1]		
	L 100[2]	L 50	L 20	L 100	L 50	L 20
X0	-	-	-	-	-	-
XC1	0,40	0,45	-	0,45	-	-
XC2	0,30	0,40	0,45	0,40	0,45	-
XC3, XC4	0,20	0,30	0,40	0,30	0,40	-
XS1, XS2 XD1, XD2	0,15	0,20	0,30	0,20	0,30	0,40
XS3, XD3	0,10	0,15	0,20	0,15	0,20	0,30

[1] Korrosionskänslig armering är all armering med diameter ≤ 4 mm, spänn-armering eller kallbearbetad armering som permanent har en spänning över 400 MPa. Övrig armering är föga korrosionskänslig.

[2] Vid bestämning av acceptabel sprickbredd bör hänsyn tas till avsedd livslängd. Livslängdsklasserna L100, L50 och L20 avser byggnadsverk med en förväntad livslängd på 100, 50 respektive 20 år.

(BFS 2015:6).

Största tillåtna sprickvidd i betongkonstruktioner i statliga betongbestämmelser, Fagerlund 2010.

period	*största sprickvidd, mm*						
	livslängd	*måttligt arm-aggr.*		*mycket arm-aggr.*		*extremt arm-aggr.*	
		spänn-arm.	*vanlig arm*	*spänn-arm*	*vanlig arm.*	*spänn-arm*	*vanlig arm*
1926-1979	-	-	-	-	-	-	-
1979-1994	-	*0,2*	*0,4*	*0,1*	*0,2*	*0,1*	*0,2*
1994-2004	*50*	*0,3*	*0,4*	*0,2*	*0,3*	*0,1*	*0,2*
	100	*0,2*	*0,3*	*0,1*	*0,2*	*0,05*	*0,1*
2004-	*20*	*0,45*	-	*0,3*	*0,4*	*0,2*	*0,3*
	50	*0,4*	*0,45*	*0,2*	*0,3*	*0,15*	*0,2*
	100	*0,3*	*0,4*	*0,1*	*0,2*	*0,1*	*0,15*

Kraven är oberoende av betongens sammansättning och det täckande betongskiktets tjocklek.

SWECO

Krav på minsta täckskikt i korrosionsmiljö

Minsta täckande betongskikt med hänsyn till beständighet för armering, Tabell D-1 i ESK 11

Exponeringsklass	Max vct_{ekv}	L 100	L 50	L 20
X0	–	–	–	–
XC1	0,90	15	10	10
	0,60	10	10	10
XC2	0,60	25	20	15
	0,55	20	15	10
	0,50	~~15~~	10	10
XC3, XC4	0,55	25	20	15
	0,50	20	15	10
XS1, XD1	0,45	30	25	15
	0,40	25	20	15
XD2	0,45	40	30	25
	0,40	35	30	20
	0,35	30	25	20
XD3	0,40	45	35	25
	0,35	40	30	25
XS2[1]	0,45	50	40	30
	0,40	45	35	25
	0,35	40	30	25
XS3[1]	0,40	45	35	25
	0,35	40	30	25

[1] Angivna täckande betongskikt gäller för en kloridkoncentration i havet av högst 0,4 % (ostkusten). För högre kloridkoncentrationer kan särskilda värden på minsta täckande betongskikt anges i varje enskilt fall.

(BFS 2013:10).

Period	Minsta täckskikt	Antagen normal tolerans	Minsta basmått	Max vct 2)
1926-1934	*20 för platta, valv* *30 för balk* *40 för pelare* 4)	*inte angiven*	*antagligen samma som minsta täckskikt*	*ej reglerat men ca 0,55-0,70*
1934-1949	*30 för platta, valv* *40 för pelare* 4)			*ej reglerat men ca 0,50-0,65*
1949-1968	*30 för massiv platta, ram, vägg* *40 för pelare, valv* 4)			*ej reglerat men ca 0,55-0,65*
1968-1979	*30 för platta, vägg,* *45 för annat* 4)			*ej reglerat men ca 0,50-0,60*
1979-1994	*20 i karb.-miljö* *20 i måttligt aggr. kloridmiljö* *30 i mycket aggr. kloridmiljö* *+10 mm vid spännarmering*	*5*	*25 i karb.-miljö* *25 i måttligt aggr. kloridmiljö* *35 i mycket aggr. kloridmiljö* *+10 vid spännarmering*	*0,60* 3) *0,70 (0,60)* 3) *0,50 (0,45)* 3)
1994-2004	*50 års livslängd* *15 i karb.-miljö (A2)* *20 i mycket aggr. klorid (A3)* *35 i extremt aggr. klorid (A4)* *+10 vid spännarmering* *100 års livslängd* *25 i karb.- miljö (A2)* *35 i mycket. aggr. klorid (A3)* *55 i extremt aggr. klorid (A4)* *+10 vid spännarmering*	*10*	*50 års livslängd* *25 i karb.-miljö (A2)* *30 i mycket aggr. klorid (A3)* *45 extremt aggr. klorid (A4)* *+10 vid spännarmering* *100 års livslängd* *35 i karb.- miljö (A2)* *45 i mycket aggr. klorid (A3)* *65 extremt aggr. klorid (A4)* *+10 vid spännarmering*	*0,55* *0,45* *0,40* *0,55* *0,45* *0,40*
2004-	*50 års livslängd* *20 i karb.-miljö (XC3,XC4)* *30 i mycket aggr. tösalt (XD2)* *40 i mycket aggr. hav (XS2)* *35 i extremt aggr. tösalt (XD3)* *35 i extremt aggr hav (XS3)* *+10 vid spännarmering* *100 års livslängd* *25 i karb.-miljö (XC3,XC4)* *40 i mycket aggr. tösalt (XD2)* *50 i mycket aggr. hav (XS2)* *45 i extremt aggr. tösalt (XD3)* *45 i extremt aggr hav (XS3)* 5) *+10 vid spännarmering*	*10*	*50 års livslängd* *30 i karb.-miljö (XC3,XC4)* *40 i mycket aggr. tösalt (XD2)* *50 i mycket aggr. hav (XS2)* *45 i extremt aggr. tösalt (XD3)* *45 i extremt aggr hav (XS3)* *+10 vid spännarmering* *100 års livslängd* *35 i karb.-miljö (XC3,XC4)* *50 i mycket aggr. tösalt (XD2)* *60 i mycket aggr. hav (XS2)* *55 i extremt aggr. tösalt (XD3)* *55 i extremt aggr hav (XS3)* 5) *+10 vid spännarmering*	*0,55* *0,45* *0,45* *0,45* *0,40* *0,55* *0,45* *0,45* *0,40* *0,40*

1) Värdena gäller platsgjutna konstruktioner. För förtillverkade konstruktioner kan något mindre täckskikt användas från och med 1979.
2) För perioden 1926-1979 regleras inte max vct i normerna. Värdena i tabellen baseras på lägsta tillåtna cementhalt i trögflytande betong och rimlig vattenhalt för denna konsistens (ca 180 à 190 l/m^3).
3) Värden inom parentes gäller perioden 1988-1994.
4) Alla värden gäller för konstruktioner i eller närmast över vatten, vilket är den mest aggressiva miljön enligt normen.
5) Vid kloridkoncentration >0,4% skall särskild utredning göras

Fagerlund, 2010

SWECO

Krav på högsta tillåtna *vct* och lägsta lufthalt

Högsta tillåtna *vct* i mest aggressiva miljötyper, Fagerlund 2010.

