

SPRICKORS PÅVERKAN PÅ BETONGDAMMARS SÄKERHET

RAPPORT 2016:310



Sprickors påverkan på betongdammars säkerhet

– ett stöd vid fördjupade inspektioner

MARIE WESTBERG WILDE

MÅRTEN JANZ

TOMAS EKSTRÖM

ISBN 978-91-7673-310-3 | © 2016 ENERGIFORSK

Energiforsk AB | Telefon: 08-677 25 30 | E-post: kontakt@energiforsk.se | www.energiforsk.se

Förord

Vid fördjupade inspektioner behöver inspektören på ett snabbt och enkelt sätt göra en första bedömning av om en noterad spricka eller skada kan ha en påverkan på dammens säkerhet.

Denna rapport innehåller en kort genomgång av sprickorsaker och vanligt förekommande sprickor hos lamellkonstruktioner och utskovspelare och möjliga konsekvenser av sprickor och skador diskuteras. I rapporten ges även rekommendationer för vilken information som bör ingå i redovisning av en fördjupad inspektion för att möjliggöra uppföljning och vidare analys.

Uppdraget har utförts av Marie Westberg Wilde, Mårten Janz och Tomas Ekström, ÅF.

Projektet har ingått i Energiforsks dammsäkerhetstekniska utvecklingsarbete med medverkan från vattenkraftföretag och Svenska kraftnät.

Stockholm september 2016

Sara Sandberg

Sammanfattning

Vid fördjupade inspektioner (FI) och fördjupade dammsäkerhetsutvärderingar (FDU) för dammanläggningars betongkonstruktioner noteras bl.a. sprickor och skador som kan vara av vikt för dammens säkerhet.

Syftet med föreliggande rapport är att den ska utgöra stöd vid fördjupade inspektioner genom att ge inspektören hjälp att på ett snabbt och enkelt sätt göra en första bedömning av en noterad spricka. För potentiellt allvarliga sprickor behövs sedan en djupare analys.

Rapportens första del innehåller en kort genomgång av sprickorsaker:

- Sprickor orsakade av mekaniska fenomen (yttre last).
- Sprickor orsakade av fysikaliska fenomen (förhindrad rörelse eller inre expansion).
- Sprickor orsakade av kemiska fenomen (urlakning, kemiska reaktioner och armeringskorrosion).

Störst fokus i rapporten läggs på genomgång av de vanligast förekommande sprickorna för lamellkonstruktioner och utskovpelare. Vanligt förekommande sprickor identifierats och visas i översiktsfigurer. Dessa vanliga sprickor baseras på en sammanställning av fotografier och skisser för ett 40-tal dammanläggningar samt från författarnas erfarenhetsbank. Nio vanliga spricktyper (spricklägen) har identifierats och för vardera spricktypen görs en genomgång av troliga orsaker och möjliga konsekvenser av sprickan. För vardera sprickan diskuteras också möjligt brottförlopp och rekommendationer ges för vilka åtgärder som kan vidtas för att hantera sprickan.

För sprickor som kräver fördjupad analys ges förslag på flödesschema för vilka steg som bör ingå. Identifierade sprickor bör alltid övervakas; detta kan göras

- Okulärt för sprickor vars inverkan bedöms som liten, men även okulär övervakning bör göras systematiskt t.ex. med kronologisk fotografering och i vissa fall sprickartering.
- Via mätning om det svårt att okulärt följa sprickutveckling, då spricktillväxt misstänks eller om sprickorna är omfattande. Olika mätmetoder visas översiktligt.

Rapporten innehåller även rekommendation för vad som bör ingå i en rapport från en fördjupad inspektion. Tillräcklig information bör ingå för att möjliggöra vidare uppföljning av eventuell spricktillväxt. Exempel på redovisning ges för tre fall. Av dessa har för två utförts fördjupade analyser som också kortfattat redovisas.

Summary

During in-depth inspections of concrete structures in dam facilities, cracks and damages that may be of importance for the dam safety are often discovered.

The aim of the present report is to support the inspector in performing a quick and simple initial assessment of an observed crack. For potentially harmful cracks further analysis is necessary.

- In the first part of the report, a short summary is given of the possible causes of cracks, including:
- Cracks caused by mechanical phenomenon (external loading);
- Cracks caused by physical phenomenon (restrained movement or internal expansion);
- Cracks caused by chemical phenomenon (leaching, chemical reactions and corrosion of reinforcement).

The main focus of the report is to review the most common cracks for buttress structures and spillway pillars. The most common cracks are identified and clearly presented in pictures. The identification is based on a summary of photographs and sketches from approximately 40 dam facilities and the experience of the authors. Nine common crack types are identified and for each the possible main cause and consequences are discussed. Possible failure sequence and recommendation for measures that may be taken are also given for each crack type.

For cracks where further analysis is necessary, a flowchart describing the steps that should be included is presented. Identified cracks should always be monitored. Possible methods include:

- Visual, where the impact of the crack is considered small. Visual inspections should be done in a systematic manner, e.g. by chronological photography and in some cases crack mapping;
- Via measurement, if crack propagation is suspected, where possible crack propagation is difficult to follow or if cracking is extensive.

The report also includes recommendations for the contents of future reports of in-depth inspections. Enough information should be included to facilitate monitoring of crack propagation. Three examples of presentations are given. For two of the cases, further analysis has been performed and is also presented.

Innehåll

1	Bakgrund	9
1.1	Avgränsningar	10
1.2	Rapportens innehåll	10
2	Introduktion till sprickor	11
2.1	Sprickor	11
2.2	Orsaker till sprickor	11
2.2.1	Sprickor orsakade av mekaniska fenomen	12
2.2.2	Sprickor orsakade av fysikaliska fenomen	12
2.2.3	Sprickor orsakade av kemiska fenomen	13
2.3	Reparation av sprickor	15
3	Sprickor som observerats i dammar	17
3.1	Sammanställning av vanligt förekommande sprickor	17
3.2	Övergripande Konsekvenser av sprickor	19
3.3	Orsak och konsekvens av observerade sprickor	19
3.3.1	Sneda sprickor i pelaren	20
3.3.2	Sprickor kring lucklager	26
3.3.3	Horisontella sprickor i pelaren	29
3.3.4	Vertikala sprickor i pelare	30
3.3.5	Sneda sprickor i pelarens nedströmskant	31
3.3.6	Horisontella sprickor i frontplattan	32
3.3.7	Frostskador och islinser i frontplattan	34
3.3.8	Frost/ASR kring lucklager eller i lucklagerarmeringens förankringszon	35
3.3.9	Frost/ASR i kuggspelskonsoller	36
3.4	Analys av sprickornas inverkan	38
3.4.1	Analys av uppsprucken pelare	38
3.4.2	Analys av sprickor kring lucklager	39
3.5	Övervakning av sprickor	39
3.5.1	Okulär övervakning	40
3.5.2	Mätning	40
3.5.3	Förstörande provning	42
4	Förslag på redovisning vid fördjupad inspektion	43
4.1	Förberedelser	44
4.2	På dammen	44
4.3	Rapport	45
4.4	Exempel på redovisning	45
4.4.1	Exempel 1: Utskovspelare på damm i Norrland.	46
4.4.2	Exempel 2: utskovsdamm i Norrland	47
4.4.3	Exempel 3	48
	Referenser	50

1 Bakgrund

Vid fördjupade inspektioner (FI) och fördjupade dammsäkerhetsutvärderingar (FDU) för dammanläggningars betongkonstruktioner noteras bl.a. sprickor och skador som kan vara av vikt för dammens säkerhet.

Inspektioner utförs av kvalificerad personal med kunskap om betongs beständighet och konstruktionernas beteende vid belastning. Vid en fördjupad inspektion är det dock ofta svårt att på djupet analysera inverkan av olika skador på beteendet och det blir istället nödvändigt att föreslå ytterligare analyser då skador av potentiellt allvarlig art upptäckts. Det är även svårt att ge relevanta rekommendationer kring om någon åtgärd är nödvändig och vilken åtgärd som kan vara lämplig.

I denna rapport görs en genomgång av de vanligast förekommande sprickorna för lamellkonstruktioner och utskovpelare samt beskrivning av hur dessa påverkar konstruktionens funktion.

Syftet med rapporten är att utgöra stöd vid fördjupade inspektioner genom att ge inspektören hjälp att på ett snabbt och enkelt sätt göra en första bedömning av en noterad spricka. För potentiellt allvarliga sprickor behövs sedan en djupare analys.

Med utgångspunkt från genomgång av vanligt förekommande sprickor samt CEATI rapporten "Investigating the structural safety of cracked concrete dams" (april 2014) ges även rekommendationer för vilka punkter som bör noteras vid en fördjupad inspektion för att utgöra underlag för framtida bedömningar.

CEATI-rapporten har delvis liknande syfte som denna rapport, men på grund av vissa specifika förutsättningar i Sverige (is, frost) som ger upphov till problem och mindre sådan påverkan som är mindre vanlig här (jordbävning) bedöms ändå att denna rapport har ett stort värde. Det bör även tilläggas att redovisade skador i CEATI-rapporten är mindre detaljerade än i denna rapport.

CEATI-rapporten sammanfattar lämplig arbetsgång vid utredning kring sprickor i betongdammar på följande sätt:

- Upptäckt av sprickor (vid fördjupade inspektioner)
- Karakterisering av sprickan och dokumentation av läge, typ och storlek
- Genomgång av dammtyp och konstruktionsmetod
- Identifiering av huvudorsak till sprickan
- Jämförelse med relevanta fall
- Identifiering av potentiella felmoder som sprickan kan ge upphov till
- Framtagande av åtgärder för att ta hand om eller minska effekterna av sprickorna.

Vissa av punkterna ovan (konstruktionsmetod, jämförelse med relevanta fall, huvudorsak till spricka, identifiering av felmoder och åtgärder) ligger till stor del inom ramen för en mer omfattande utredning än vad som ryms inom en fördjupad inspektion, men kommer diskuteras kortfattat i denna rapport.

1.1 AVGRÄNSNINGAR

Rapporten behandlar i första hand sprickor och skador noterade på lamellkonstruktioner och utskovspelare. Resultaten är i viss mån applicerbara även på andra anläggningsdelar.

De beskrivna skadorna är sådana som författarna bedömer på något sätt kan ha direkt inverkan på konstruktionens förmåga att uppta och överföra belastningar på avsett vis.

Det kan finnas andra typer av skador som är mindre vanligt förekommande som också kan leda till nedsatt funktion för konstruktionen.

Bedömning av sprickorsaker och möjlig konsekvens samt beskrivning av åtgärder är baserade på författarnas erfarenhet av tidigare genomförda bedömningar. Det kan av läsaren betraktas som vägledning, men eftersom varje konstruktion är unik blir bedömningen upp till varje inspektör.

1.2 RAPPORTENS INNEHÅLL

I avsnitt 2 *Introduktion till sprickor* ges kortare sammanfattning av de vanligast förekommande processer som kan ge uppkomst till sprickor i betongkonstruktioner, med fokus på spricktyper som vanligen observeras för dammar. Även en kortare genomgång av reparationsmetodik ingår.

Avsnitt 3 *Sprickor som observerats i dammar*. Baserat på av författarna genomförda inspektioner och allmänna erfarenhet har en sammanställning och kategorisering gjorts av de spricktyper som vanligen observeras för svenska lamelldammar och utskovspelare. För de kategoriserade sprickorna görs sedan en genomgång av orsak till spricka, dess konsekvens för dammens säkerhet, felmod och brottförlopp samt en kortare rekommendation.

För vissa typer av sprickor krävs mer omfattande analys och analysmetodik för dessa presenteras. Även en beskrivning av möjlig övervakning ges.

I avsnitt 4 *Förslag på den information som bör inhämtas vid en fördjupad inspektion* beskrivs den information som bör inhämtas vid en fördjupad inspektion samt hur redovisningen bör göras för att i framtiden möjliggöra bättre och säkrare bedömningar.

I detta avsnitt ges också några kortare exempel som visar vad som bör beskrivas vid en fördjupad inspektion och hur vidare analys kan ge mer information.

För inspektören är det således framförallt avsnitt 4 som används för förberedelse samt vid skrivande av inspektionsrapport. Avsnitt 2 och 3 används framförallt för ökad förståelse för sprickbildning och sprickornas möjliga konsekvenser.

2 Introduktion till sprickor

2.1 SPRICKOR

En spricka uppstår i betong när dragspänningar/töjningar överstiger draghållfastheten/brottöjningen. Typiskt uppstår en lastspricka vid t.ex. hörn, mot berg, mot hål, lastkoncentrationer, etc., där spänningar koncentreras. Beständighetsrelaterade sprickor uppstår där förhållandena för nedbrytning, t.ex. fuktinnehåll, är ogynnsamma. Påkänningarna är som störst i sprickans spets, d.v.s. där sprickan slutar i betongen. Om sprickan medför en ökad spänning i den kvarvarande delen, eller om belastningen ökar, så kommer spänningen i sprickspetsen att ånyo överstiga hållfastheten och sprickan växer då inåt.

Spänningar/töjningen kan orsakas av såväl inre laster/rörelser som yttre laster, vilka kan uppkomma under eller efter tillstyvnandet. Spricktöjningen varierar med betongens ålder och med töjningshastigheten.

2.2 ORSAKER TILL SPRICKOR

Som beskrivs i litteraturen är sprickor naturligt förekommande i konstruktioner av armerad betong där armeringsmängd avgör antal sprickor och sprickvidd. En hårt armerad konstruktion ger många fina sprickor medan mindre armering ger få men grova sprickor. Oarmerade betongkonstruktioner bör inte utsättas för dragspänningar som överskrider betongens draghållfasthet, d.v.s. sprickor i oarmerad betong bör generellt inte få förekomma. Det är därför viktigt att vid bedömning veta hur/om den aktuella konstruktionen är armerad. Genom att vid konstruktion och gjutning använda rätt arbetsteknik, ändamålsenliga dimensioneringsmetoder och korrekt ta hänsyn till uppkommande tvång så kan sprickbildning begränsas och styras.

Kartläggning, beskrivning och förståelse av bakomliggande orsaker till sprickbildning i betong är väsentlig för hantering av frågor gällande betongens bärrighet, stabilitet och kvarvarande livslängd.

För att identifiera och vidta rätt åtgärd behöver sprickorsaken vara känd, annars blir åtgärden ofta endast temporär och skadan återkommer och kan i värsta fall t.o.m. förvärras. Genomgången av sprickorsak hålls kortfattad i denna rapport. Allmänt om sprickor finns att läsa i t.ex. Betonghandboken Material (1994) och Svenska betongföreningen (1994). För sprickor specifikt noterade för svenska betongdammar görs en sammanställning av sprickorsak och exempel i Hassanzadeh & Westberg Wilde (2016).

I Betonghandboken Material (1994) beskrivs mekanismer för uppkomst av sprickor, utseende av olika typer av sprickor samt motåtgärder som kan vidtas för att förhindra att sprickor uppkommer.

