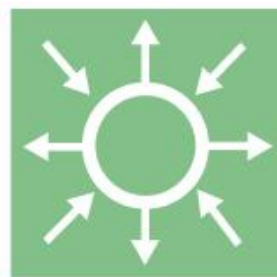
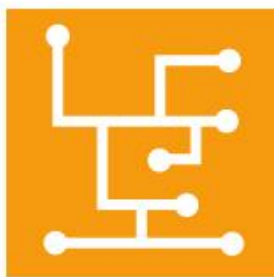




Skador på och reparationer av dilatationsfogar i dammkonstruktioner

En sammanställning av kunskaper och
nationella insatser

Elforsk rapport 10:74



Bojan Stojanović

april 2010

ELFORSK

Förord

Vattenkraftföretagen*) har via Elforsk stöttat forskning och utveckling inom det betongtekniska området sedan början av 90-talet.

Programmet är inriktat på ett kostnadseffektivt förvaltande av vattenkraftindustrins betongkonstruktioner. Syftet är att ge ett kvalificerat stöd till vattenkraftföretagen.

Målet är att ta fram verktyg, riktlinjer, utförandebeskrivningar och teknik som fyller industrins behov. Målet är också att bygga kompetens. En uttalad ambition är att samarbeta med övrig industri och landets tekniska högskolor.

Programmet administreras med hjälp av en styrgrupp med följande ledamöter:

Malte Cederström, Vattenfall AB Vattenkraft

Johanna Feldtman, E.ON Vattenkraft Sverige AB

Martin Hansson, Statkraft Sverige AB

Erik Nordström, Vattenfall AB Vattenkraft

Markus Eriksson, Skellefteåkraft

Karin Persson, Fortum

Stefan Norberg, Fortum

Gunnar Sjödin, Vattenregleringsföretagen

Marcus Hautakoski, Vattenregleringsföretagen

Cristian Andersson, Elforsk AB

Stockholm augusti 2010



Cristian Andersson

Elforsk AB

*)Vattenfall AB Vattenkraft, Fortum Generation, E.ON Vattenkraft Sverige AB, Skellefteå Kraft AB, Statkraft Sverige AB, Jämtkraft AB, Sollefteåforsens AB, Karlstads Energi AB, Jönköping Energi AB deltar i treårsperioden (2007-2009) av ramprogrammet "Underhåll och förnyelse av betongkonstruktioner".

Sammanfattning

Att reparera läckande dilatationsfogar i dammkonstruktioner har i praktiken visat sig vara komplicerat. Reparationsinsatserna kan leda till otillfredsställande resultat med upprepade läckage och tätningssatser till följd. Problematiken ligger primärt i att dammkonstruktionen delvis ligger under vatten (som utövar ett hydrostatiskt tryck på konstruktionen) samt att den tätande fogutformningen är ingjuten i konstruktionen, vilket ytterligare försvårar dess åtkomlighet (därmed även inspektion). Däröver försvåras situationen ytterligare av att fogarna/fogtätningen kan bestå av komplicerade geometrier. På grund av ovanstående problematik/komplexitet, har det varit av betydelse att sammanställa kunskaper samt erfarenheter angående åldring och reparationer av fogar för att kunna bistå dessa reparationsinsatser.

Vad gäller fogar, har fokus i denna studie primärt legat på Svenska förhållanden, med avseende på: förekommande fogtyper/-konstruktioner, fogars skadetyper och dess skadeorsaker, samt reparations-/ombyggnadsmetoder och praktiska erfarenhet/kunskap. Studien visar på att nedanstående summering av fogskador (var för sig eller i synergi med varandra) föreligger som de dominerande orsakerna till uppkomsten av läckage igenom ett fogområde.