Period	vct_{max}				
	Frostmiljö		Korrosionsmiljö		
	måttlig	mycket	måttlig	mycket	extrem
1926-1979	*inget krav*		*inget krav*		
1979-1988	*0,60*	*0,50*	*0,70*	*0,50*	
1988-1994	*0,60*	*0,45*	*0,60*	*0,45*	
1994-2004	*0,55*	*0,45*	*0,55*	*0,45*	*0,40*
2004-	*0,55*	*0,45*	*0,55*	*0,45*	*0,40*

Krav på luftinblandning och frysprovning från 1926 och framåt, Fagerlund 2010.

Period	Lägsta lufthalt vid 32 mm sten %		Krav på frysprovning	
	måttligt aggr.	mycket aggr	måttligt aggr.	mycket aggr.
1926-1965	*inget krav*		*inget krav*	
1965-1979	*min 3,5*	*min 4,5*	*inget krav*	
1979-1988	*min 4,5*[1)]	*min 4,5*[1)]	*inget krav*	
1988-1994	*medel 5,0* *min 3,5*	*medel 6,0* *min 5,0*	*inget krav*	
1994-2004	*riktvärde 5,0* *min 3,5* [2)]	*riktvärde 6,0* *min 5,0* [2)]	*inget krav*	*krav*
2004-	*krav på lufttillsats* [2)]		*krav*	*krav*

SWECO

Sammanfattning av olika krav

- Före 1968 fanns inga formella krav på den största tillåtna sprickbredden.
  - Saknar de konstruktioner som byggdes före 1968 sprickbreddsbegränsande armering?
  - De krav som infördes 1968 begränsade den största tillåtna sprickbredden till 0,2 mm hos konstruktioner utsatta för ensidigt vattentryck, och 0,3 mm för övriga konstruktioner.
- Strängare krav gällande den största tillåtna sprickbredd som även tog hänsyn till konstruktionens beständighet, infördes 1979.
- Krav på den största tillåtna sprickbredd som även tog hänsyn till konstruktionens livslängd, infördes 1994.
- Betongens högsta *vct* > 0,50 före 1988.
- Betongens högsta vct < 0,50 (eller lägre) efter 1994.

Exponeringsmiljö

- RIDAS2 anger:

  ”För dämmande utomhuskonstruktioner inom vattenbyggnadsområdet används vanligen exponeringsklass XC4/XF3 enl. SS-EN 206.”

- RIDAS anvisning är ett val på den säkra sidan i större delar av en dämmande konstruktions exteriör i Sverige.

Exponeringsklasser, delar av Tabell 1 i SS-EN 206

2 Korrosion orsakad av karbonatisering		
När betong med armering eller annan ingjuten metall är utsatt för luft och fuktighet, ska exponeringen indelas enligt följande:		
XC1	Torr eller ständigt våt	Betong inomhus med låg luftfuktighet Betong ständigt stående under vatten
XC2	Våt, sällan torr	Betongytor utsatta för långvarig kontakt med vatten Många grundläggningar
XC3	Måttlig fuktighet	Betong inomhus med måttlig eller hög luftfuktighet Utvändig betong skyddad mot regn
XC4	Omväxlande våt och torr	Betongytor utsatta för kontakt med vatten, vilka inte hänförs till exponeringsklass XC2

5 Angrepp av frysning/upptining med eller utan avisningsmedel		
När våt betong är utsatt för betydande angrepp av upprepad frysning/upptining ska exponeringen indelas enligt följande:		
XF1	Måttlig vattenmättnad, utan avisningsmedel	Vertikala betongytor utsatta för regn och frysning
XF2	Måttlig vattenmättnad, med avisningsmedel	Vertikala betongytor på vägkonstruktioner utsatta för frysning och luftburna avisningsmedel
XF3	Hög vattenmättnad, utan avisningsmedel	Horisontella betongytor utsatta för regn och frysning
XF4	Hög vattenmättnad, med avisningsmedel eller havsvatten	Väg- och brobanor utsatta för avisningsmedel Betongytor utsatta för direkt stänk innehållande avisningsmedel samt frysning Skvalpzon hos marina konstruktioner utsatta för frysning

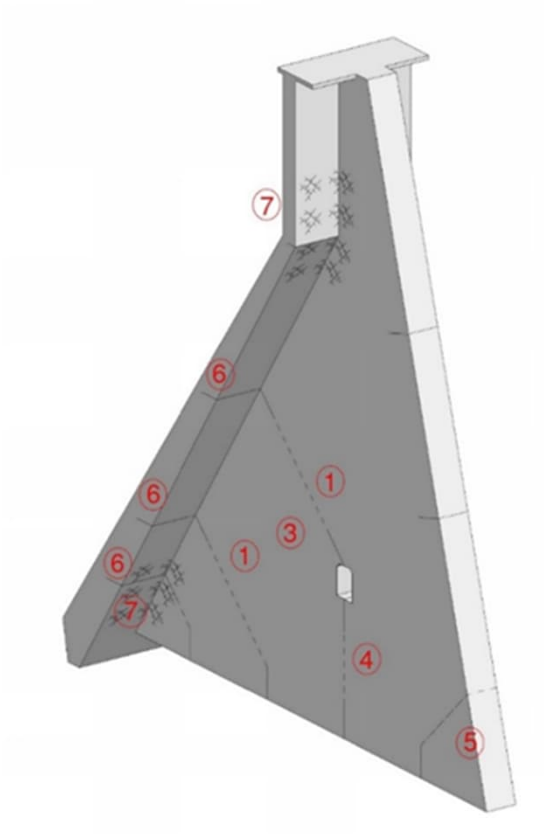
SWECO

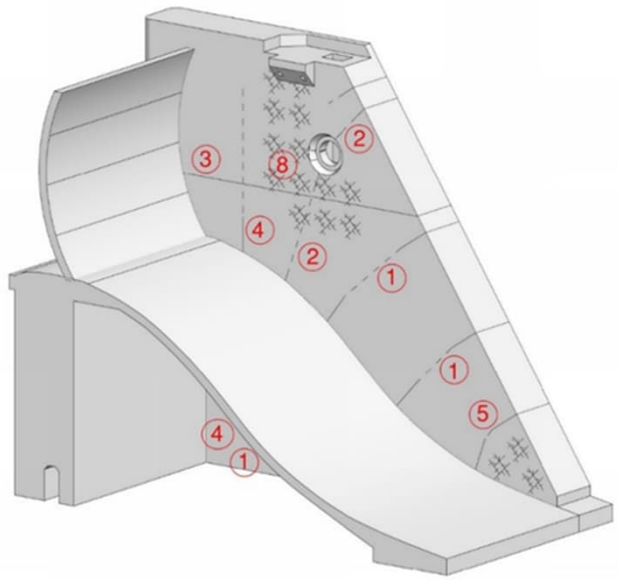
Exponeringsmiljö

Vid undersökning av risken för nedbrytning av konstruktionsytor, t.ex. vid en tillståndsbedömning, kan följande tilldelning av exponeringsklasser tillämpas:

- XC4 tilldelas samtliga utvändiga ytor av en dammanläggning.
- XC3 tilldelas samtliga ytor som är skyddade mot regn,
    - de skyddade delarna av en frontplattans nedströmsyta samt de ytor som finns i inspektionsgångarna och under skiborden.
- XC2 tilldelas betongytor som är utsatta för långvarig kontakt med vatten,
    - ytor på uppströmssidan som är under sänkningsgräns. Den nedre delen av de ytor som är mellan dämnings- och sänkningsgräns kan också tilldelas exponeringsklass XC2, medan den övre delen bör nog klassa som XC4.
- XF3 tilldelas horisontella ytor och samtliga ytor som är i kontakt med älvvatten.
- XF1 tilldelas övriga vertikala ytor.
- Betongytor strax ovanför och under vinterhalvårets vattenlinje är utsatta för låga temperaturer och icke fruset vatten. Detta tillstånd leder till ytlig urlakning därav hög vattenmättnadsgrad som kan medföra frostangrepp på betongens yta, Rosenqvist (2016) . Skadeprocessen liknar den skadeprocess som anges för XF4.

Dominerande spricktyper





Energiforsk, Rapport 2016:257

Exempel på exponeringsmiljöer

4. Nedre del av en utskovspelare

Den nedre delen av pelaren tilldelas exponeringsklassen XC4 och minst XF3.

Horisontell sprickbildning med kalkutfällning och sneda sprickor som lutar i nedströmsriktningen kan noteras. Orsaken till sprickbildningarna är förhindrad termisk kontraktion.
Det är berget som förhindrar kontraktionen. En sned spricka utgår också från luckans övre högra hörn.

5. Högst upp på anläggningen

Bilden visar ett område högst upp på en anläggning vid ett spelhus. I vissa anläggningar kan området vara lite varmare än övriga delar. Snön kan smälta vintertid, vilken medför större risk för frostangrepp. Exponeringsklassen är XC4 och XF3.

1. Inspektionsutrymme

Uppströmssidan är till vänster i bilden.

Utrymmet är skyddat mot regn och kalla lufttemperaturer härav ingen XF-klassning. Den övre temperaturgränsen beror på konstruktionens utformning och isolering, men den kan överstiga 20 °C. Luftens RF kan bli hög. RF är i normala fall över 60 %. RF över 90 % kan lätt uppnås under vintern. I vissa anläggningar förekommer kondens på betongytor.

Utrymmet kan i genomsnitt klassas som XC3. De element som är i kontakt med vatten eller utsatta för läckage kan betraktas som XC2. De ytor som utsätts för kondens klassas som XC4.

Exponeringsförhållandena i sprickor varierar med varierande klassning som XC2, XC3 och XC4.

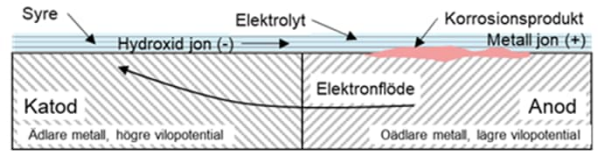
Det bör noteras att vissa liknande utrymmen har tidigare inte varit skyddade mot det yttre klimatet.

Liknande utrymmen i några anläggningar har tillkommit genom att i efterhand bygga en isolerväg. Vissa av utrymmena är försedda med avfuktningsaggregat. Uppvärmning kan också förekomma.

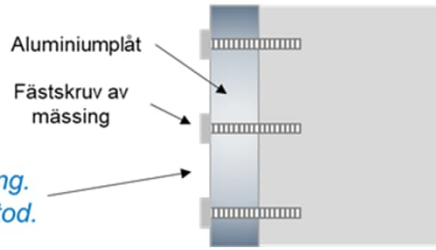
SWECO

Armeringskorrosion

Definitions av galvanisk korrosion – korrosionscell

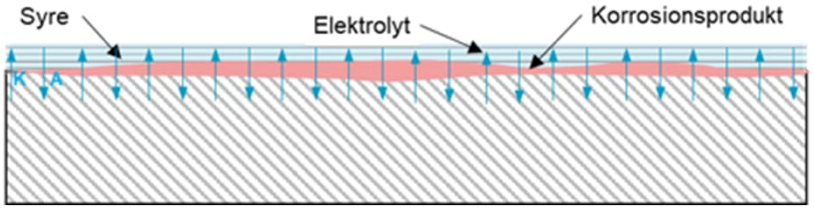


Korrosionscell med särskiljbara anod- och katodytor

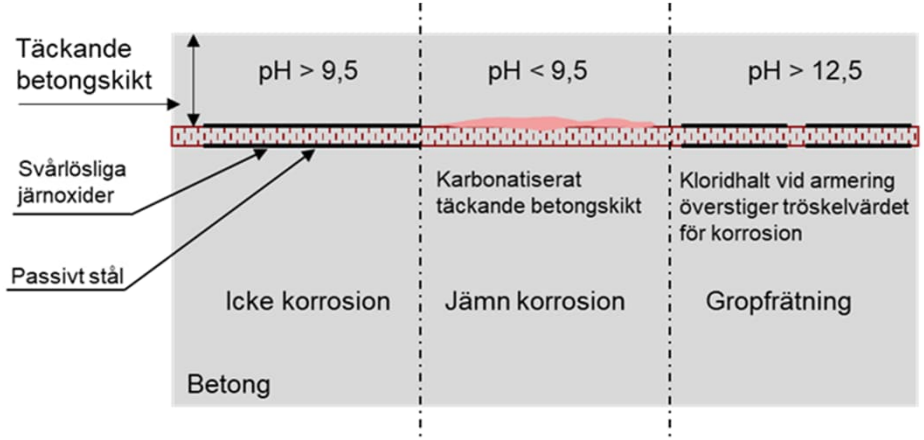


Aluminiumplåt med fästskruv av mässing.
Aluminium utgör anod och mässing katod.