I Hassanzadeh & Westberg Wilde (2016) har följande indelning gjorts på sprickor som är av betydelse för vattenkraftkonstruktioner:

- Sprickor orsakade av mekaniska fenomen
- Sprickor orsakade av fysikaliska fenomen
 - × Förhindrade termiska rörelser (vid betongens avsvälning eller på grund av temperaturvariationer i omgivningen)
 - × Förhindrade rörelser av uppfuktning och uttorkning (krympning)
 - × Inre expansion (t.ex. frost)
- Sprickor orsakade av kemiska fenomen
 - × Urlakning
 - × Kemiska reaktioner i cementpastan (t.ex. sulfatangrepp)
 - × Kemiska reaktioner som leder till expansion (t.ex. Alkali-silika reaktioner, tidigare kallade Alkali-kisel reaktioner)
 - × Armeringskorrosion

Nedanstående beskrivning av de olika fenomenen har hämtats från Betonghandboken Material (1994), Svenska betongföreningen (1994) samt Hassanzadeh & Westberg Wilde (2016).

2.2.1 Sprickor orsakade av mekaniska fenomen

Med mekaniska fenomen menas yttre laster som t.ex. vind- och islast, hydrostatiskt vattentryck, egenvikt, belastning av luckor eller maskiner som belastar konstruktionen permanent eller tillfälligt. Lasteffekten ger upphov till ett spänningstillstånd i konstruktionen och vid tillräckligt höga spänningar uppkommer en spricka vinkelrät mot huvuddragspänningens riktning. Vid beräkningar antas ofta ett brottkriterium, t.ex. Trescas brottkriterium.

2.2.2 Sprickor orsakade av fysikaliska fenomen

Förhindrade termiska rörelser

Omfattningen av sprickor i betong orsakade av temperaturrörelser i betongen beror framförallt på två saker, hur betongkonstruktionen är fixerad till sin omgivning (tvånget) samt hur stor avsvälningen är. Temperaturrörelserna kan uppstå t.ex. vid avsvälning efter gjutning eller cykliskt under året på grund av omgivningens temperaturvariation om konstruktionen inte är värmeisolerad på rätt sätt.

Vid en tjock konstruktion och en moderat temperatursänkning kan sprickbildningen inskränka sig till att uppstå endast i ytan. Ytsprickorna uppkommer vid betongens avsvälning på grund av lägre värmeavgång och därmed högre temperatur i konstruktionens mitt. Detta leder till dragspänningar vid ytan när denna svalnar och tryckspänningar i mitten. Ytan kan sägas vara fixerad till det inre av konstruktionen som "håller emot". Sprickbredden blir oftast liten och med begränsat djup.

Om konstruktionen är tunn, relativt sin bredd och höjd, och om avsvälningen mot ytan är stor samtidigt som konstruktionen är fixerad i en eller flera ränder så kan genomgående sprickor uppstå. Som exempel kan nämnas en vanligt

förekommande lamelldammspelare. Om konstruktionen är sparsamt armerad blir sprickorna färre men grövre, medan om den är rikligt armerad blir sprickorna fler men mindre (sprickfördelning).

Ett specialfall kan inträffa även för tjocka konstruktioner, t.ex. en dammdel, om de gjuts mot en fixerad rand, t.ex. berget eller en tidigare gjuten konstruktion. P.g.a. tjockleken kan inte hydratationsvärmen avges så enkelt till omgivningen och konstruktionen kan därför värmas upp till höga temperaturer. Vid efterkommande avsvälning kan genomgående sprickor uppkomma vinkelrätt mot den fixerade randen. Om ytorna är oskyddade och om omgivande temperatur är låg uppstår en större sprickrisk. Enligt Betonghandboken Material (1994) så kan höga temperaturer ($> 70\text{ °C}$) ge en ökad risk för uppkomsten av s.k. inre sulfatangrepp. Symptomen är kraftig uppsprickning och sägs först visa sig en lång tid (år) efter själva angreppet.

Förhindrade rörelser av uppfuktning och uttorkning

Om uttorkningskrympning får ske utan hinder erhålls ingen sprickbildning. Kombinationen krympning och mothåll orsakar sprickor. De deformationer och spänningar som uppkommer på grund av betongens krympning och svällning kan bestämmas på liknande sätt som deformationerna och spänningarna bestäms vid temperaturförändringar. Det bör dock noteras att uttorknings- och uppfuktningsprocesserna är betydligt långsammare än temperaturförändringar, vilket i vissa fall kan medföra ogynnsamma töjningsgradienter. Många vattenkraftskonstruktioner är exponerade för fukt, vilket gör att krympningen blir begränsad och uttorkningskrympning är sällan ett problem.

Inre expansion (frostsador)

Betong är ett sprött material och för att betongen ska vara frostbeständig måste den ha en tillräcklig luftporvolym med en lämplig porfördelning. Om så inte är fallet tål den inte den expansion som sker när vatten inuti materialet fryser till is. Det kan ge upphov till

- Sönderdelning av betongens inre delar där skadorna visar sig genom en kraftig sprickbildning på ytan, så kallade krackeleringssprickor.
- Avskalning av betongytorna som gradvis skadar betongen från ytan. Om avskalningen blir tillräckligt stor kan andra skademekanismer ta vid, t.ex. armeringskorrosion.

2.2.3 Sprickor orsakade av kemiska fenomen

Urlakning

Nedbrytning av betong orsakad av urlakning uppkommer då vatten löser cementpastans beståndsdelar som portlandit, Ca(OH)_2 och kalciumsilikathydrat, CSH samt diverse lösliga ämnen som formats av kalium (K), natrium (Na) och svavel (S).

Urlakning och liknande processer kan indirekt leda till sprickbildning genom en urholkningsprocess som medför att svaghetszoner med reducerad hållfasthet

bildas i konstruktionen, vilket kan leda till att den spricker på grund av andra mekaniska och fysikaliska processer. Urlakning kan utvidga existerande sprickor samt leda till spricktillväxt.

Sulfatangrepp

Sulfatangrepp kan ge skador på betongkonstruktioner då vattenlösliga sulfater härrörande från natrium-, kalium-, ammonium- och magnesiumsulfat tränger in i betongen och reagerar med cementets kalciumhydrat, CH, och trikalcialuminat, C3A. Den första reaktionen leder till att gips bildas medan den andra leder till ettringitbildning. Båda reaktionsprodukterna är svällande och kan ge upphov till sprickbildning.

Sulfatangreppets mekaniska verkningsätt vad det gäller att förorsaka sprickor i konstruktioner är jämförbart med frostangreppets mekaniska verkningsätt och kan behandlas på samma sätt vid mekaniska analyser och beräkningar.

Ballastreaktioner

Alkali- och sulfatballastreaktioner är ballastreaktioner som förekommer i betong framför allt när betongen innehåller ballastsorter som är känsliga för angrepp från alkalier, kaliumhydroxid (KOH) och natriumhydroxid (NaOH) - eller sulfat; eller innehåller lösliga sulfater.

Alkalikiselsyrareaktionen, eller ASR, är en kemisk reaktion mellan alkalilöslig kiselsyra och cementets alkali. Resultatet blir en så kallad alkalikiselsyragele som i fuktig miljö tar upp stora mängder vatten under svällning. I vissa fall är gelen tillräckligt lättflytande för att kunna trängas undan mot hålrum i betongen och mot betongytorna. Ofta förorsakar den emellertid omfattande uppsprickning av hela betongvolymen. Angreppet är irreversibelt vilket betyder att expansionen inte går att reducera efter att reaktionerna startat. Eftersom ASR är möjlig i miljöer med RH $\geq 80\%$ är det mycket svårt att skydda en "kontaminerad" utomhuskonstruktion från angrepp. ASR-angrepp föranleder också en ökad nedbrytningshastighet då uppsprickningen av betong leder till en förhöjd risk för andra skademekanismer som t.ex. armeringskorrosion och frostangrepp. Reaktionen är vanligtvis långsam och det kan dröja uppåt 20-30 år innan skadorna blir synliga.

Armeringskorrosion

Betong skyddar ingjutet stål då porvattnet i betong är så alkaliskt (høgt pH) att stålytan passiviseras. Om det passiva tillståndet övergår till aktivt tillstånd ökar nedbrytningsprocessen i stålet. Detta kan uppkomma genom att miljön närmast stålet neutraliseras genom karbonatisering eller genom att cementets hydrationsprodukter löses ut av omgivande eller genomströmmande vatten (urlakning), eller genom att korrosiva ämnen t.ex. klorider finns i porvattnet kring stålet.

Vid sprickor är sprickans geometriska orientering relaterat till det ingjutna stålet viktigt att känna till. Då sprickorna löper parallellt med armeringen blottas stålet i sin helhet och sprickan har stor kapacitet att försörja korrosionsområdet och korrosionsprodukterna ger upphov till ett tryck som kan göra att tätskiktet

spräcks. Sprickor vinkelrät mot järnet kan göra att korrosionsprodukter tätar sprickzonen vilket hämmar fortsatt korrosion.

2.3 REPARATION AV SPRICKOR

Då sprickor identifierats behöver de utvärderas noggrant utifrån omfattning, orsak samt påverkan på konstruktionens funktionalitet, stabilitet, bärighet samt beständighet.

Lokalisering, fastställning av omfattning av sprickbildning och det allmänna tillståndet av betong i en konstruktion kan bestämmas med kombinationen av okulär besiktning och sekundära iakttagelser, såsom icke-förstörande tester och provkärnor som tas från konstruktionen. Information kan även fås ut från ritningar samt bygg- och underhållsdokumentation.

Om det inte på plats är uppenbart varför sprickorna har uppstått kan ofta beräkningar ge nödvändigt information. T.ex. kan beräkningar visa att temperaturvariationer, säsongsmässiga eller driftsmässiga, har orsakat sprickbildningen.

I vissa fall då sprickor bedöms resultera i nedsatt hållfasthet och/eller stabilitet hos konstruktionen bör kontrollberäkningar utföras. Detta för att erhålla tillräckligt med underlag för att välja rätt metod samt bestämma omfattningen av reparationen och vid omfattande skador fastställa det eventuella förstärkningsbehovet av den skadade konstruktionen under tiden för reparationsarbetet.

Nödvändiga åtgärder kan vara att undanröja orsaken till sprickbildningen, t.ex. en ny värmeisolerande vägg, eller att förstärka konstruktionen, t.ex. med spännstag eller injektering, eller en kombination av detta.

ACI Committee 224 (2007) har definierat mål som en reparation kan ha:

- Återställa eller höja hållfastheten
- Återställa eller höja styvheten
- Förbättra funktionen
- Upprätta vattentäthet
- Förbättra utseendet på betongytan
- Förbättra beständigheten
- Förhindra utvecklingen av korrosiv miljö vid armeringen

Val av reparation och reparationsmetod ligger utanför denna rapport, men mer information om såväl tillståndsbedömning och underhåll som reparation av betongkonstruktioner har behandlats av två europeiska projekt, CONTECVET och REHABCON.

CONTECVET:s manualer behandlar enbart fyra nedbrytningsmekanismer; alkaliskelreaktioner, frostangrepp, korrosion och urlakning (tillkom senare). Därför kan skador orsakade av andra mekanismer än de ovannämnda inte utredas med dessa manualer, speciellt när fördjupad undersökning är nödvändig. I vattenkraftsanläggningar förekommer även skador som orsakas av flera samverkande mekanismer. Det bör noteras att metodik som tagits fram inom

CONTECVET avser tillståndsbedömning med avseende på nedbrytning och gäller inte i de fall när man avser förändringar rörande användning och/eller belastning av konstruktioner. (Elforskrapport 10:70)

REHABCON består av ett antal delrapporter och beskriver de prestandakrav som bör ställas, hur utvärdering av olika alternativ för reparation och uppgradering bör göras med hänsyn till erforderlig livslängd, stabilitet och hållfasthet, samt med hänsyn till utförande, miljö, hälsa och ekonomi. Den ger också förslag på en förvaltningsstrategi och innehåller även utvärdering av utförda fältförsök mm.

Erfarenheterna från CONTECVET och REHABCON har samlats på betongreparation.se som ger vägledning för genomförande av just betongreparationer.

Den första viktiga punkten för att utföra åtgärder är en tillståndsbedömning. Den måste vara tillräckligt omfattande för att så långt som möjligt visa skadeorsak, skadans placering och omfattning, skadans effekt på funktionen, samt ge bedömning av framtida nedbrytning och den påverkan detta kan få på funktionen.

Tillståndsbedömningen kan behöva göras i flera steg med ökande detaljeringsgrad och kan resultera i olika rekommendationer:

- Inga åtgärder alls; ny inspektion om x år
- Inga åtgärder, men övervaka
- Utfärda användningsrestriktioner
- Undanröja eller minska orsaken till sprickan, t.ex. ny isolervägg
- Reparera och förstärka omgående, t.ex. montering av spännstag eller liknande
- Riva och bygga på nytt.

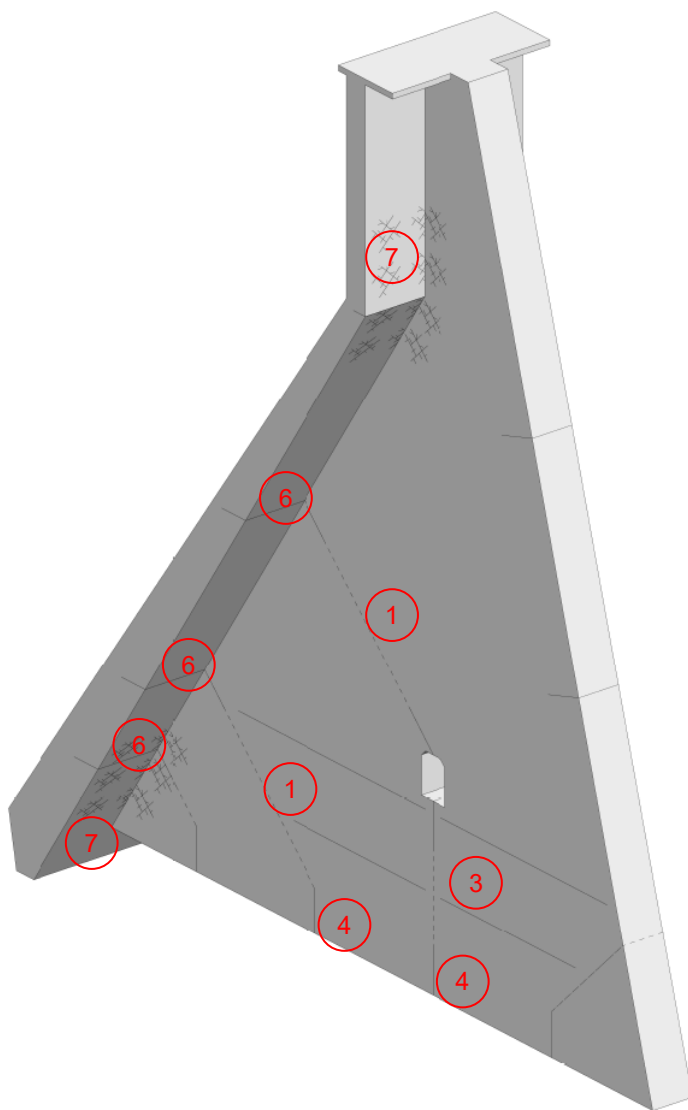
Vid reparation måste hänsyn tas till normer och krav, t.ex. livslängd, hållfasthet, miljö, utförande, hälsa och ekonomi. REHABCON/Betongreparation.se ger vägledning i val av teknisk lösning och utvärdering av möjliga lösningar. Slutligt val av reparation görs av ägaren och efter det följer utförande och kontroll.