- Dålig betong i fogområdet pga. gjutningsförfarandet. Betongen blir stenfattig och får ett högre vattencementtal (vct), pga. en kombination av: vatten-, sten- och/eller bruksseparation. Detta medför att betongen får en: lägre hållfasthet, högre porositet samt permeabilitet, förhöjd urlakning och försämrad frostbeständighet. Förutom ovanstående gjutningsproblem, kan hålrum i fogområdet uppstå pga. undermåligt komprimerad/vibrerad betong.
- Nedbrytning av betongen i fogområdet pga. kallt klimat som utsätter betongen för frostangrepp (isnötning samt frostsprängning). Graden samt fortskridningen och fortlöpnings tiden av detta skade-/åldringsscenario, är troligtvis beroende av gjutningsförfarandet i enlighet med ovanstående punkt.
- Brist i konstruktions- och arbetsutförande vad gäller installation av fogbanden.
- Åldring av PVC-bandet i dammkonstruktionen pga. urlakning samt alkalisk hydrolys av mjukgöraren (vilket förspödar och krymper PVC-bandet).

Reparationer som fallerat har i allmänhet uppvisat en trend att relativt kort tid efter utförd reparationsinsats, uppstår nya läckage. Dessa problem kan indikera att den använda reparationsmetoden (i det specifika fallet) inte var lämplig, vilket kan innebära att den troliga skadeorsaken beror på metodval och arbetsutförande. En ytterligare orsak till upprepade läckage kan vara att den applicerade reparationsmetoden utgår ifrån att det specifikt är fogbandet som fallerat och därmed läcker, medan det i själva verket är undermålig betong i fogområdet som är orsaken till läckage. Detta innebär att den applicerade reparationsmetoden troligtvis tätar ett alldeles för snävt område.

Summary

To repair leaking expansion joints in concrete dam constructions has in practice proven to be difficult. Repairs may lead to unsatisfactory results with repeated sealing operations as a result. The problem lies primarily in the fact that dam structures are partially under water (which exerts a hydrostatic pressure) and that the sealant is embedded in the structure, which vastly reduces its accessibility (hence also inspection). The situation is further complicated by the fact that joints/sealing-joints may consist of complex geometries. Due to these problems/complexities, it has been of importance to compile knowledge and experience regarding aging and repairing of joints/expansion-joints in order to assist repair efforts.

Regarding expansion-joints, the prime focus of this study is on Swedish conditions, with regard to: occurring joints and structure types, joint damage and their cause, joint repairs/rebuild and practical experience/knowledge. The study presents the following summary of dominant causes (singly or in synergy with each other) that affect the occurrence of leakage through a joint area.

- Poor concrete in the joint area due to the casting process. The concrete will have less ballast and a higher water-cement ratio, as a result of: water, ballast and/or mortar separation. The concrete in the joint area will thereby have a: lower strength, higher porosity and permeability, increased leaching and loss of frost resistance. In addition to the above, cavities in the joint area can arise due to inferiorly compressed/vibrated concrete.
- Degradation of concrete in the joint area due cold climates. The concrete is placed under frost attack (ice wearing and frost erosion). The degree and progress of this damage/ageing scenario is probably dependent on the casting process, according to the above paragraph.
- Lack of design and work performance in terms of installation of joint sealants.
- Aging of PVC sealants in concrete dam constructions, due to leaching and alkaline hydrolysis of the softening agent (which embrittle and shrink the PVC sealant).

Failed expansion joint repairs have in generally displayed an equal trend. In a relatively short period after the performed reparation, new leaks arise. These problems may indicate that the applied repair method (in that particular case) was not appropriate, which may mean that the probable cause of the damage is due to choice of repair method and/or inferior work performance. An additional reason for the rearised leaks may be, that the applied repair method assumes that it is specifically the joint sealant that has failed and causes leakage. While in fact poor concrete in the joint area is the cause. This means that the applied method of repair is likely repairing/sealing a far too narrow area.