Korrosionscell med inte särskiljbara anod- och katodytor

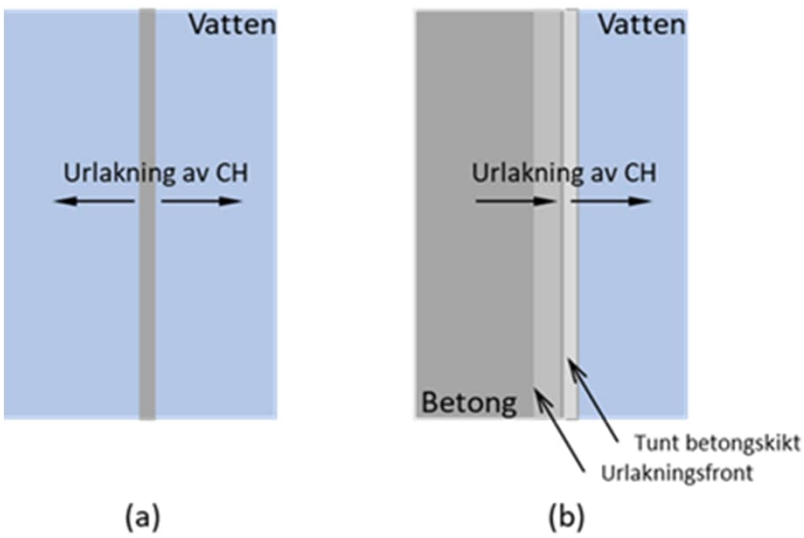


Stålkorrosion i betong

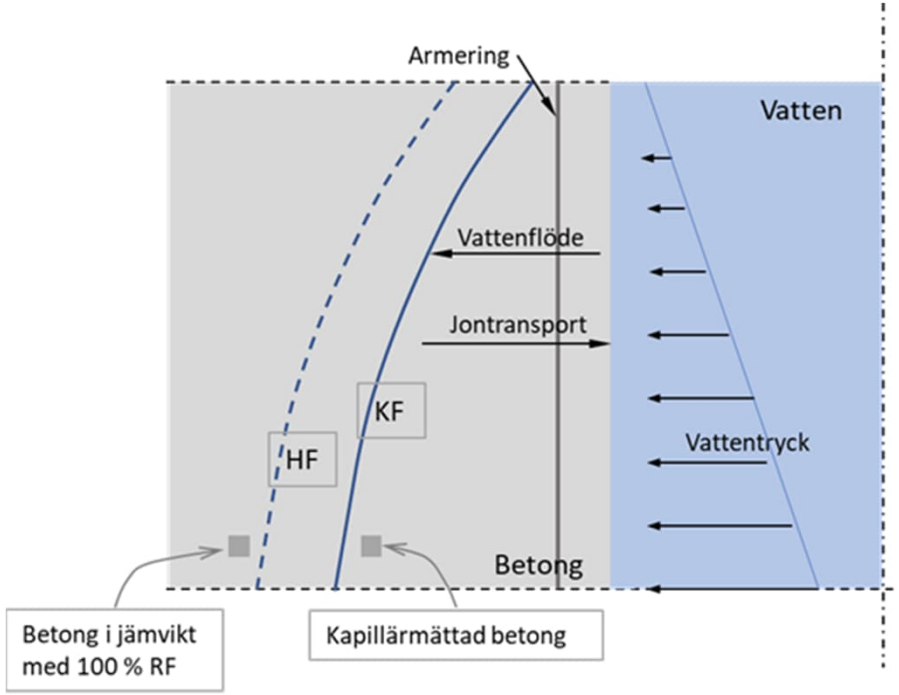


SWECO

Urlakning

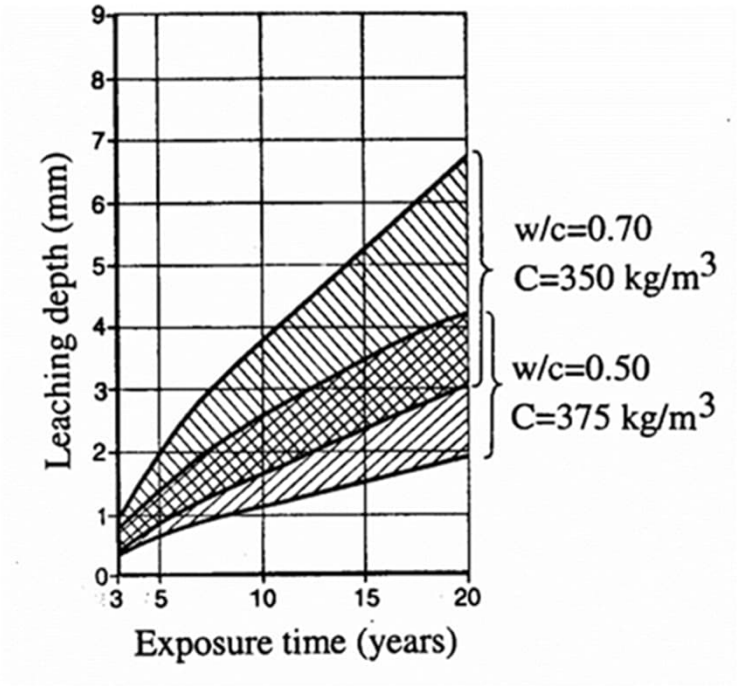


Urlakning av en tunn skiva och ett tunt skit av betong som vetter mot vatten



Schematisk fuktfördelning i en betongkonstruktion som är i kontakt med vatten.
HF = hygroskopisk fuktfront, KF = fronten för betong med kapillär vattenmättnadsgrad.

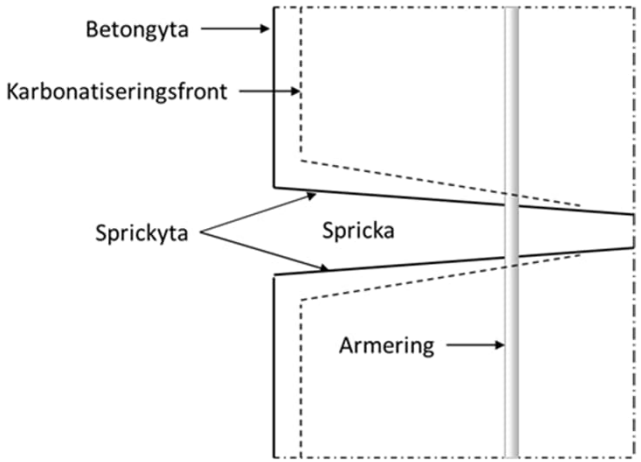
Urlakning



Exempel på urlakning av betong utsatt för vatten som innehåller 100 mg/liter (ppm) aggressiv CO2 och har pH=5,6, F.W. Locher och S. Sprung (1975) från Fagerlund (2000).