3 Sprickor som observerats i dammar

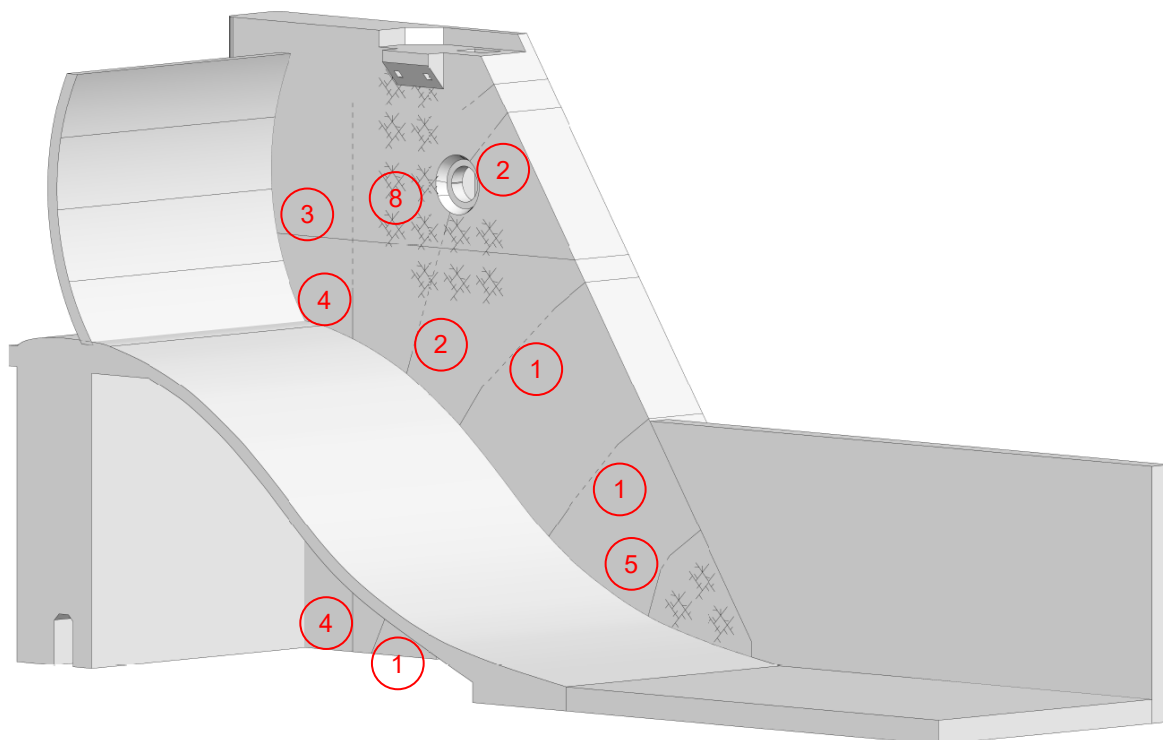
3.1 SAMMANSTÄLLNING AV VANLIGT FÖREKOMMANDE SPRICKOR

I detta kapitel görs en genomgång av de observerade sprickorna där trolig orsak till uppkomst redovisas och diskussion görs kring de konsekvenser sprickan/spricksystemet har eller kan ha på dammen. Även vissa rekommendationer och möjliga åtgärder diskuteras.

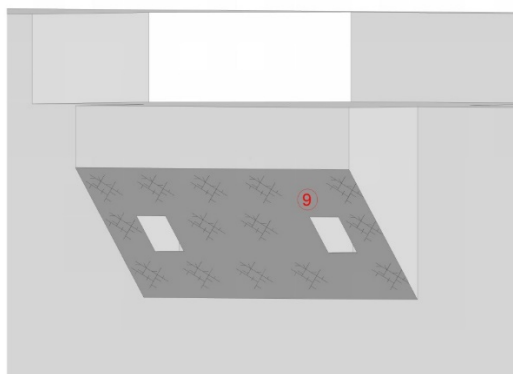
Som en del i föreliggande projekt har sammanställning gjorts av en mängd fotografier och skisser för ett 40-tal dammanläggningar samt från författarnas erfarenhetsbank i övrigt. De vanligast förekommande sprickorna i utskovspelare och lamellmonoliter har sammanställts i schematiska figurer nedan. I Tabell 1 beskrivs sprickorna kortfattat. I tabellen finns också punktat för vilka konstruktionsdelar sprickorna framförallt har noterats, samt vilken av dammens primära funktioner som sprickan kan påverka (Dämmande/Avbördande) samt trolig orsak och verkan.



Figur 1. Vanligt förekommande sprickor för lamellmonolit.



Figur 2. Vanligt förekommande sprickor för utskovspelare



Figur 3. Vanligt förekommande sprickor för kuggstångskonsoller.

Tabell 1. Benämning av för dammar vanligt förekommande sprickor.

		Lamell	Utskovs- pelare	Påverkad Funktion	Orsak	Verkan
1	Sneda sprickor i pelaren	x	x	D	Temp.var.	a)
2	Sprickor kring lucklager		X	D,A	Temp.var., lucklast	b)
3	Horisontella sprickor i pelaren	x	x	D, A	Gjutpall, temp.var.	a), b)
4	Vertikala sprickor i pelaren	x	x	D, A	Temp.var.	b), a)
5	Sneda sprickor i pelarens nedströmskant	x	x	D	Temp.var., belastn.	a)
6	Horisontella sprickor i frontplattan	x		D	Temp.var, belastn.	c)
7	Frostskador och islinser i frontplattan	x		D	Ingen isolervägg, fel material	d)
8	Frostskador/ASR kring lucklager		x	A	Dålig frostbest./ Reaktiv ballast	b)
9	Frostskador/ASR i kuggstångsbockar		x	A	Dålig frostbest./ Reaktiv ballast	b)

D = dämmande, A = avbördande

- a) Förlorad monolitfunktion – påverkar global stabilitet
- b) Brott i armeringens förankringszon – påverkar lucklagret kan leda till att avbördning uteblir
- c) Läckage, på lång sikt hål
- d) Hål

3.2 ÖVERGRIPANDE KONSEKVENSER AV SPRICKOR

En betongdamm kan ha två huvudsakliga funktioner: att dämna vatten och att medverka till avbördning av vatten. För att bedöma konsekvens av observerade sprickor är det nödvändigt att först förstå anläggningsdelens funktion och beteende under belastning samt på vilket sätt den kan gå till brott (felmod).

En lamellkonstruktion har vanligen huvudsaklig uppgift att dämna vatten genom att överföra vattenlasten från frontplattan via pelaren ner till grunden. Sprickor som inverkar på denna funktion kan därmed vara sprickor som gör att konstruktionens stabilitet försämras eller sprickor som gör att materialet lokalt blir så försvagat att läckage kan uppkomma.

Utskovspelare har vanligen funktionen dels att dämna, dels att avbörda. Sprickor på utskovspelare kan därmed påverka stabilitet och material och därmed den dämmande funktionen, men sprickor på infästning av lucklager och på kuggstångskonsoller kan även påverka den avbördande funktionen.

3.3 ORSAK OCH KONSEKVENSN AV OBSERVERADE SPRICKOR

Nedan beskrivs *huvudorsaker till uppkomst* av vanligt observerade sprickor. Mer om sprickorsaker finns i avsnitt 1.4. Vidare diskuteras möjlig *konsekvens* av sprickan och vilken *felmod* sprickan kan ge upphov till samt hur ett *brottförlopp* kan tänkas ske. Slutligen ges kortfattade *rekommendationer* kring vad som kan och bör göras.

3.3.1 Sneda sprickor i pelaren

Beskrivning och huvudsaklig uppkomst

Vanligt noterade sprickor för lamellkonstruktioner och för utskovspelare är *sneda sprickor i pelaren* (nummer 1 i Figur 1 och Figur 2). För lamellkonstruktioner initieras sprickorna vanligen vid infästning i frontplattan och vid bergytan. Eftersom en spricka tar "enklaste vägen" går de vanligen närmsta vägen mot en fri yta, men om försvagningar finns kan de ta andra vägar, t.ex. längs dåligt sammanvibrerade gjutpallar. Det är även vanligt att de initieras vid inspektionsgången varifrån de vanligen utgår från ett hörn och viker av uppåt eller nedåt.

För utskovspelare är sneda sprickor vanligt förekommande vid lucklager samt från skibordet och snett nedströms åt. De initieras vanligen vid skibordets yta, lucklagret eller nedströmskanten. Sprickorna kan ibland fortsätta under skibordet, ner till berget. Mer om sprickor kring lucklager i avsnitt 3.3.2.

Huvudsaklig grundorsak till dessa sprickors initiering bedöms vara tvång från gjutningen på grund av förhindrad rörelse under avsvälningsskedet. Avsvälningssprickor kan vara ytliga sprickor orsakade av temperaturdifferens mellan de inre och yttre delarna i konstruktionen, då vanligen med liten sprickbredd 0,01-0,1 mm och djup mindre än 50 mm (Betonghandboken, 1994).

I grova konstruktioner (t.ex. dammar) där betongtemperaturen vid härdning blir hög är det vanligt att avsvälningssprickorna blir genomgående, ty även om tvärsnittet är grovt kan de förhållandevis mot bredd och höjd vara "tunna", t.ex. som vid vissa lamelldammar.

Genomgående sprickor uppkommer ofta även där temperaturrelaterade rörelser är förhindrade, t.ex. i väggar, brobalkar, stödmurar och grundläggningskonstruktioner och syns därvid även ofta vid bergytan i dammar. Ett konservativt, men inte orimligt, antagande är därmed att sprickorna är genomgående. Om de inte är genomgående är deras betydelse naturligtvis mindre, men det kan ändå finnas behov av att hålla dem under fortsatt uppsikt för att säkerställa att inte spricktillväxt sker så att de på sikt kan bli genomgående.

Om konstruktionen är utsatt för säsongsmässiga temperaturvariationer eller större vatten/islast än normalt kan sprickorna växa i antal och utbredning.

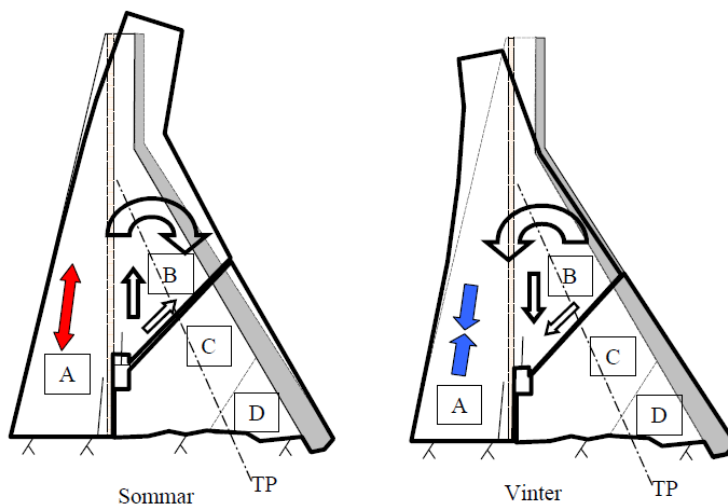
Temperaturrelaterade rörelser (temperaturberoende expansion eller kontraktion) i kombination med tvång kan ge upphov till genomgående sprickor. Dessa sprickor kan med tiden växa och bli grövre och längre ifall det ogynnsamma temperaturförhållandet inte åtgärdas. Ytliga avsvälningssprickor kan även fungera som sprickinitiering. Temperaturrelaterade rörelser på grund av temperaturvariationer i omgivningen kan även i sig orsaka uppsprickning, utan att sprickinitiering finns sedan tidigare.

Figur 4 nedan visar en principskiss av hur dammen rör sig på sommaren respektive vintern. Figur 5 visar förskjutning vid samma perioder. På sommaren är uppströmsytan kall på grund av vattnet.

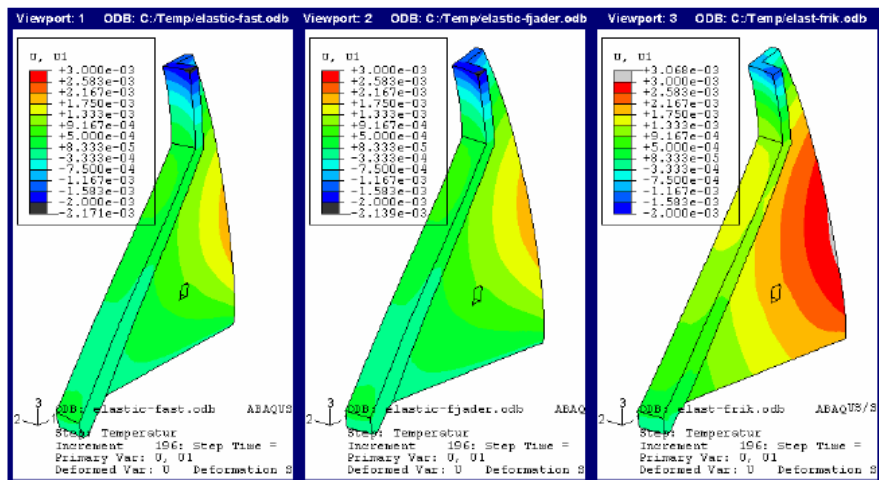
Vanligt är att anta att vattentemperaturen relativt konstant och kring 4°C på under ca 10 m djup, och något mer varierande över denna nivå, men nygjorda mätningar (ÅF, 2015) visar att vattentemperaturen även på större djup kan stiga till uppåt 20°C på sommaren medan den är ca 4°C på vintern (exempel på uppmätta värden i Figur 6). Finns avbördning av vatten som rör om vattnet i närheten av konstruktionen så blir vattentemperaturen ganska lika mellan vattenytan och vid älvbotten.

Under sommaren värms dammens nedströmssida av lufttemperatur och solinstrålning och kan därvid uppnå betydligt högre temperatur än uppströmssidan. Detta leder till en termisk expansion av betongen på nedströmssidan, vilket ger upphov till ett moment och inre dragspänningar. Dessa kan ge upphov till sprickbildning eller spricktillväxt i stödpelaren.