Innehållsförteckning

1	Inledning	2
1.1	Bakgrund	2
1.1.1	Syfte och Mål	3
2	Dilatationsfogar i dammkonstruktioner	4
2.1	Vanligt förekommande fogtyper	4
2.1.1	PVC-band	4
2.1.2	Plåtband	8
2.2	Konstruktionsutformning	8
2.2.1	Dubbla fogband med injekteringskanal	9
2.2.2	Trycksatta fogar	10
2.2.3	Gjutning	11
2.3	Skador och dess orsaker	14
2.3.1	Generella nedbrytningsmekanismer i betongdammskonstruktioner	14
2.3.2	Nedbrytning av betongen i fogområdet	16
2.3.3	Åldring av PVC-band i dammkonstruktioner	17
2.3.4	Konstruktions- och arbetsutförande	18
3	Kunskapsåterföring inom betongområdet från det amerikanska REMR-programmet	20
3.1	Grundläggande reparationsmetoder för läckande dilatationsfogar	21
4	Nationellt utförda reparationsinsatser på dilatationsfogar	24
4.1	Reparationer utförda på dammar ägda av Fortum	24
4.1.1	Laforsens kraftverk	24
4.1.2	Svegs kraftverk	26
4.1.3	Forsa övre intag	28
4.2	Reparationer utförda på dammar ägda av E-ON	29
4.2.1	Storfinnforsens kraftverk	29
4.3	Reparationer utförda på dammar ägda av Statkraft	31
4.3.1	Stennäs kraftverk	31
4.4	Reparationer utförda på dammar ägda av Vattenregleringsföretagen	31
4.4.1	Gardiken	31
5	Diskussion och slutsats	34
6	Behov av fortsatta FoU insatser	37
	Referenser	40

1 Inledning

1.1 Bakgrund

Vattenkraftsanläggningarna i Sverige är i regel utsatta för stora temperaturvariationer, låga temperaturer, höga fuktnivåer samt högt hydrostatiskttryck. I vissa konstruktionsdelar samverkar dessa faktorer vilket kan resultera i: frostangrepp, erosion, urlakning samt stora spänningar i de material som ingår i konstruktionen. Inom tid kan även spänningarna leda till sprickbildning i konstruktionen som ytterligare banar vägen för vattenläckage samt t.ex. urlakning av betongmaterial.

Generellt sett uppskattas livslängden på vattenkraftsbranschens betonganläggningar (som utsätts för ensidigt vattentryck) till mellan 50-160 år [1]. Detta innebär att en signifikant andel av den nationella betongdammspopulationen börjar nå eller befinner sig i detta livslängdsintervall, vilket innebär att betydande reparations- samt uppgraderingsinsatser kommer att krävas framöver.

I betongdammskonstruktioner förekommer såväl gjutfogar som dilatationsfogar (rörelsefogar). Om fogarna befinner sig i vattentäta konstruktioner skall båda fogtyperna utformas så att dessa uppfyller sin funktion av att vara täta eller täta samt flexibla. En felaktigt utformad eller ej fungerande fog kan äventyra delar eller hela dammkonstruktionens funktion och säkerhet.

I tidigare rapporter av Bernstone [1] och Thorsell [2] presenteras en sammanställning av REMR-programmet (se även kapitel 3), i syfte av kunskapsöverföring. Efter genomgång av arkivmaterial från ca 2000 rapporter har över 10 000 rapporterade skador registrerats. I genomsnitt uppvisade varje anläggning 17 st skador. Skadorna delades in i 8 olika typer: sprickor (38 %), läckage (20 %), avskalning (19 %), vridning/rörelser (7 %), erosion (6 %), delaminering (4 %), konstruktionsfel (2 %) och fogskador (2 %). 2 % fogskador kan verka lågt, men dessa skador är förhållandevis komplicerade att reparera.

Inom den Svenska betongdammpopulationen används primärt två st fogbandshuvudtyper:

- Rostfria plåtfogband
- PVC-fogband

De första PVC-fogbanden som introducerades på 1950-talet, uppvisade en undermålig åldersbeständighet. Dessa har emellertid förbättrats under årens lopp.

Dilatationsfogar i dammkonstruktioner utformas vanligtvis med dubbla tätningsanordningar (se stycke 2.2.1 och Fig. 2.5), pga. att praktiska erfarenheter har påvisat att enstegstätade fogar har varit otäta/läcker [3]. Utöver de dubbla tätningsbanden förses vanligtvis dilatationsfogarna med ett ytterligare tätningskomplement, en asfaltfylld kanal som vanligtvis är placerad mellan banden. Denna kanal kan antingen vara trycksatt och/eller uppvärmd (vid behov).