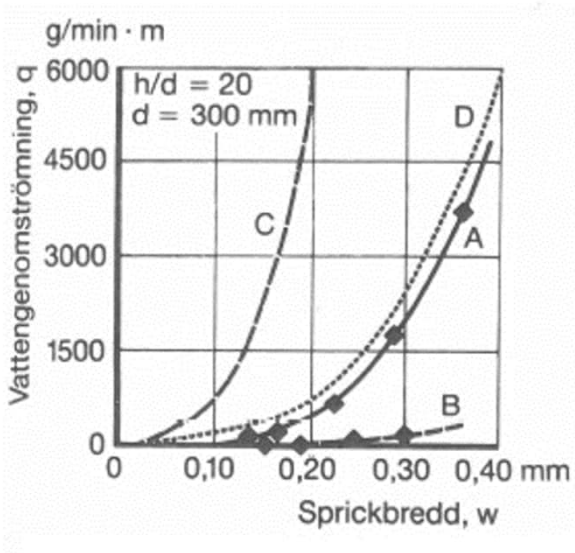
Skadad betong vid vattenlinje, urlakad och frostskadad yta.

Förhållandena i en spricka



En spricka kan betraktas som en förlängning av yta inåt i konstruktionen.

Läckage från en spricka



Beräknad och uppmätt vattengenomströmning, Trost, Cordes och Ripphausen (1989), Betonghandbok Material.
A) Uppmätt efter kort tid, B) Uppmätt efter 7 dygn självtätning, C) Beräknad enligt Ekvation (2–1), D) Beräknad enligt Ekvation (2–1), men med *w*/2.

Korrosion i en spricka

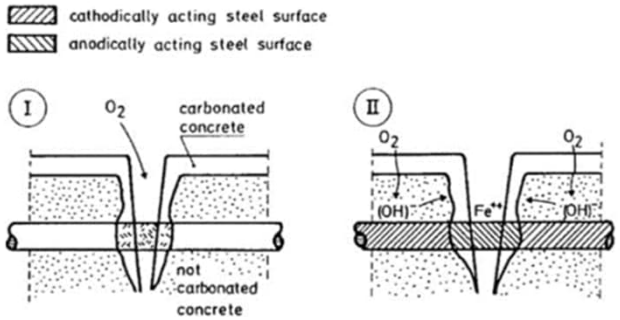
Det finns två mekanismer som styr armeringskorrosionen i en spricka i betong, (Schießl, 1997):

I. Mikrocellkorrosion, d.v.s. att både anod och katod finns i eller i närheten av sprickan.

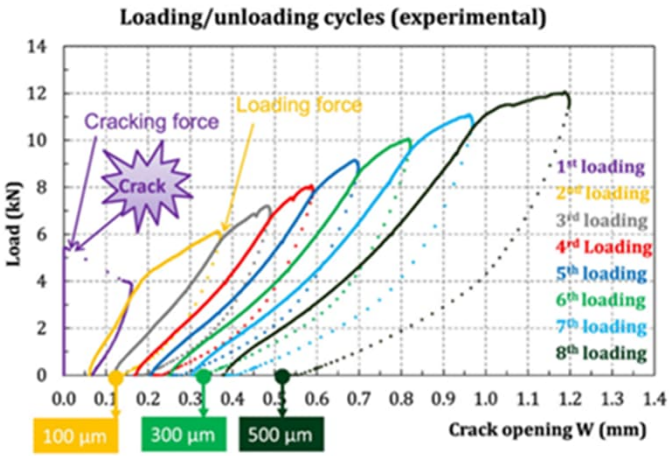
   Processen liknar den galvaniska korrosionsprocess där anod och katod inte är särskiljbara.

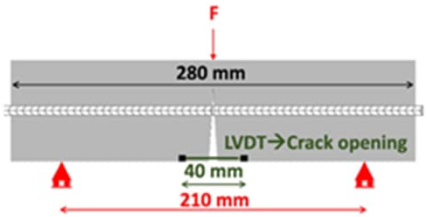
I. Makrocellkorrosion, d.v.s. att anoden finns i eller i närheten av sprickan.

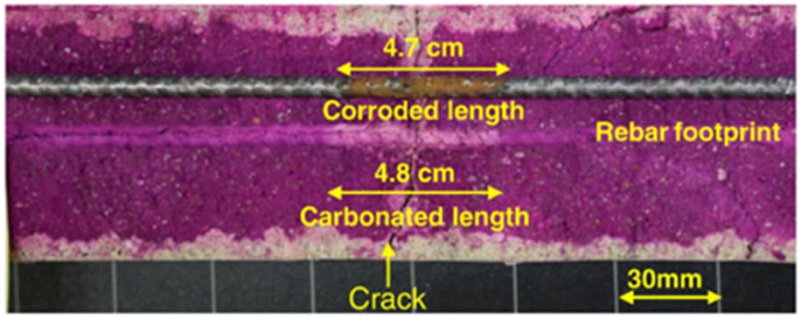
   Processen liknar den galvaniska korrosionsprocess där den ädlare metallen (i detta fall den armeringsdel som är utanför sprickan) utgör katod och den oädlare metallen (den del av armering som hamnar i sprickan) utgör anod. Korrosionsprocessen kan bli relativt snabb.