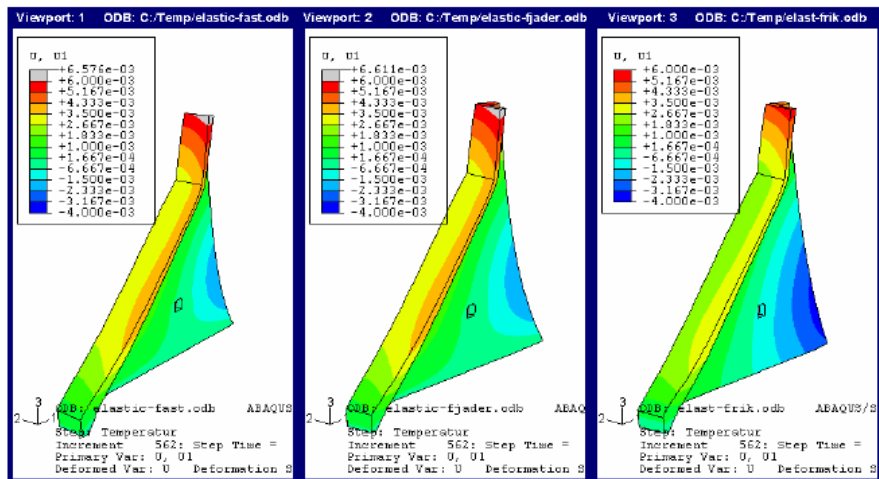
Situationen på vintern är den omvända; vattentemperaturen är relativt konstant (4°C under isen) och omgivningens temperatur är låg. Detta ger upphov till en termisk kontraktion av nedströmssidan, vilket kan orsaka dragspänningar och uppsprickning i frontplattan.



Figur 4. Principskiss av hur dammonoliten rör sig under sommaren och under vintern, från Ansell et al (2008).

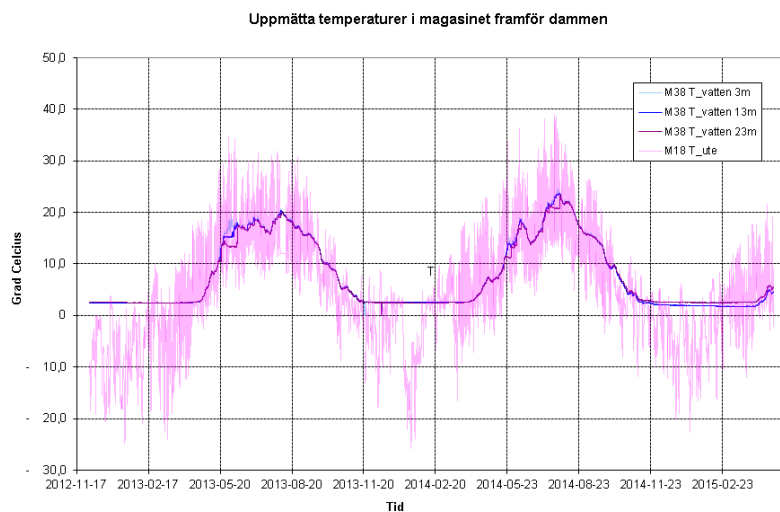


Figur 8.47 Förskjutningar i riktning 1 för egentygnd, vattenlast och sommartemperatur (m)



Figur 8.48 Förskjutningar i riktning 1 för egentygnd, vattenlast och vintertemperatur (m)

Figur 5. Förskjutningar för lamellmonolit under sommar och vinterförhållanden. Från Björnström et al (2006).



Figur 6. Exempel på uppmätta temperaturer på 3, 13 samt 23 m djup (grön, blå, lila) samt utomhustemperaturer (rosa).

Upprepade belastningar över tid kan leda till att sprickorna växer till och till slut går hela vägen från frontplatta till berg, från frontplatta via inspektionsgången till berg, eller från berg till nedströmssidan. Fotografiet i Figur 7 visar exempel på en konstruktion där detta inträffat.



Figur 7 Spricka i frontplatta (till vänster) och i stödpelaren (till höger).

Konsekvens av spricka

Grova genomgående sprickor av denna typ kan, om de har lång utsträckning, leda till att konstruktionen inte längre fungerar som en hel monolit, utan att den istället blir uppdelad i mindre delar som då var för sig måste klara att uppta och överföra belastningen till andra delar eller till berg, se exempel i Figur 8.

Allvarlighetsgraden av denna typ av spricka beror på sprickvidd, armering i pelarna och hur sprickan skär konstruktionen.

Vid en fördjupad inspektion finns sällan möjlighet att i detalj analysera hur en spricka påverkar konstruktionen och huruvida sprickan har orsakat uppsprickning i flera delar, eller om den har potential att göra det. Sprickor med någon av följande egenskaper kan vid inspektion bedömas vara allvarliga:

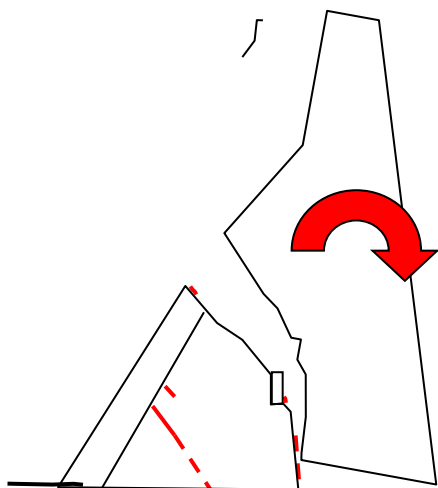
- Grova sprickor
- Sprickor som tillväxt sedan tidigare inspektion
- Sprickor som går hela vägen från uppströmssida-berg/från nedströms sida-berg.

Däremot kan sprickor med följande egenskaper förväntas vara mindre allvarliga

- Liten sprickvidd
- Konstant längd (ingen spricktillväxt sedan tidigare inspektioner)
- Av begränsad utbredning

Sprickor som bedöms vara allvarliga, eller ha potential att bli det bör alltid utredas vidare för att kontrollera hur de påverkar stabiliteten, vidare om detta i avsnitt 3.4.1. Denna typ av sprickor bör under alla omständigheter hållas under noggrann

uppsikt för att säkerställa att inte spricktillväxt sker, se avsnitt 3.5. Mindre allvarliga sprickor hålls under uppsikt vid inspektioner, lämpligen genom att följa rekommendationerna i avsnitt 4.



Figur 8. Principfigur av ett tänkt slutgiltigt brott i en lamelldammsmonolit.

Global felmod

Påverkar den dämmande förmågan.

Bedömt brottförlopp

Sprickor som har potential att dela en monolit i flera olika delar bedöms kunna leda till ett sprött och hastigt brottförlopp, beroende på mängd armering och sprickutseende/typ. Armering som korsar sprickan och upptar last har visserligen viss kapacitet till lastomfördelning och kan möjligen förväntas ge synbar deformation innan brott inträffar, men vid brottlast kan armeringen förväntas uppvisa progressivt brott där det svagaste/mest belastade järnet går av först vilket sedan leder till att övriga också går av. Detta kan förväntas vara ett snabbt förlopp när det väl startar.

Det ska tilläggas att armeringsmängden i de flesta betongdammar är relativt liten och motsvarar inte alls betongens kraftupptagande förmåga. Om betongen spricker får armeringen ta över mer last än vad den teoretiskt klarar av. En gynnsam faktor som hjälper till är mothållande krafter i sprickplanet av friktionskrafter, men då får inte sprickan vara för vid, max ca 1-2 mm (Reinius, 1962), annars försvinner friktionskraften.

Rekommendation för denna skadetyper

I första hand bör analys göras av för att säkerställa tillräcklig stabilitet. Detta görs lämpligen i olika steg, som beskrivs närmare i 3.4.1.

För sprickor som orsakats av temperaturrelaterade rörelser kan sprickutvecklingen förväntas fortsätta och i många fall till och med accelerera. Det är därför nödvändigt med åtgärder. Åtgärderna varierar med graden av uppsprickning.

I första skedet är det viktigt att hålla spricktillväxten under uppsikt. Detta kan göras genom sprickkartering, varvid sprickorna noggrant ritas in och sprickvidder dokumenteras. Ofta är det bra att även rita in uppskattat sprickslut direkt på

konstruktionen. Vid efterföljande kontroller är det då enkelt att kontrollera om spricktillväxt skett. Konstruktionernas storlek och svårigheten att komma nära ytan gör det ofta praktiskt svårt att kartera sprickorna och märka ut sprickslut. Beroende på väderlek kan sprickor vara olika svåra att se vid efterföljande inspektioner.

För sprickbildning som initialt bedöms ha potential att påverka konstruktionens funktion negativt bör en modell upprättas (lämpligen Finit Element modell) där sprickorsak och möjlig spricktillväxt kan analyseras. Sprickor kan även instrumenteras (t.ex. med sprickgivare och/eller pendel). Genom temperaturmätning på olika positioner i konstruktionen och i omgivning och vatten kan FE-modeller också förbättras.

Om sprickbildning vid FE-analys bedöms ha påverkan på konstruktionens stabilitet, eller i fall där fortsatt spricktillväxt konstateras, är det nödvändigt att vidta åtgärder. Den viktigaste är att orsaken till spricktillväxten åtgärdas. Ofta är det då lämpligt att sätta en klimatvägg på dammens nedströmssida. Innan en klimatvägg installeras är det mycket viktigt att genomföra analys av klimatväggens effekt på temperaturfördelning och förväntad spänningsfördelning. En olämpligt installerad klimatvägg kan förvärra skador eller i värsta fall orsaka andra skador.

En kraftigt sprucken konstruktion kan behöva förstärkas med hjälp av spännstag för att säkerställa att stabilitet och kraftöverföring fungerar som avsett. I fall där klimatvägg inte kan installeras kan spännstag ofta användas istället. Analys av installation av spännstag bör även det studeras noga innan utförande.

För en konstruktion där sprickorsaken avlägsnats och där vidare spricktillväxt stoppats kan även åtgärder behövas för själva sprickan. Även för konstruktioner där andra åtgärder inte bedömts vara nödvändiga kan sprickan behöva åtgärdas. Som exempel när åtgärder för sprickan behövs kan nämnas fall med grova sprickor som lämnar armeringen oskyddad eller ge mindre skydd än avsett. Åtgärden på själva sprickan har då i syfte att förbättra beständigheten. I SS-EN 1992 finns anvisningar för begränsning av sprickvidd vid dimensionering. Betong för vattenkraftandamål hamnar i exponeringsklass XC2 eller XC4 (ibland XC1) varvid sprickvidd på 0,3 - 0,45 mm kan tillåtas. Undantagsvis utsätts dammar även för saltvatten, t.ex. tösalter från vägbana som löper över bron eller havsvatten om anläggningen är i havsnivå. Dammen får då även en exponeringsklass med avseende på kloridinitierad armeringskorrosion och sprickvidder på 0,15-0,2 mm. Motsvarande sprickvidder ges också i Svenska betongföreningens rapport (1994).

Olika lagningsmetoder kan komma i fråga, t.ex. injektering eller avverkning (vanligtvis bilning) och igengjutning, ytlagning (t.ex. Chesterton) mer om detta i Betongreparation.se. Cementbaserade lagningsmetoder är att föredra för grova sprickor då armeringen då återfår ett skyddande cementlager. Ytlagningar är mer aktuella för t.ex. nötningsskador eller finare sprickor. Det kan inte nog understrykas vikten av att sprickorsaken identifieras och åtgärdats innan sprickan lagas. Om det fenomen som orsakat sprickan kvarstår kan sprickan i de flesta fall förväntas återkomma med tiden. I relation till detta bör sprickor/spruckna områden inte täckas med eventuell ytlagning innan spricktillväxten konstaterats ha upphört, detta eftersom en täckt spricka då inte går att följa.

3.3.2 Sprickor kring lucklager

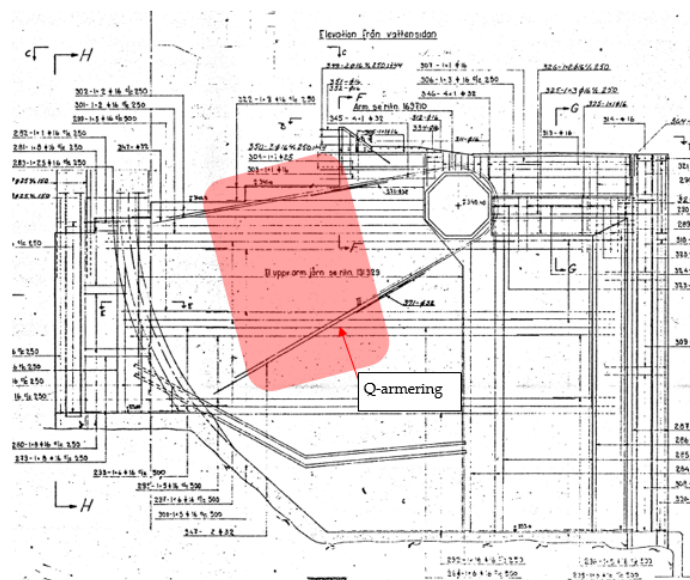
Beskrivning och huvudsaklig uppkomst

Liksom för sneda sprickor i pelare/lamellkonstruktioner bedöms huvudsaklig grundorsak till initiering av sprickor *kring lucklager* (nummer 2 i Figur 2) vara tvång från gjutningen på grund av förhindrad rörelse under avsvälningsskedet, se mer i 3.3.1. Dessa sprickor kan förvärras genom temperaturrörelser och last från luckan. Sprickor vid lucklager bedöms inte i någon större utsträckning vara orsakade av överlaster på luckorna, även om denna orsak inte fullständigt kan uteslutas.

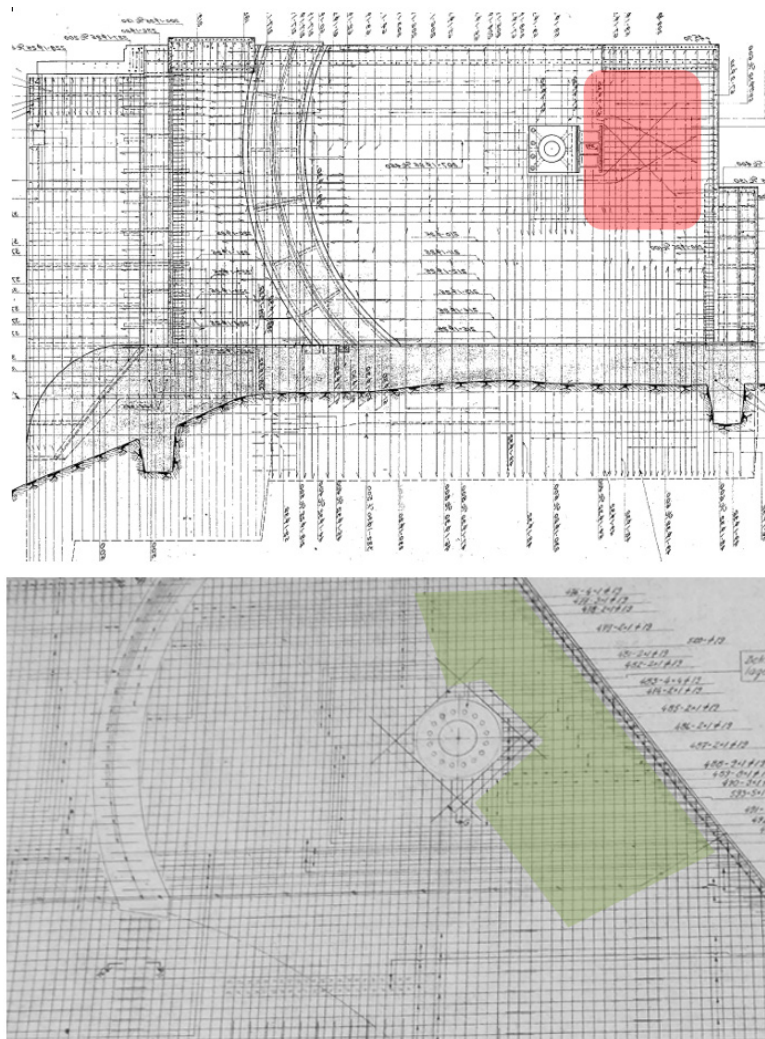
Konsekvenser av spricka

Sprickor i utskovspelare kan ha inverkan på lucklagrets infästning, beroende på hur armeringen kring lucklagret är utformad och hur sprickorna är lokaliserade. De vanligaste armeringstyperna är rutnätsarmering, men även Q-armering som bakåtförankrats förekommer (Q-armering läggs som ett stort U runt lagret och förankras uppströms åt, se Figur 9). Beroende på spricklokalisering och armeringsutformning kan konsekvensen i värsta fall bli att armeringens förankring förloras och att kraftöverföringen därmed inte fungerar som avsett, alternativt överbelastning av armeringsjärn. Detta kan då leda till att lucklagret förskjuts ur sitt läge och att möjligheten till avbördning uteblir. Det kan även leda till att luckan inte längre hålls på plats och att ett okontrollerat utflöde sker genom luckan.