Korrosion i en spricka orsakad av betongens karbonatisering



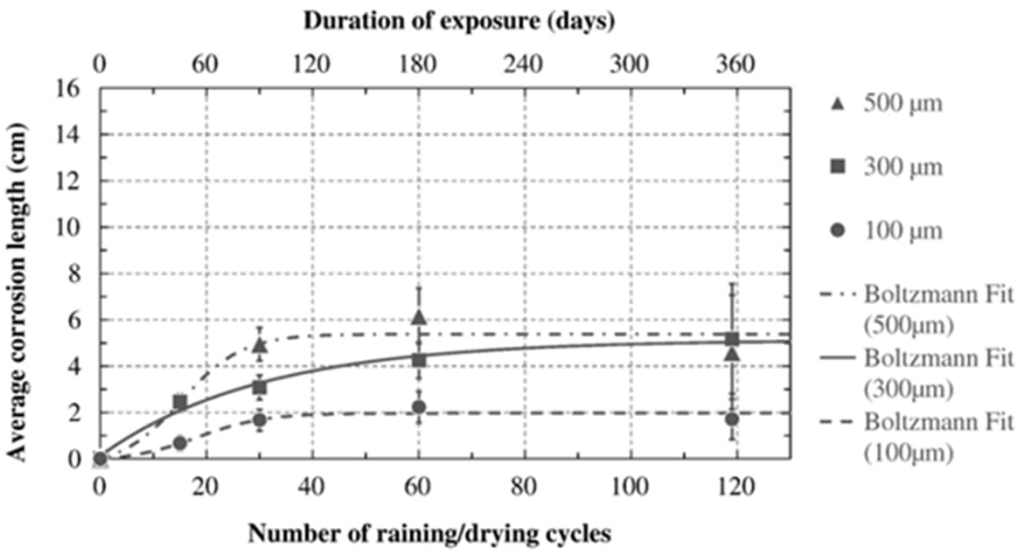




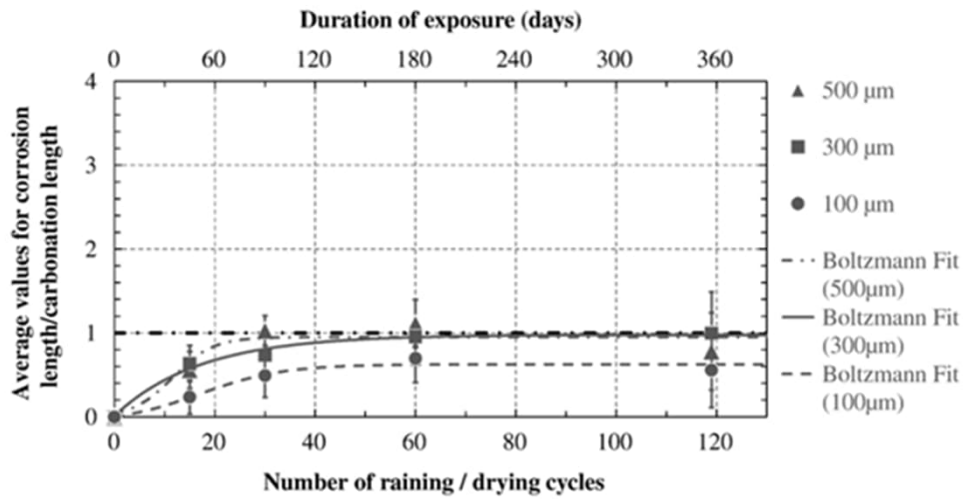
Sprickbredden motsvarar den kvarvarande sprickbredd efter avlastning. Sprickorna skapas genom stegvis på- och avlastning, (Ghantous, m.fl., 2017).

Längden hos den korroderade delen av armeringsstången samt längden hos den karbonatiserade zonen mellan armeringsstången och betongen. Karbonatiseringsfrontens läge i förhållande till betongens yta och sprickans ytor framgår också av figuren, (Ghantous, m.fl., 2017). Violettfärgad betong är okarbonatiserad betong

Korrosion i en spricka orsakad av betongens karbonatisering



Utvecklingen hos korrosionslängden som funktion av regn-/torkningscykler och sprickbredd, visuell inspektion, (Ghantous, m.fl., 2017).



Utveckling av kvoten mellan den korroderade delens längd och längden hos den karbonatiserade delen av området mellan armeringsstång och betong, som funktion av regn-/torkningscykler och sprickbredd, visuell inspektion, (Ghantous, m.fl., 2017).

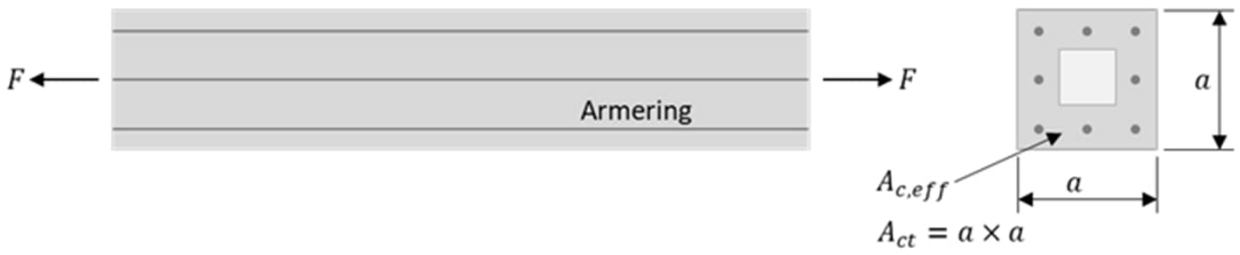
Minimiarmering

Minimiarmering enligt EK 2:

$$A_{s,min}\sigma_s = k_c \mathrm{k} f_{ct,eff} A_{ct}$$

Andel av minimiarmering:

$$\rho_{s,min} = A_{s,min}/A_{ct} = (k_c \mathrm{k}/\sigma_s) \cdot f_{ct,eff}$$

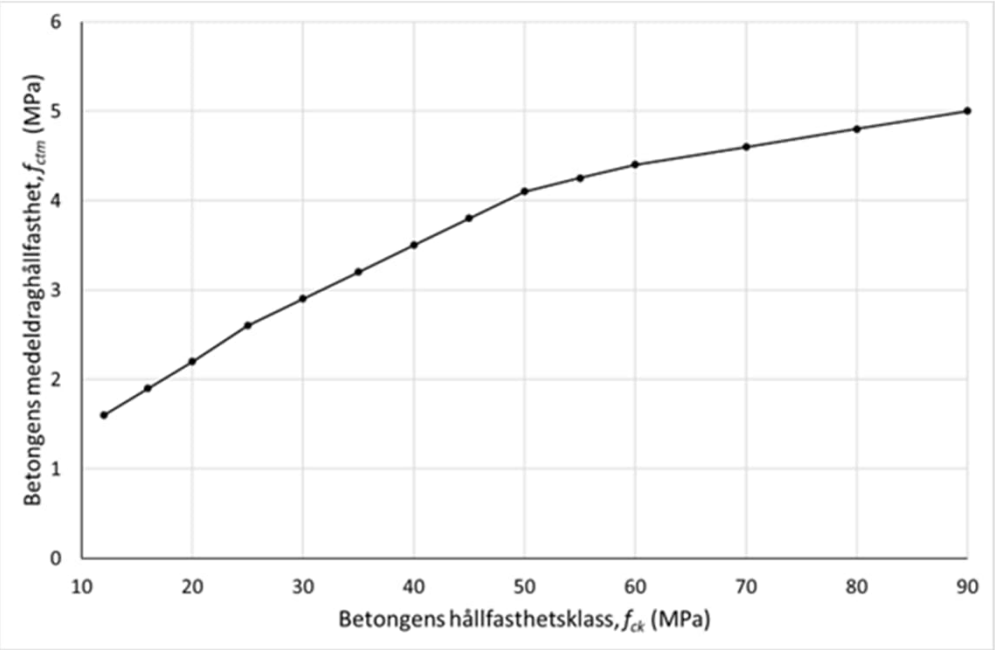


Armerad betongstav utsätt för centrisk dragning.
Lastfallet motsvarar även förhindrad axiell krympning och/eller kontraktion orsakad av minskning av betongstavens temperatur.

Minimiarmering

$$\rho_{s,min} = A_{s,min}/A_{ct} = (k_c \mathrm{k}/\sigma_s) \cdot f_{ct,eff}$$

Andel av minimiarmering är proportionell mot betongens effektiva draghållfasthet, d.v.s. draghållfasthet vid tillfället då brottet inträffar. Andel av minimiarmering som funktion av betongens hållfasthetsklass har samma utseende som figuren intill.



Betongens medeldraghållfasthet som funktion av betongens hållfasthetsklass, EK 2.