Konsekvenserna av en spricka beror således på sprickans läge i relation till den aktuella armeringstypen, men kan sammanfattas med att om sprickan/sprickorna är lokaliserade i armeringens förankringszon kan de vara allvarliga. För Q armering innebär detta att vertikala/sneda sprickor/skador uppströms om lucklagret kan vara allvarliga. För rutnätsarmering är det framförallt sprickor i nära anslutning till, särskilt nedströms om, lagret som kan ha negativ påverkan. Zoner där sprickor kan ha negativ effekt har indikerats på armeringsritningar nedan, Figur 9 visar Q-armering och Figur 10 visar rutnätsarmering.



Figur 9. Q-armering vid lucklager.

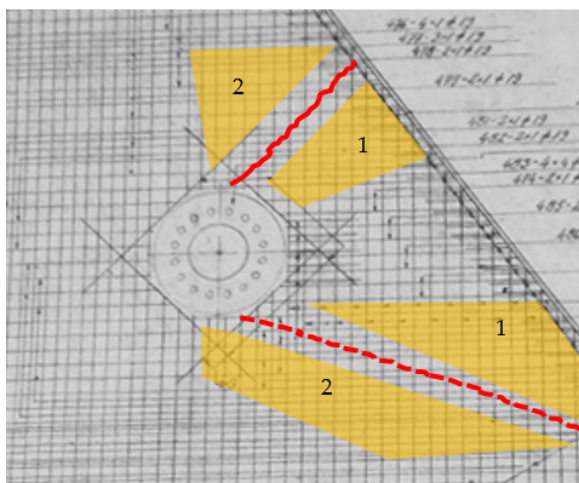


Figur 10. Rutnätsarmering vid lucklager.

Sprickor som går hela vägen från lucklager till nedströmssidan (vid rutnätsarmering, se exempel i Figur 11 nedan) kan göra att

- Armeringen ovanför och under lagret får otillräcklig förankring i område 1 och "dras ut" när betongklossen rör sig nedströms åt,
- Armeringen får otillräcklig förankring bakåt och dras ur där (område 2)

Liksom sneda sprickor i pelare är sprickans egenskaper viktiga för sprickans effekt (se 3.3.1 för vilka sprickor som potentiellt kan vara allvarliga). En genomgående spricka (som syns på båda sidor av pelaren) är allvarligare än en icke genomgående, men även icke genomgående sprickor kan vara allvarliga om de går djupare än armeringen.



Figur 11. Exempel på allvarliga sprickor för rutnätsarmering.

Global felmod

Påverkar såväl den dämmande som den avbördande förmågan.

Bedömt brottförlopp

Sprickor som har potential att påverka armeringen kring lucklagret bedöms kunna leda till ett sprött och hastigt brottförlopp. Armering som korsar sprickan och upptar last har visserligen viss kapacitet till lastomfördelning och kan möjligen förväntas ge synbar deformation innan brott inträffar, men vid brottlast kan armeringen förväntas uppvisa progressivt brott där det svagaste/mest belastade järnet går av först vilket sedan leder till att övriga också går av. Detta kan förväntas vara ett snabbt förlopp när det väl startar.

Rekommendation för denna skadetyp

I första hand bör analys göras av för att säkerställa tillräcklig förmåga att överföra lucklast. Detta görs lämpligen i olika steg, som beskrivs närmare i avsnitt 3.4.2.

Som beskrivet i avsnitt 3.3.1 kan sprickutvecklingen för sprickor som orsakats av temperaturrelaterade rörelser förväntas fortsätta och i många fall till och med accelerera. Det är därför nödvändigt med åtgärder. Åtgärderna varierar med graden av uppsprickning.

I första skedet är det viktigt att hålla spricktillväxten under uppsikt. Detta kan göras genom sprickkartering, varvid sprickorna noggrant ritas in och sprickvidder dokumenteras. Ofta är det bra att även rita in uppskattat sprickslut direkt på konstruktionen. Vid efterföljande kontroller är det då enkelt att kontrollera om spricktillväxt skett. För sprickbildning som initialt bedöms ha potential att påverka konstruktionens funktion negativt bör en modell upprättas. Det kan vara en Finit Element-modell eller en enklare stelkroppsmodell där armeringen i lagrets omgivning kan läggas in och möjliga konsekvenser kan analyseras. I en Finit Elementmodell kan som beskrivet i avsnitt 3.3.1 även spricktillväxt analyseras. Sprickor kan även instrumenteras (t.ex. med sprickgivare).

Om sprickbildning vid analys bedöms ha påverkan på konstruktionens förmåga att överföra lucklasterna, eller i fall där fortsatt spricktillväxt konstateras, är det nödvändigt att vidta åtgärder. Att åtgärda spricktillväxt är ofta svårare för utskovspelare, där det inte är möjligt att installera någon klimatvägg.

Då spricktillväxt inte sker, eller då sprickan inte har någon direkt strukturell påverkan kan åtgärder behövas för själva sprickan, se mer i 3.3.1.

3.3.3 Horisontella sprickor i pelaren

Beskrivning och huvudsaklig uppkomst

Horisontella sprickor i pelarna (nummer 3 i Figur 1 och Figur 2.), är ofta orsakade av dåligt utförd gjutning där gjutfogen blivit en försvagning i konstruktionen. Figur 12 visar en horisontell spricka i en utskovspelare.



Figur 12. Exempel på horisontell spricka i utskovspelare.

Konsekvens av spricka

Liksom för sneda sprickor kan denna typ av spricka göra att konstruktionen inte överför laster på avsett sätt och därmed blir uppdelad i flera delar. Grova gjutskador bör utredas på liknande sätt som sneda sprickor i pelaren.

Global felmod

Påverkar den dämmande förmågan.

Bedömt brottförlopp

Se 3.3.1.

Rekommendation för denna skadetyyp

Se 3.3.1.

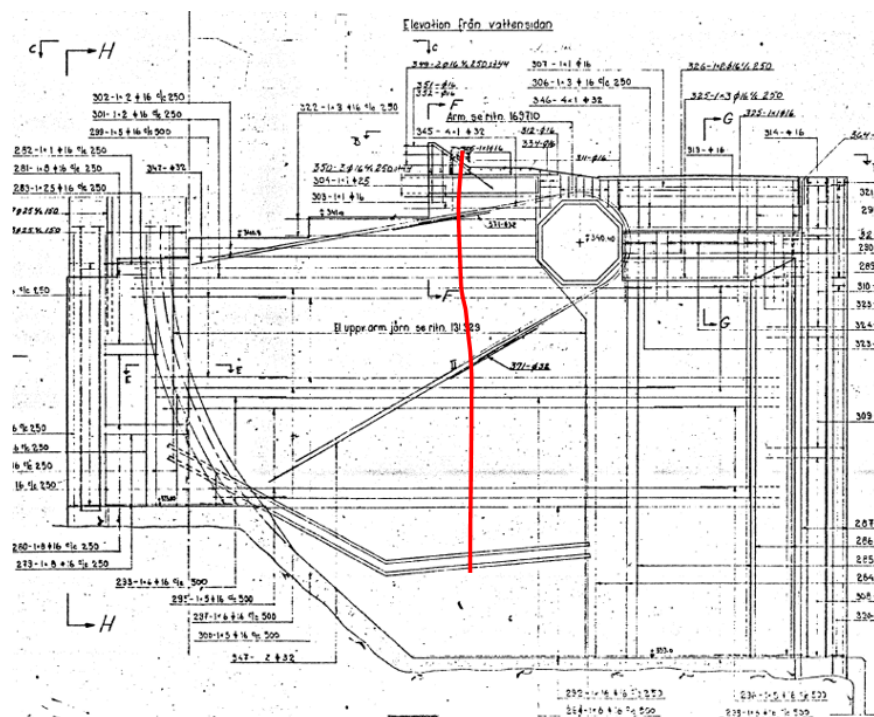
3.3.4 Vertikala sprickor i pelare

Beskrivning och huvudsaklig uppkomst

Vertikala sprickor i pelare (nummer 4 i Figur 1 och Figur 2) initieras även ofta till följd av avsvälning och uppkommer vanligen ganska snart efter konstruktionens färdigställande.

Konsekvens av spricka

Denna typ av spricka kan vara allvarlig om den är lokaliserad så att den påverkar konstruktionens förmåga att överföra laster från lucklager till betongkonstruktion, t.ex. för att den korsar Q-armeringens eller rutnätsarmeringens förankring (se exempel i Figur 13 nedan). För att bedöma detta behövs kunskap om armeringens uppbyggnad kring lucklagret, se diskussionen i 3.3.2. Liksom för tidigare diskuterade spricktyper kan den även riskera att dela konstruktionen i flera separata delar, se diskussionen i 3.3.1.



Figur 13. Q-armering vid lucklager.

Global felmod

Påverkar den dämmande eller den avbördande förmågan, beroende på läge för skadan.

Bedömt brottförlopp

Se 3.3.1.

Rekommendation för denna skadetyper

Se 3.3.1 och 3.3.2.

3.3.5 Sneda sprickor i pelarens nedströmskant

Beskrivning och huvudsaklig uppkomst

Sprickor i pelarens nedströmskant (nummer 5 i Figur 1 och Figur 2) är även de troligen tvångssprickor som uppkommit antingen i avsvälningsskedet eller på grund av temperaturrörelser senare under dammens användning.



Figur 14. Spricka i dammtån av en utskovspelare.

Konsekvens av spricka

Se 3.3.1. Denna typ av spricka kan, förutom risken att konstruktionen delas upp i flera delar, påverka den globala stabiliteten genom att stjälpunkten flyttas längre uppströms vilket ger en lägre stjälp säkerhet.

Global felmod

Påverkar den dämmande förmågan.

Bedömt brottförlopp

Se 3.3.1.

Rekommendation för denna skadetyper

Se 3.3.1.

3.3.6 Horisontella sprickor i frontplattan

Beskrivning och huvudsaklig uppkomst

Horisontella sprickor i frontplattan (nummer 6 i Figur 1) på en lamellkonstruktion bedöms även dessa i första hand ha sin uppkomst under avsvälningsskedet, även om de även kan uppkomma på grund av temperaturrörelser i ett senare skede. De kan förvärras av temperaturrörelser och syns ibland fortsätta in i pelaren.



Figur 15. Horisontell spricka i frontplattan. A) endast i frontplatta. B) fortsätter in i pelaren.

Konsekvens av spricka

Sprickor som endast uppträder i frontplattan kan vara orsakade av dåligt gjuten betong i gjutpallar. De är mindre allvarliga för dammens globala beteende och stabilitet. Denna typ av sprickor kan däremot påverka frontplattans beständighet då ett fortgående läckage kan leda till urlakning lokalt och även öka risk för att andra typer av skador uppkommer, t.ex. frost och islinser.

Förekommer dock även sneda sprickor i stödjande dammpelare som en förlängning av sprickorna i frontplattan kan detta vara ett tecken på för stora vertikala dragspänningar i uppströmsdelen av monoliten och vara betydligt allvarligare. Sådana sprickor kan inverkan menligt på stabiliteten.

Sprickornas betydelse varierar beroende på om lammelldammen är av s.k. Ambursentyp eller ej. Ambursendammen har frontplatta fritt upplagd på pelarna och har därför den horisontella kraftarmeringen på frontplattans nedströmssida. Kraftarmeringen i en "klassisk" lamelldamm (pelare med fast inspänd frontplatta) har sin horisontella kraftarmering på uppströmssidan.

Enligt Svenska betongföreningen (1994) bör inte sprickor som medför vattenläckage tillåtas för konstruktioner som varaktigt utsätts för högre ensidigt vattentryck, pga. viss osäkerhet beträffande möjlighet till självläkning, risk för sekundära skador och svårigheter att beständigt täta sådana sprickor. Sjävläkning är en process som innebär att lösliga ämnen avsätts inuti betongen vid vattnets avdunstning eller till följd av en kemisk reaktion. Förmågan till självläkning beror på cementtyp och Portlandcement är gynnsamt ur denna aspekt, trots att kalkurläkning lättare lakar ur.

En negativ aspekt vid självläkning är dock att när den upplösta kalciumhydroxiden rör sig genom sprickan och ut på nedströmssidan och där möter luftens koldioxid så bildas kalkstensridåer, som dels är estetiskt fula, men framförallt täpper till sprickan vid utloppet och höjder därmed fukthalten i betongen. Om ns-sidan samtidigt är utsatt för kyla kan frostsador lättare bildas.

Sprickor som fortsätter in i pelaren kan, om de blir genomgående, på samma sätt som tidigare beskrivet ge upphov till en mekanism då monoliten delas upp i separerade delar.

Global felmod

Påverkar den dämmande förmågan.

Bedömt brottförlopp

Denna skadetyper kan förväntas ha ett segt brottförlopp, om tillräcklig vertikal armering finns i frontplattan, där skadeutvecklingen är vara tydlig och i första hand leder till ett lokalt brott eller lokal utströmning av vatten. Är armeringen otillräcklig kan sprickorna växa och även sprida sig till stödpelaren, se ovan.

Rekommendation för denna skadetyper

En spricka som inte uppvisar läckage kan i första hand hållas under uppsikt. Förekommer köldgrader bör frontplattan värmeisoleras.

Vid större läckage eller om följdskador uppkommer behövs mer omfattande åtgärder och då är det framförallt åtgärder på uppströmssidan som är aktuellt för att minska/stoppa läckaget (t.ex. injektering, tätning, betonglagning på uppströmssidan med hjälp av dykare eller torrläggning).

Vid mycket tunna frontplattor och läckande sprickor kan det vara nödvändigt att i detalj studera urlakningens effekter över tid, varvid en urlakningsanalys kan utföras.

3.3.7 Frostsador och islinser i frontplattan

Beskrivning och huvudsaklig uppkomst

Frostsador (nummer 7 i Figur 1) kan uppkomma på frontplattan, särskilt då den är tunn och oisolerad. För tunna frontplattor kan även uppstå ett fenomen kallat "*makroskopiska islinser*". Islinsbildning påminner om tjälskjutning i jord som kan orsaka bulor i vägar vintertid. Förutsättningar för islinstillväxt är att det uppstår en temperaturfördelning i betongen så att vattnets fryspunkt inträffar en bit in i betongkonstruktionen. Betongen måste ha tillräckligt hög permeabilitet för att islinsen ska ha vattentillförsel (antingen pga. hög permeabilitet i betongen, eller i sprickor). Läget för fryspunkten måste sedan vara konstant tillräckligt länge för att vatten ska hinna frysa till. Under dessa förutsättningar kan alltså en "islins" bildas och orsaka lokal sönderfrysning av betongen, ibland kan utbredningen av denna skadetyp uppgå till ett par kvadratmeter (Persson & Rosenqvist, 2009).

Försök har visat att det vid oskadad betong krävs högt vct för att islinsbildning ska ske, medan det för betongprover med inre frostsador eller försvagningar även kan ske vid låga vct, även om tillväxthastigheten då är lägre (Rosenqvist, 2014).

Islinser är mycket svår att upptäcka då den inträffar på uppströmssidan under vattenlinjen och i praktiken endast går att se på dykbesiktning. Frostsador på nedströmssidan kan dock indikera att betongens beständighet lokalt är nedsatt, vilket kan vara en indikation på att skador även kan finnas på uppströmssidan.

Islinsbildning i betongdammar är emellertid att betrakta som ovanlig för homogena betongkroppar. Anläggningsbetong för vattenkraftändamål är i allmänhet att betrakta som väl sammansatt och vattentät.

Konsekvens av skada

Vid omfattande och långt gånge nedbrytning riskerar dammen att få ett genomgående hål vilket gör att den lokalt förlorar sin dämmande förmåga. Det mindre troligt att detta momentant orsakar omfattande dammbrott, men kraftigt läckage skulle kunna ge upphov till bergerosion och försämrade stabilitetsförhållanden för lamellmonoliten, vilket i sin tur kan ge dammbrott.

Global felmod

Påverkar den dämmande förmågan.

Bedömt brottförlopp

Denna skadetyp kan förväntas ha ett relativt sprött beteende när väl brottet inträffar. En seghet finns dock i och med att det ofta är en lång process innan skadan utvecklas tillräckligt för att ge ett brott, men det är å andra sidan svårt att upptäcka att skadeutvecklingen pågår eftersom den är under vattenytan.

Rekommendation för denna skadetyyp

Tunna, oisolerade konstruktioner kan betraktas som riskkonstruktioner. Med tunn menas i detta avseende en konstruktion där kylan går igenom konstruktionen.

Om misstankar finns att islinnsbildning eller frostsador förekommer på uppströmssidan bör dykbesiktning utföras där betongens skick på uppströmssidan kontrolleras.

Då frostsador identifierats på nedströmssidan bör det utföras betongprover för att säkerställa att skademekanismen är frost och inte ASR som kan ge liknande skadebild.

För att komma tillrätta med problemet krävs omfattande lagning på uppströmssidan där befintlig betong avlägsnas och en ny tät betong gjuts. Ytterligare åtgärder, för att förhindra att problemet återkommer är att isolera konstruktionen på nedströmssidan med en klimativägg.

3.3.8 Frost/ASR kring lucklager eller i lucklagerarmeringens förankringszon*Beskrivning och huvudsaklig uppkomst*

Frost/ASR är ibland förekommande på utskovspelare och är då potentiellt allvarligt om det inträffar *kring lucklager eller i lucklagerarmeringens förankringszon* (nummer 8 i Figur 2). Vid en fördjupad inspektion är det ofta inte möjligt att säkert bedöma huruvida denna uppkommit till följd av Alkali-silika reaktion (ASR) eller till följd av frost.

Konsekvens av skada

Som tidigare diskuterat (se avsnitt 3.3.2) är sprickor och skador i förankringszonen för lucklagrets armering allvarliga. Detta gäller naturligtvis även om skadorna är orsakade av frost/ASR.

Global felmod

Kan påverka såväl den dämmande som den avbördande förmågan.

Bedömt brottförlopp

Skador som har potential att påverka armeringen kring lucklagret bedöms kunna leda till ett sprött och hastigt brottförlopp. Omfattande skador bör dock vara möjliga att okulärt konstatera innan beständigheten är så nedsatt att brott faktiskt inträffar.

Rekommendation för denna skadetyyp

Om skador noteras i området kring lucklager eller i lucklagerarmeringens förankringszon bör noggrannare utredning av skadeorsak och konsekvens utföras.

Omfattande skador av denna typ är nödvändiga att åtgärda genom att bila ur och gjuta ny betong. Det är nödvändigt att säkerställa att orsak till skadan åtgärdas; otillräcklig frostbeständighet, reaktiv ballast/vattentillförsel mm, samt att det säkerställs att åtgärden är tillräckligt omfattande för att komma tillrätta med

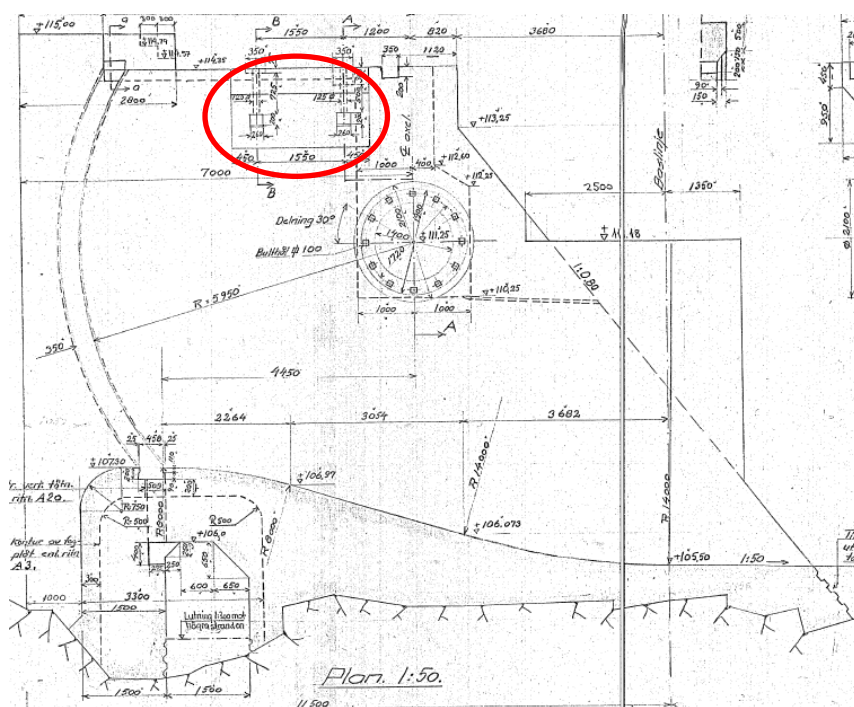
problemet. Mer information om detta kan hittas i t.ex. REHABCON, CONTECVET eller betongreparation.se.

Även för mindre omfattande skador kan det vara bra att göra provtagning och analys för att förstå skadeorsak och möjliggöra prediktering av kommande åtgärdsbehov.

3.3.9 Frost/ASR i kuggspelskonsoller

Beskrivning och huvudsaklig uppkomst

För många anläggningar förekommer kuggspelskonsoller på vilken kuggspelen eller andra mekaniska delar vilar, se Figur 16 - Figur 18. Ibland syns mer eller mindre omfattande krackelering som tyder på frost/ASR i kuggspelskonsoller (nummer 9 i Figur 2). Vid en fördjupad inspektion är det ofta inte möjligt att säkert bedöma huruvida denna uppkommit till följd av Alkali-silika reaktion (ASR) eller till följd av frost samt hur omfattande skadan är.



Figur 16. Exempel på kuggspelskonsoll.



Figur 17. Exempel på kuggspelskonsoll med viss sprickbildning.



Figur 18. Exempel på kuggspelskonsoll med viss sprickbildning.

Konsekvens av skada

Kuggspelsbocken ska överföra kraften som krävs för lucköppning (luckans tyngd + sugkrafter mm) till pelaren. Om kuggspelsbockens bärförmåga på grund av skador är nedsatt kan det ge upphov till ett lokalt brott vilket i sin tur kan leda till att luckan drar snett. Fullständigt brott av en kuggspelsbock skulle leda till att luckan blir obrukbar med befintligt spelmaskineri.

Global felmod

Kan påverka den avbördande förmågan.

Bedömt brottförlopp

Skador av denna typ bedöms vara okulärt synliga och relativt omfattande innan brott inträffar. Själva brottförloppet kan förväntas vara sprött och inträffa hastigt, troligen i samband med lucköppning.

Rekommendation för denna skadetyyp

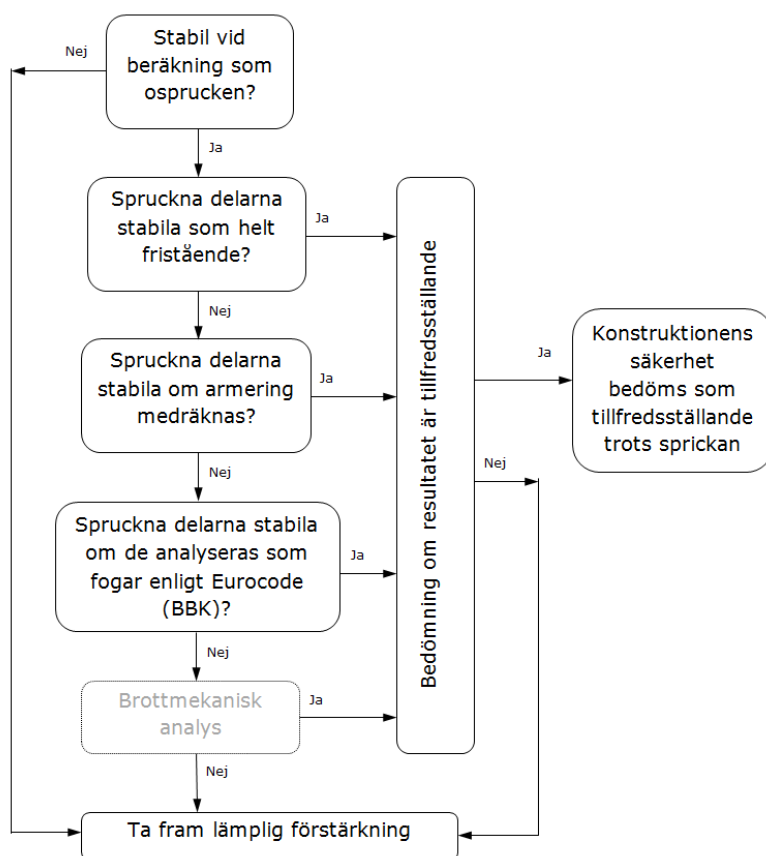
Skadeorsak (frost/ASR) samt omfattning kontrolleras genom betongprovtagning och laboratorieanalys. Beroende på resultat vidtas lämplig åtgärd (t.ex. bortbilning och nygjutning, försegling så att regnvatten inte kan tränga ner i konstruktionsdelen).

3.4 ANALYS AV SPRICKORNAS INVERKAN

3.4.1 Analys av uppsprucken pelare

Då potentiellt allvarliga sprickor konstaterats i pelare/lameller behöver, som beskrivet i 3.3.1, en noggrann analys göras för att säkerställa att stabiliteten är tillräcklig. Denna analys ryms normalt inte i en fördjupad inspektion.

Detta görs lämpligen enligt flödesschema i Figur 19, med kortare beskrivning av varterna steget nedan.



Figur 19. Flödesschema för analys av uppsprucken pelare.

Stabil vid beräkning som osprucken: Global stabilitet för konstruktionen i osprucket tillstånd kontrolleras då detta är en förutsättning för att konstruktionen ska anses tillräckligt säker.

Spruckna delarna stabila som helt fristående: konstruktionen antas vara fullständigt uppsprucken i det mönster som sprickorna utgör/som sprickornas tänkta förlängning indikerar. Sedan analyseras de spruckna delarna var för sig (armering mellan delarna antas ej vara verksam) avseende stabilitet för att se om stabilitetsvillkor uppfylls.

Spruckna delarna stabila om armering medräknas: Som tidigare, men armeringen i sprickorna antas vara verksam.

Spruckna delarna stabila om de analyseras som fogar enligt SS-EN 1992: Tvärkraftöverföringen skattas enligt SS-EN 1992 avsnitt 6.2.5 beroende på armeringsmängd, råhet, mm och det kontrolleras om kapaciteten då är tillräcklig.

Brottmekanisk analys är nästa detaljnivå som kan användas. Sådana analyser är värdefulla för att hitta orsaken till sprickorna, men de är sällan praktiskt tillämpbara vid en uttalad säkerhetsbedömning, pga. osäkerheter i en mängd olika parametrar.

Då stabilitet uppnås är det nödvändigt att bedöma om resultatet är tillfredsställande. Av olika skäl (t.ex.. framtida beständighet, utseende eller annat) kan det ändå vara nödvändigt att vidta åtgärder/förstärka. Det kan även i sådana fall vara möjligt att övervaka för att säkerställa att vidare sprickutveckling ej sker, se även avsnitt 3.5.

3.4.2 Analys av sprickor kring lucklager

Då potentiellt allvarliga sprickor påträffats i lucklagrets närhet behöver, som beskrivet i 3.3.2, en noggrann analys göras för att säkerställa att den lastupptagande förmågan är tillräcklig.

Följande analysmetodik kan användas:

1. Kontroll av armeringens utformning på ritning.
2. Beräkning av erforderlig förankringslängd baserat på armeringstyp, armeringskvalitet, betongkvalitet.
3. Kontroll av vilka armeringsjärn som påverkas av sprickan
4. Kontroll av kvarvarande lastbärande förmåga jämfört med verkande laster
5. Känslighetsanalys – hur påverkas lucklagret och armeringen av ytterligare sprickbildning.

3.5 ÖVERVAKNING AV SPRICKOR

Sprickor i betongdammar ska alltid övervakas på något sätt. I fall då sprickbildningen är av liten omfattning kan det vara tillräckligt med okulär övervakning. Vid mer omfattande sprickor eller då spricktillväxt misstänks kan fast monterad dammätning vara nödvändig.

För vissa typer av sprickor kan förstörande prover i form av betongprovtagning vara nödvändig för att förstå orsak, omfattning och även för att följa sprickutvecklingen.

Det ska tilläggas att om det uppenbart från beräkningar visar att dammen är på väg att bli instabil bör fortsatt sprickbildning reduceras, t.ex. genom värmeisolering om det rör sig om temperaturrelaterade sprickor. Om dammen bedöms vara instabil bör den även förstärkas, t.ex. med spännstag. Framtagande av övervakning bör alltid föregås av analys av sprickor och deras möjliga konsekvens.