Karakteristisk sprickbredd

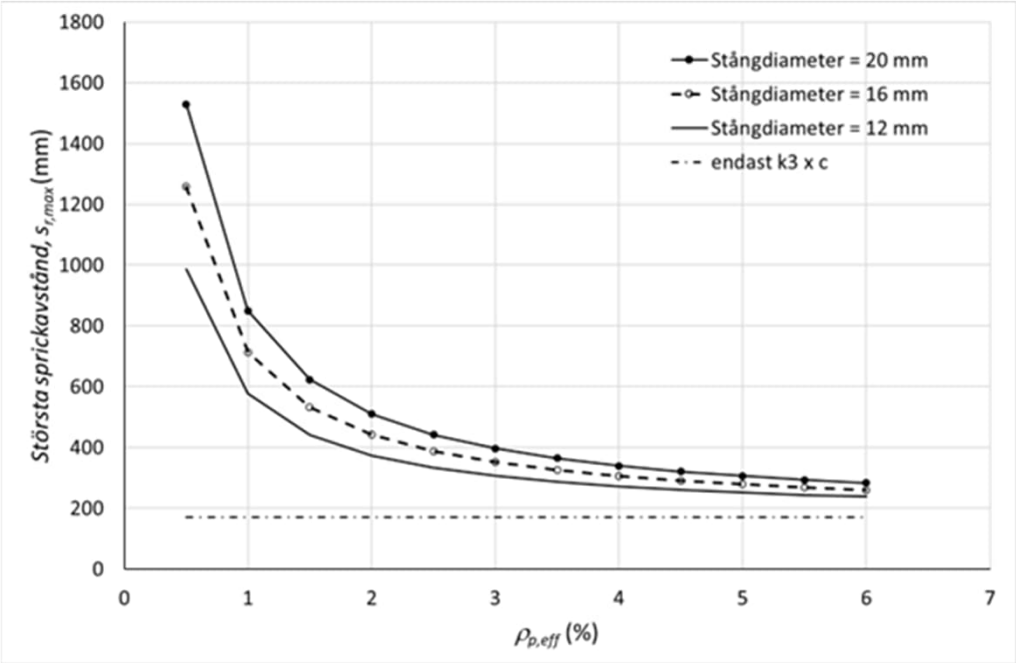
Karakteristisk sprickbredd

$$w_k = s_{r,max}(\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm})$$

Sprickavståndets maxvärde

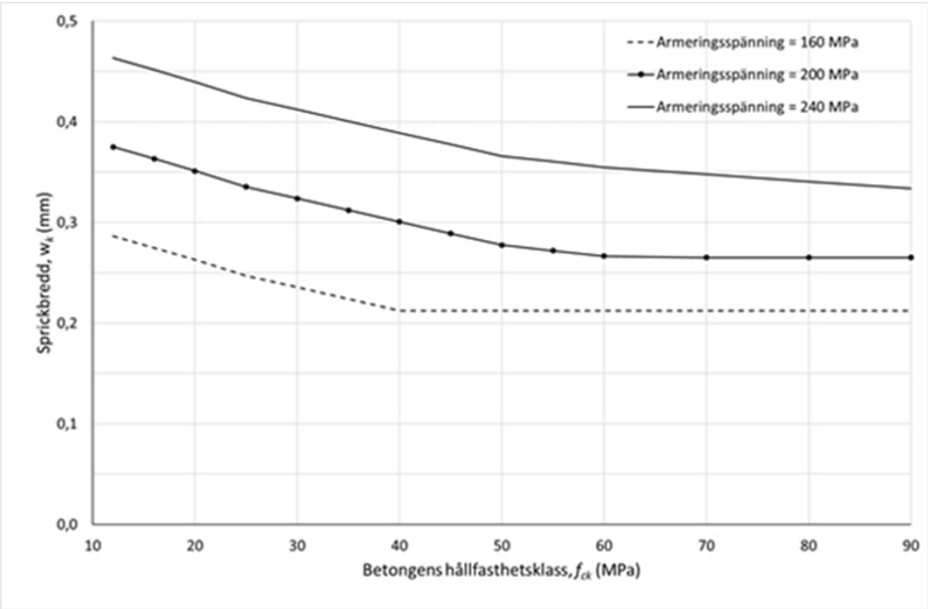
$$s_{r,max} = k_3 c + k_1 k_2 k_4 \emptyset / \rho_{p,eff}$$

$$\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} = \frac{\sigma_s - k_t \frac{f_{ct,eff}}{\rho_{p,eff}}\left(1 + \alpha_e \rho_{p,eff}\right)}{E_s} \geq 0{,}6\frac{\sigma_s}{E_s}$$

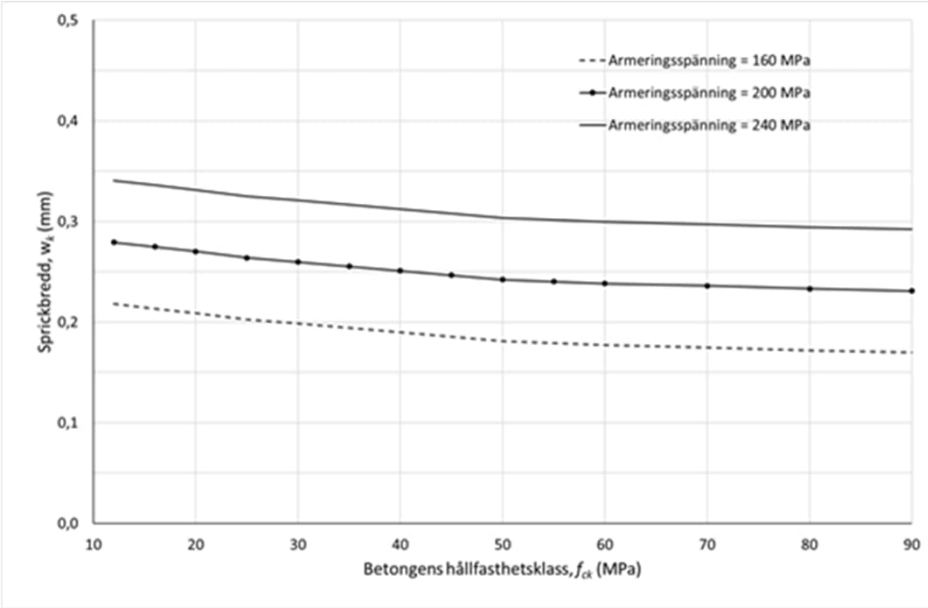


Största sprickavstånd som funktion av effektiv armeringsandel. Beräkningarna är utförda med $\boldsymbol{k_1 = 0,8}$; $\boldsymbol{k_2 = 1,0}$; $\boldsymbol{k_3 = 3,4}$; $\boldsymbol{k_4 = 0,525}$; $\boldsymbol{c = 50\ mm}$, för tre olika stångdiameter (∅).