Nedan följer en kort sammanfattning av olika typer av möjliga övervakningsstrategier och givare.

3.5.1 Okulär övervakning

Då sprickbildningen bedöms vara av liten omfattning, eller då goda skäl finns att tro att sprickorna uppkommit under byggtiden kan okulär övervakning vara tillräcklig.

Det är då nödvändigt att sprickornas omfattning redovisas på ett systematiskt vis, t.ex. med kronologisk fotografering och sprickkartering, för att möjliggöra uppföljning och för att eventuell spricktillväxt ska kunna upptäckas. Rekommendation kring redovisning av identifierade sprickor visas i avsnitt 4.4.

Uppföljning av okulär övervakning görs lämpligen vid fördjupad inspektion om inte spricktillväxten bedöms vara sådan att tätare uppföljning är nödvändig.

3.5.2 Mätning

Ofta är det svårt att okulärt följa en sprickutveckling och då spricktillväxt misstänks eller om sprickorna är mer omfattande kan en fast dammätning vara bättre att montera.

Mätvärden bör stämmas av mot en mer eller mindre avancerad modell.

För att följa sprickors beteende kan sprickgivare sättas tvärs eller längs en spricka. För att tankemässigt kunna förstå de värden är det dock oftast nödvändigt att använda en beräkningsmodell som ger förväntade värden. Då sprickor ofta beror på varierande temperatur hos betongen är det då lämpligt att även montera temperaturgivare och då i luften, i vattnet och i betongen, för att kunna beräkna de förväntade rörelserna i dammen. Är beräkningsmodellen så avancerad att den även innehåller t.ex. en plastisk skadmodell där sprickor med utseende och läge som i verkligheten beräkningsmässigt har erhållits kan denna modell ännu bättre ge förväntade värden på sprickornas rörelser. Att även mäta krönets rörelse, t.ex. med en pendel kan ge bra information kring om deformationerna är ökande eller konstanta.

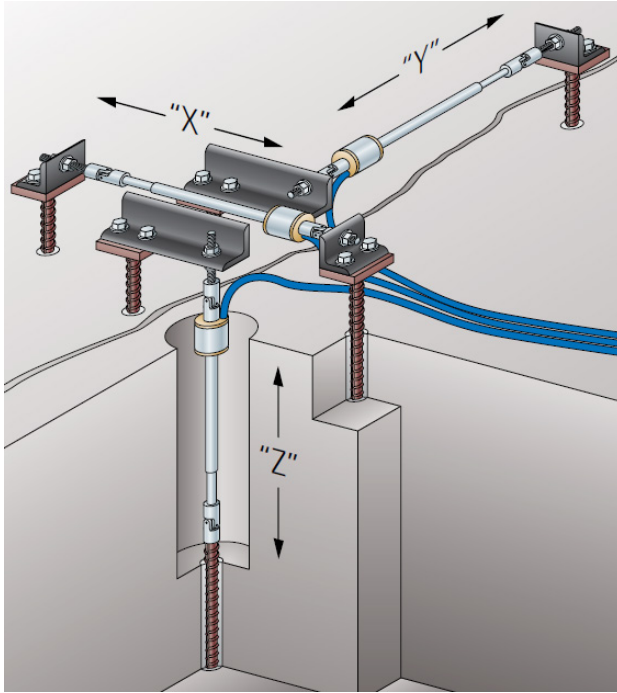
För att en mätkampanj ska resultera i användbart resultat behöver syftet med mätningen, mätfrekvens, mätintervall samt utvärderingsintervall definieras. Helst bör detta göras innan mätningen installeras för att givarna ska placeras på rätt sätt och för att mätvärden ska vara möjliga att följa/följa upp på ett sådant sätt att utdata blir användbara.

Nedan följer en kort sammanfattning av olika typer av vanliga givare, observera att en mängd ytterligare givare för olika ändamål finns, se t.ex. CEATI (2012).

Sprickgivare

Sprickgivare placeras tvärs eller längs en spricka och mäter förskjutningar.

Exempel på sprickgivare visas i Figur 20.



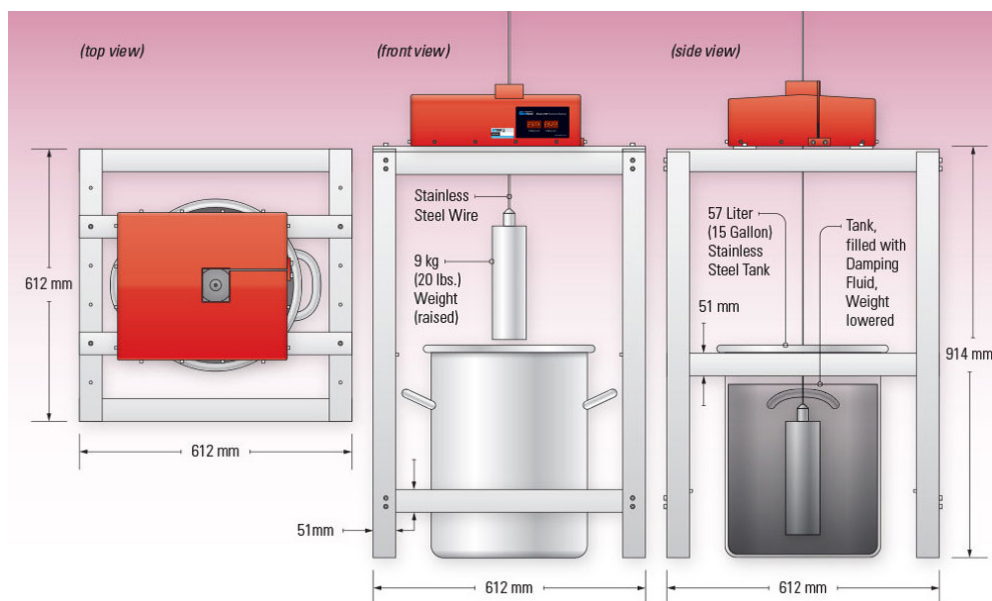
Figur 20. Exempel på sprickgivare (här Geokon 4400). I detta fall mäts deformationer i samtliga X, Y och Z-led.

Temperaturgivare

Mäter temperatur i t.ex.. vatten, luft eller betong.

Pendel

För att mäta krönrörelser kan pendel kan utplaceras. En vajer sätts i en upphängningsbygel i vägg eller tak (t.ex.. i frontväggen på en lamellmonolit, i taket eller i ett borrhål). Pendeln mäter sedan relativa rörelser i x- och y-led.



Figur 21. Exempel på pendel (uppifrån, framifrån med vikten upphissad, från sidan med vikten nerhissad) (här Geokon Pendulum).

Övriga

Listan ovanför är inte komplett, andra givare som kan vara användbara är t.ex. extensiometer (mäter längdförändring), piezometer (mäter tryck, t.ex. vattentryck), inklinometer eller liknande (lutning), mm.

Utvärdering av mätning

Utvärdering av mätvärden görs med det utvärderingsintervall som bestämts i samband med att givaren installerades. Beroende på sprickornas omfattning och uppskattad spricktillväxt kan detta variera. Grundtanken bör dock vara att om givare installeras har de ett syfte och då ska de utvärderas (minst) i samband med fördjupade inspektioner.

3.5.3 Förstörande provning

Det kan i vissa fall vara nödvändigt med förstörande provning genom betongprovtagning för att fastställa orsak eller omfattning av en skada. Förstörande provning kan inte direkt räknas som en övervakningsmetod. Det kan dock finnas fall då en skadas omfattning fastställts och där vidare provning kan användas för att kontrollera hur/om skadeutveckling sker samt prediktera framtida åtgärdsbehov.

För frostsador och ASR är det ofta nödvändigt med laboratorieanalys för att fastställa skadeorsak.

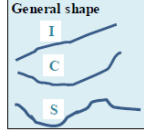
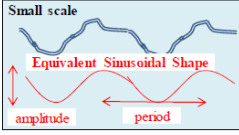
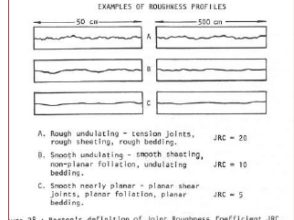
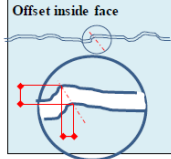
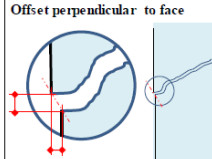
4 Förslag på redovisning vid fördjupad inspektion

Tidigare nämnd CEATI-rapport (2014) sammanfattar information som anses nödvändig för vidare analys av sprickor och som därvid bör inhämtas vid inspektioner. Deras rekommendation är att observationer av sprickor eller andra nedbrytningsmekanismer ska leda till detaljerad sprickinspektion som inkluderar kategoriserade observationer som följs upp vid senare inspektioner. Förslaget är att kategorisera samtliga observerade sprickor enligt tabellen som visas i Figur 22.

Table 3-1. Guide for characterizing and documenting observations at cracks.

Notes should be taken in each of the following categories to serve as reference descriptors for future observations, and in conjunction with the inspection sheet provided in Appendix A.

Applicable to a crack visible along the face of a non-reinforced concrete mass

Localization isolated in the concrete mass along a construction joint ending on a block side / joint ending at a block angle	Code I J S A	Comments	Localization 
General shape developed length straight / curved shape maximum opening opening variation orthotropy small scale shape, amplitude small scale shape, period smoothness	Units m I, C, S mm mm/m % mm mm mm	Comments straight, curve one side, S-shape indicates a virtual rotation center in % from 0 (straight) to 100% (stepped) first sinusoidal shape approximation second sinusoidal shape approximation use Barton models (at right)	General shape  Small scale 
Local shape parameters at each point) opening orientation / surface orientation / vertical or reference offset inside face offset perpendicular to face depth	Units mm ° ° mm mm mm	Comments not easily detected - 90° if perpendicular azimuth degrees provide orientation (clockwise / counter-CW) provide orientation (up out / up in) possible only through interception borehole	EXAMPLES OF ROUGHNESS PROFILES  A. Rough undulating - tension joints, rough shearing, rough bedding. JRC = 20 B. Smooth undulating - smooth shearing, non-planar foliation, undulating bedding. JRC = 10 C. Smooth nearly planar - planar shear joints, planar foliation, planar bedding. JRC = 5 Figure 28: Barton's definition of Joint Roughness Coefficient JRC.
Environment features oxydation cuts or debonds aggregates humidity / water flow infilling	Units	Comments change in colour versus depth / distance age of concrete when crack occurred calcite, mud, ...	Offset inside face  Offset perpendicular to face 

Figur 22. Guide för kategorisering och dokumentation av sprickor.

Författarna till föreliggande Energiforskrapport anser visserligen att ovanstående figur inkluderar många bra parametrar, men detaljeringsgraden är något väl ambitiös. Vid en fördjupad inspektion finns inte tiden att göra en fullständig sprickkartering. Istället anser författarna att det bör vara tillräckligt att på ett bra sätt dokumentera sprickorna (se mer nedan) och i de fall där en konstruktion är kraftigt uppsprucken och det finns skäl att göra en fullständig sprickkartering bör detta göras, men då som en komplettering av den fördjupade inspektionen.

I korthet anser författarna att följande förfarande är lämpligt vid en fördjupad inspektion:

4.1 FÖRBEREDELSE

Inför inspektionen görs

- Genomgång av tidigare inspektionsprotokoll och bilder. I de fall där tidigare sprickkartering finns granskas även denna.
- Framtagande av ritningar (helst armeringsritningar) för utskovspelare/lamellmonoliter

Rekommenderat material att ta med

- Sprickviddsmätare
- Måttband
- Kamera
- Kikare (för sprickobservation på stort avstånd)
- Ritningar och anteckningsblock

4.2 PÅ DAMMEN

Under själva inspektionen ska inspektören självklart sträva efter att komma nära konstruktionen för att kunna bedöma sprickorna på nära håll. Där så ej är möjligt kan kikare användas för att möjliggöra identifikation av sprickor och deras utbredning. I vissa fall kan det även vara befogat att ha tillgång till kranbil, skylift eller annan utrustning som gör det möjligt att komma nära betongytorna.

Sprickornas utbredning ritas in på ritning (helst armeringsritning) över konstruktionsdelen.

Notera

- Avstånd från observationsplats till sprickan
- Sprickvidd och hur den skattats. Där så är möjligt bör sprickbredden skattas med en sprickmätare (vanligen ett plastkort med olika sprickbredder inritade)
- Längd på sprickan och hur detta har skattats (om det är möjligt mäts den, annars ritas på ett ungefär). Streckprickning kan användas om spricktendens syns men inte kan säkerställas.
- Notera eventuella tecken på rörelser i sprickans längdled eller tvärled som kan indikera att konstruktionen inte fungerar som avsett.
- Notera tecken på läckage, fuktgenomslag, kalkutfällningar och rostfärgning (som kan tyda på armeringskorrosion).
- Fotografera sprickan, gärna närbild och avståndsbild.

Extra fokus bör läggas på sprickor som bedöms ha potential att vara allvarliga, men på dammen bör inspektören vara konservativ i sin bedömning och inte direkt avfärda sprickor som ointressanta (om det inte är uppenbart).

Sprickor som förefaller vara genomgående noteras särskilt. Det måste dock understrykas att det ibland inte är möjligt att upptäcka potentiellt genomgående sprickor förrän vid efteranalysen och det är ofta mycket svårt att göra en säker bedömning av huruvida en spricka är genomgående eller ej.

4.3 RAPPORT

I rapporten visas lämpligen sprickorna inritade på ritning, med noterade uppgifter enligt ovan. Det är lämpligt att i rapporten lägga bilder på ritning med inritade sprickor för höger respektive vänster sida av en konstruktion bredvid varandra, detta för att enklare kunna identifiera genomgående sprickor.

Sprickorna analyseras sedan med utgångspunkt ifrån deras potential att vara allvarliga enligt:

- Denna rapport
- Grovlek, längd och utveckling sedan tidigare inspektion (samt hur detta skattats)

Värdering av sprickor görs baserat på tänkbara konsekvenser och hur snabbt sprickorna utvecklas.

Värderingen kan t.ex. utföras så att den passar in i värderingsprinciper enligt Svensk Energi m.fl. (2010).

Lämpligt bör vara att analysera funktionen för varje anläggningsdel i första hand och inte varje spricka för sig (med undantag om en viss spricka påverkar olika funktioner och således kan leda till olika felmoder).

4.4 EXEMPEL PÅ REDOVISNING

Nedan visas exempel från tre dammar på den information som bör framgå i en inspektionsrapport. Vid en fördjupad inspektion blir bedömningen ofta baserad på den potential sprickan kan ha i ett "värsta fall". Vid en fördjupad dammsäkerhetsutvärdering eller en vidare utredning finns bättre möjlighet att förstå skadeorsak och i mer detalj analysera möjlig konsekvens. I exemplen nedan ges även exempel på BK-klassning och det resonemang som förts. För två av exemplen blir klassningen hög vid en fördjupad inspektion, men vid en mer omfattande analys blir resultatet i ett fall en lägesbedömning.