Karakteristisk sprickbredd



Sprickbredd, vid olika spänningar i armeringsstänger, som funktion av betongens hållfasthetsklass, beräknad för $\boldsymbol{\rho_{p,eff} = 2,5}$ %, $\boldsymbol{s_{r,max} = 442\ mm}$ och $\boldsymbol{k_t = 0,4}$.



Sprickbredd, vid olika spänningar i armeringsstänger, som funktion av betongens hållfasthetsklass, beräknad för $\boldsymbol{\rho_{p,eff} = 5,0}$ %, $\boldsymbol{s_{r,max} = 306\ mm}$ och $\boldsymbol{k_t = 0,4}$.

Sammanställning av sprickbredder

Tabellen sammanställer sprickbredd som funktion av några styrande storheter. Tabellen kan vara ett bra hjälpmedel när man jämför olika konstruktionselement som är byggda under olika perioder med olika gällande normer och standarder, med varandra. Det bör, dock, noteras att tabellen endast är baserad på ett typfall och EK 2.

	Tillåten armerings-spänning (MPa)	Betongens hållfasthetsklass		
		C20/25	C35/45	C50/60
Effektiv armeringsandel = 2,5 % Största sprickavstånd = 442 mm	160	0,26	0,22	0,21
	200	0,35	0,31	0,28
	240	0,44	0,40	0,37
Effektiv armeringsandel = 5,0 % Största sprickavstånd = 306 mm	160	0,21	0,19	0,18
	200	0,27	0,26	0,24
	240	0,33	0,32	0,30

Anläggningsbesök

- 10 anläggningar besöktes under tre dagar i juni 2021.
- Följande tre byggårsintervaller bestämdes för val av anläggningar:
  I. 1940–1960 (Ålder 60–80 år)
  II. 1960–1980 (Ålder 40–60 år)
  III. 1980- (Ålder 40 år eller yngre)

	Anläggning	Byggår	Älv	Ägare	Effekt (MW)	Fallhöjd (m)
			1940 – 1960			
1	Ramsele	1958	Faxälven	Uniper	157	79
2	Storfinnfor-sen	1954	Faxälven	Uniper	112	50
3	Bergeforsen	1959	Indalsälven	Bergeforsens Kraft AB	168	23
			1960 – 1980			
4	Moforsen	1968	Åseleälven	Uniper	135	28
5	Långbjörn	1960	Åseleälven	Vattenfall	100	34
6	Degerforsen	1966	Åseleälven	Uniper	63	24
			1980 –			
7	Stenkullafors	1983	Åseleälven	Vattenfall	58	24
8	Volgsjöfors	1981	Åseleälven	Statkraft	20	8
9	Malgomaj	1983	Åseleälven	Statkraft	10	9
10	Fors	1990	Nätraån	Statkraft	3	19

Exempel på sprickbildningar

Exempel på sprickbildningar

Bedömning av sprickor

- Sprickbildningarna garderades med avseende på deras inverkan på konstruktionens bärförmåga och stabilitet, täthet och beständighet.
- Beständigheten avser endast korrosions- och urlakningsmekanismerna.
- Inverkan graderas enligt följande skala:
    1. Ingen/liten inverkan (L)
    2. Måttlig inverkan (M)
    3. Stor inverkan (S)
- Bedömningen återspeglar endast en översiktlig och visuell uppfattning av sprickornas inverkan.

	Andel (%)		
	L	M	S
Bärförmåga och stabilitet	84,2	5,3	10,5
Täthet	63,1	21,1	15,8
Beständighet	42,1	42,1	15,8

Bedömning av sprickor

- Sprickorna hade endast i två anläggningar, två fall (10,5 %), stor inverkan på betongkonstruktionernas bärförmåga.
  - Sprickorna hade uppkommit p.g.a. spänningar, orsakade av temperaturens säsongsvariationer, för vilka konstruktionen inte var dimensionerad.
  - Sprickorna hade även stor inverkan på konstruktionernas täthet (10,5 % utav totalt 15,8 %).
- Sprickorna hade endast i tre fall (15,8 %) stor inverkan på konstruktionens beständighet.
  - Bedömningen är baserad på observation av färgade utfällningar vid sprickmynningarna.
  - Bedömningen är osäker eftersom det är svårt att skilja mellan färgad utfällning orsakade av korrosion och färgad utfällning orsakad av mineral från älven och omgivningen.
  - I två fall (10,5 %) bedömdes anledningen till sprickbildningarna vara bristfälligt utförande av betongkonstruktionen vintertid.
  - I det tredje fallet (5,3 %) var sprickorsaken frostagrep på en brobana över dammpelare. Bedömningen gjordes från långt hål, därmed osäker.

Slutsatser

- De töjningar och spänningar som p.g.a. temperaturens sängsonsvariationer uppstår i grova betongkonstruktioner kan bli lokala och stora. Dessa spänningar och töjningar och deras fördelning kan inte beräknas med de konventionella dimensioneringsmetoderna.
- Tvång orsakat av berggrund eller en angränsande konstruktion kan leda till sprickbildning. Vid analysen utgår man ofta från ett jämnfördelat tvång längs med konstruktionens ränder, vilket inte alltid stämmer.
- Exponeringsmiljön i de inspekterade anläggningarna är förmodligen inte tillräcklig aggressiv för betongkonstruktioner med de befintliga sprickytyper och sprickbredder.
- Betongens hållfasthetsklass har relativt liten inverkan på sprickbredden. Ökat krav på hållfasthetsklass medför, därför, ingen märkbart direkt effekt på konstruktionens beständighet med avseende på nedbrytningsmekanismer som verkar i sprickor.
- Ökad hållfasthetsklass kan medföra sänkt *vct* och ökat cementinnehåll, vilka kan öka värmeutvecklingen under betongens hårdnande, därmed öka sprickrisken. Sänkt *vct* kan försämra betongens gjutbarhet, därmed öka sprickrisken. Ökad hållfasthetsklass leder, därför, inte alltid till minskad sprickbredd och bättre beständighet.

Slutsatser

- Vintergjutningstekniken har utvecklats. Man kan numera gjuta vid många minusgrader. Men riskerna för att misslyckas med utförandet och få ett dåligt slutresultat är stora. Skillnaden mellan de gamla och de nya konstruktionerna kan kanske delvis förklaras genom att förr i tiden man inte gjöt under svåra väderförhållanden vilket man numera gör med ökad risk för att uppnå ett sämre resultat. Det är kanske därför man inte märker någon skillnad trots att kraven har blivit strängare.
- Endast 10 anläggningar har inspekterats under en kort tid. Underlaget är kanske inte tillräckligt för att dra långtgående slutsatser.
- Vid höga värden på effektiv armeringsandel kan armeringsandelen minskas med det värdet som motsvarar ca 0,1 mm sprickbredd utan att nämnvärt påverka konstruktionselementets beständighet. Detta förutsätter, dock, att elementet inte är utsatt för ensidigt vattentryck.

TACK FÖR UPPMÄRKSAMHETEN