4.4.1 Exempel 1: Utskovspelare på damm i Norrland.



Figur 23. Pelare 1, vänster och höger sida.



Figur 24. P1v och P1h med observerade sprickor inritade.

Beskrivning av sprickor: Observation av sprickorna gjordes från luckbenet alldeles intill pelaren samt från motstående luckben. Sprickvidden skattades med sprickviddsmätare. Inga tecken på rörelser i/kring sprickorna kunde noteras.

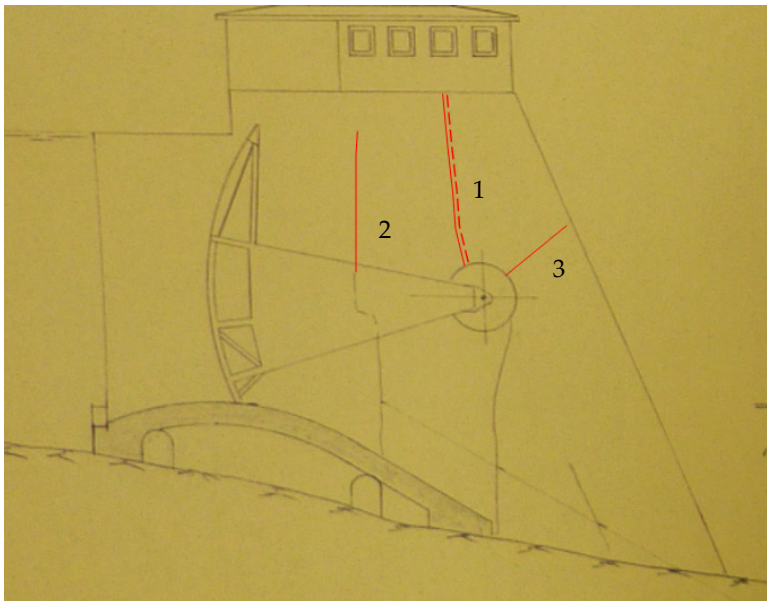
Baserat på bilderna noteras att S3 och S6 troligen är samma spricka och att S4 och S5 troligen är samma spricka.

Bedömning av avvikelse vid FI: I detta fall bedöms att S6/S3 i nuläget är åtgärdad och bedöms inte vara en avvikelse.

S5/S4 är av liten omfattning och avvikelserna bedöms som liten, A1.

Rekommendation: eventuell sprickutveckling hålls under uppsikt vid kommande inspektioner. Om S6/S3 återkommer är det nödvändigt med mer djuplodande analys för att förstå sprickorsak.

4.4.2 Exempel 2: utskovsdamm i Norrland



Figur 25 Exempel på sprickutveckling vid en utskovsdamm i Norrland: Svarta linjer = sprickor observerade 1974. Röda linjer = sprickor mot pelarens utsida observerade 2012. Röd, streckad linje = sprickor inuti nedstigningsschakt.

Beskrivning av sprickor: Sprickor observerades från nedströmssidan samt från brobana. Sprickor har observerats en längre tid och sprickornas omfattning 1974 fanns dokumenterat. Vertikala sprickor i pelarna (1 och 2) har sedan dess tillväxt och når hela dammpelarens höjd. Sprickvidden gick ej att fastställa då observationen gjordes från ca 5 m håll. Sprickorna bedöms vara genomgående då de observerades såväl invändigt i nedstigningsschakt som på pelarens andra sida.

Bedömning av avvikelse vid FI: Med hänsyn till att sprickorna förefaller genomgående eller i det närmaste genomgående kan de vara allvarliga och bedöms ha potential att leda till att monolitverkan inte fungerar. Avvikelsen bedöms som allvarlig, A5.

Beroende på armeringsmängd och utformning på armering kring lucklagret kan sprickorna också ha potential att påverka den avbördande förmågan.

Rekommendation: Vidare analys av sprickorna enligt flödesschemat i Figur 19 rekommenderas för att göra bättre bedömning av avvikelsens allvarlighetsgrad samt ge möjliga åtgärdsförslag.

Exempel på vidare analys: (Obs att denna vidare analys ingår i en kompletterande utredning eller vid FDU). Vidare analys utgår ifrån schemat i Figur 19.

1. Beräkning av stabilitet som osprucken visar att RIDAS rekommendationer uppfylls, ($sf = 2,22$ och $\mu = 0,5$, jämfört med rekommendationerna $sf > 1,5$ och $\mu < 0,75$).
2. Beräkning av stabilitet med delarna fristående visar att RIDAS rekommendationer inte uppfylls. Om isen bildar valv och tas upp av pelarnosen fås $sf = 1,14$ och $\mu = 0,77$ för uppströmsliggande del, $sf 4,7$ och $\mu =$

0,3 för nedströmsliggande del. Om däremot islasten förs in i luckan blir uppströmsdelen stabil men för nedströmsliggande del fås $sf = 0,49$ och $\mu = 1$ för nedströmsliggande del.

3. Beräkning av kraftöverföring i armering visar att armeringen klarar att överföra laster med vattenytan vid dammkrön, men inte klarar att överföra dimensionerande islast om islasten angriper luckan och förs över till lucklagret.
4. Beräkning av kraftöverföring i fogar enligt BBK utfördes med linjär FE-analys. Resultatet är att skjuvspänningen i spricka 1 överskrider kapaciteten på ett ca 2 m långt område under lucklagret för ett lastfall utan islast.

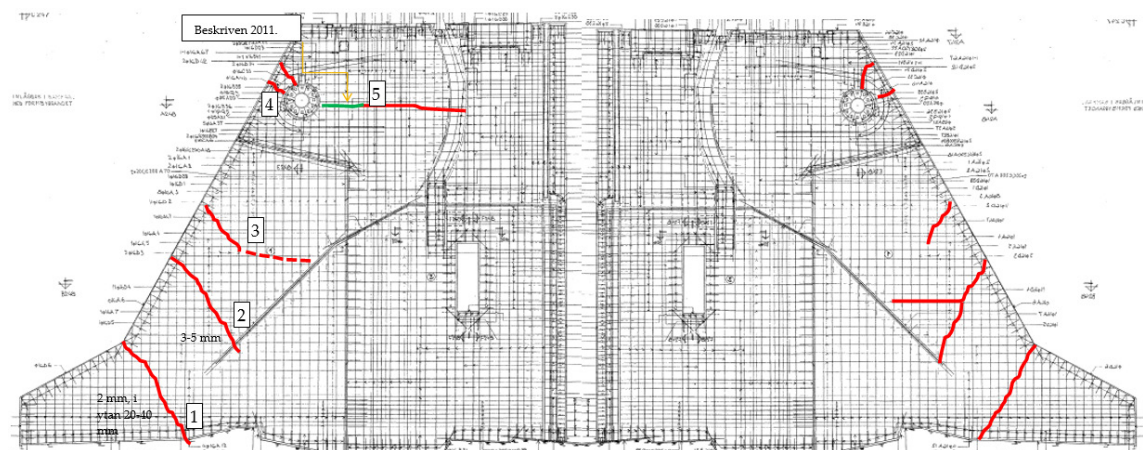
Sprickorsak: orsak till uppsprickningen bedöms bero på temperaturinducerade rörelser. Det är möjligt att sprickor uppstått redan under eller tidigt efter uppförandet på grund av avsvälning och dessa sprickor har sedan fortsatt att växa till. Att skjuvkapaciteten på en sträcka är för låg kan ha lett till att sprickorna förlängts och vidgats.

Rekommendation: I detta exempel skulle avvikelserna bedömas som allvarlig då säkerhetsfaktorerna är så låga i fall med islast, A5.

Rekommendation i detta fall blir att genomföra åtgärder. I första hand isfrihållning för att avlägsna potentiell islast. Om det kan säkerställas att armeringen är intakt kan denna åtgärd avlägsna avvikelserna.

För denna typ av spricka är det dock nödvändigt att även göra en åtgärd för att säkerställa att armeringen är ordentligt skyddad. Med hänsyn till överskriden skjuvkapacitet på ett område är detta ytterligare viktigt eftersom sprickan annars riskerar att vidgas ytterligare och därvid utsätta armeringen för inträngande vatten och syre som kan aktivera en korrosionsprocess. Åtgärd kan göras med injektering, men mer lämpligt genom urbilning och igengjutning längs sprickans hela längd. Som alternativ kan pelaren förstärkas med spännstag som håller ihop pelaren. Om sprickvidden är mycket liten (ca $>0,2$) mm kan det vara tillräckligt att övervaka sprickvidden.

4.4.3 Exempel 3



Figur 26 Exempel på sprickor noterade vid en utskovsdamm i Norrland.

Beskrivning av sprickor: Flera av sprickorna förefaller vara genomgående. Spricka nr 1 kan leda till att stälppunkten flyttas vilket påverkar stabiliteten. Det går inte att utesluta att även spricka nr 2 sträcker sig enda ner till berg (ej åtkomlig inifrån inspektionsgången). Spricka nr 3 är kortare, men det finns indikation på att sprickan fortsätter horisontellt.

Bedömning av avvikelse: Sprickorna vid 4 torde ha liten påverkan på lucklagret då detta är armerat med bakåtförankrade byglar. Spricka nr 5 är i nuläget inte genomgående. Vid tidigare inspektion noterades en kortare spricka i läget, och det kan därmed inte uteslutas att sprickutveckling sker. Sprickorna 1 och 2 bedöms som allvarliga med hänsyn till potential till försämrad stjälpstabilitet, A5.

Rekommendation: Vidare analys av sprickorna enligt flödesschemat i Figur 19 för att göra bättre bedömning av avvikelens allvarlighetsgrad samt ge möjliga åtgärdsförslag. För sprickorna 3, 4 och 5 övervakas utvecklingen.

Exempel på vidare analys: (Obs att denna vidare analys ingår i en kompletterande utredning eller vid FDU, nedan endast resultat av analys av spricka 1). Vidare analys utgår ifrån schemat i Figur 19.

1. Beräkning av stabilitet som osprucken visar att RIDAS rekommendationer uppfylls, ($sf = 2,32$ och $\mu = 0,5$, jämfört med rekommendationerna $sf > 1,5$ och $\mu < 0,75$).
2. Beräkning av stabilitet med spricka 1 visar att RIDAS rekommendationer inte uppfylls, $sf = 1,4$ och $\mu = 0,58$ vilket resulterar i en anmärkning A2.
3. Beräkning av kraftöverföring i armering visar att armeringen inte klarar att överföra laster mellan de separata delarna.
4. Beräkning av kraftöverföring i fogar enligt BBK visar att skjuvkraftkapaciteten inte är tillräcklig för att överföra last mellan de av spricka 1 uppdelade delarna.

Sprickorsak: orsak till uppsprickningen bedöms bero på temperaturinducerade rörelser. Det är möjligt att sprickor uppstått redan under eller tidigt efter uppförandet på grund av avsvälning och dessa sprickor har sedan fortsatt att växa till. Pelaren har relativt liten armeringsmängd.

Rekommendation: Isfrihållning eller installation av spännstag. Vidare analys krävs för spricka 2. Med hänsyn till övriga sprickor och spricktillväxt kan spännstag vara det bättre alternativet.

Referenser

ACI (2007) *Causes, Evaluation, and Repair of Cracks in Concrete Structures*. American Concrete Institute. ACI Committee 224.

Ansell, A. , Björnström, J., Ekström, T., Hassanzadeh, M. och Unosson, M. (2008) *Spricktillväxt i betongdamm. Tillämpning av icke-linjära modeller del 1*. Elforskrapport 08:21

Betonghandbok Material (1994), AB Svensk Byggtjänst.

Betongreparation.se (Juni 2015).

Björnström, J., Ekström, T. och Hassanzadeh, M. (2006) *Spruckna betongdamm. Översikt och beräkningsmetoder*. Elforskrapport 06:29.

CEATI International Dam Safety Interest Group (DSIG) (2014) *Investigating Structural safety of cracked concrete dams*. Report No. T122700-0226. CEATI International, Montreal, Quebec, Canada.

CEATI International Dam Safety Interest Group (DSIG) (2012), "*Dam Safety Performance Monitoring and Data Management – Best Practices* (CEATI Report No. T082700-0210)," CEATI International, Montreal, Quebec, Canada.

Fagerlund, Göran (2004) REHABCON - *Strategy for maintenance and rehabilitation in concrete structures, Work Package 2.3 : evaluations of alternative repair and upgrading options* : Final Report In Report TVBM (Intern 7000-rapport) Div of Building Materials LTH, Lund university. <http://lup.lub.lu.se/record/1273786>

Hassanzadeh, M. & Westberg Wilde, M. (2016) *Inventering av förekommande spricktyper i vattenkraftkonstruktioner*. Energiforskrapport (ännu ej färdigställd).

Janz, M., Hejll, A. & Hassanzadeh, M. (2010). *Tillämpning av REHABCON*. Elforskrapport 10:70.

Persson, M. & Rosenqvist, M. (2009). *Frostsprängning i betongdamm*. Examensarbete Lund, TVBM-5074.

Reinius E. (1962), "*Vattenbyggnad, del 3, Dammar*", _Föreläsningar av Prof. Erling Reinius, Stockholm, 1962.

Rosenqvist, M. (2014) *Frostnedbrytning av vattenbyggnadsbetong*. SBUF Informerar. http://vpp.sbuf.se/Public/Documents/InfoSheets/PublishedInfoSheet/2a26fef2-04a2-4336-970e-f5b8c47d7557/SBUF_12302_1416_p.pdf

Svenska betongföreningen (1994) *Sprickor i betongkonstruktioner – särskilt temperatursprickor*. Svenska betongföreningens rapportserie, rapport nr 3.

Svensk Energi, Svenska kraftnät, SveMin (2010), "*System för bedömning av dammsäkerhetsanmärkningar*", 2010-07-01.

SPRICKORS PÅVERKAN PÅ BETONGDAMMARS SÄKERHET

Det här är ett stöd för den inspektör som gör en fördjupad inspektion för att på ett snabbt och enkelt sätt göra en första bedömning av en noterad spricka.

Rapporten innehåller en kort genomgång av olika orsaker till sprickor och fokuserar sedan på några vanligt förekommande sprickor för lamellkonstruktioner och utskovspelare.

För nio vanliga spricktyper görs en genomgång av troliga orsaker och möjliga konsekvenser. Dessutom diskuteras möjligt brottförlopp och rapporten ger rekommendationer för vilka åtgärder som kan vidtas för att hantera sprickan. Här får du även rekommendationer för hur vidare analyser kan göras och vilken övervakning som kan vara lämplig.

Till sist får du tips på vad en rapport från en fördjupad inspektion bör innehålla för att möjliggöra uppföljning av en eventuell spricktillväxt.

Ett nytt steg i energiforskningen

Energiforsk är en forsknings- och kunskapsorganisation som samlar stora delar av svensk forskning och utveckling om energi. Målet är att öka effektivitet och nyttiggörande av resultat inför framtida utmaningar inom energiområdet. Vi verkar inom ett antal forskningsområden, och tar fram kunskap om resurseffektiv energi i ett helhetsperspektiv – från källan, via omvandling och överföring till användning av energin. www.energiforsk.se