Att reparera läckande dilatationsfogar i dammkonstruktioner har i praktiken visat sig vara komplicerat. Reparationsinsatserna kan leda till otillfredsställande resultat med upprepade läckage samt tätningsinsatser som följd. Problematiken ligger primärt i att dammkonstruktionen delvis ligger under vatten (som utövar ett hydrostatiskt tryck på konstruktionen) samt att den tätande fogutformningen är ingjuten i konstruktionen, vilket ytterligare försvårar dess åtkomlighet (därav även inspektion). Däröver försvåras situationen ytterligare av att fogarna/fogtätningen kan bestå av komplicerade geometrier.

På grund av ovanstående problematik/komplexitet har det varit av betydelse att sammanställa kunskaper samt erfarenheter angående åldring och reparationer av dessa för att kunna bistå reparationsinsatser.

1.1.1 Syfte och Mål

Syftet med projektet är att studera åldringsscenarier och skador på dilatationsfogar och dess reparationer, i dammkonstruktioner, m.a.p.: exponeringsmiljö, varierad betongkvalitet, varierat arbetsutförande, olika reparationsmetoder, kombination av samtliga. Målet är att studien skall ge ökad kunskap gällande åldring samt reparationers lämplighet och beständighet. Denna kunskap skall bistå valet/utformningen av framtida reparationsinsatser.

2 Dilatationsfogar i dammkonstruktioner

Principiellt upprättas dilatationsfogar (rörelsefogar) i byggnadsverk för att möjliggöra rörelser i en konstruktion utan att skador inträffar. I regel gäller detta större byggnadsverk/konstruktioner där dimensionella förändringar av signifikans (inom konstruktionen) kan inträffa [4].

Den primära skadan som uppstår på grund av bristande rörelseförmåga är krackelering (sprickbildning) i en konstruktion. För att undvika eller minimera detta delas konstruktionen upp i lämpliga komponenter, element eller sektioner som sedan sammanförs via dilatationsfogar. Det bör poängteras att dilatationsfogar i huvudsak inte är ämnade för att upprätthålla en bärande förmåga mellan komponenter, element eller sektioner. Gällande rörelser i dammkonstruktioner (dimensionella förändringar), uppstår dessa regelmässigt eller på permanent basis, i huvudsak pga. temperaturvariationer eller sättningar [4]. Ytterligare volymförändringar är svällning och krympning. Dessa förändringar kan dock minimeras genom att dammkonstruktionen gjuts i sektioner, så att volymförändringen i dessa äger rum innan de mellanliggande sektionerna gjuts [4, 3].

Förutom att tillåta rörelser skall fogarna även vara täta och därmed förhindra vatten- eller luftrörelser, beroende på konstruktion och tillämpningsområde. Gällande dammkonstruktioner, är täthet mot vattenläckage av signifikans. Dilatationsfogarna bör dessutom ha ett materialval och konstruktionsutformning som är beständigt samt kunna upprätthålla dess funktion-över-tid [4].

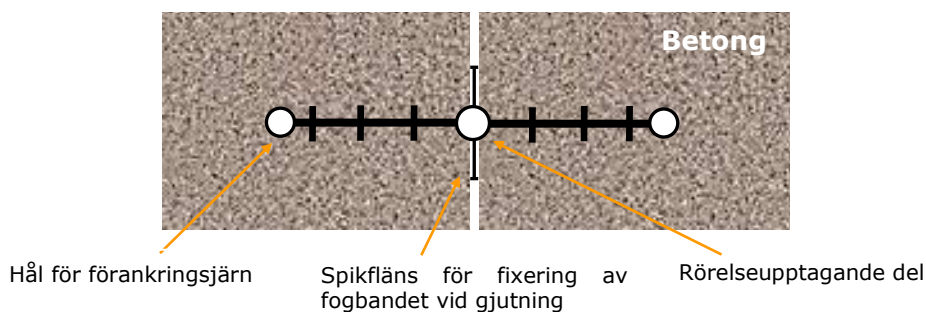
2.1 Vanligt förekommande fogtyper

Det finns ett antal förekommande principer gällande dilatationsfogar i dammkonstruktioner, med avseende på materialval och utformning. De material som vanligtvis används är: polyvinylklorid (PVC), naturligt och syntetiskt gummi, koppar, rostfritt stål samt bitumen [4]. Vad det gäller utformningen, är användningen av fogband den vanligast förekommande principen. Generellt sett förekommer det två stycken fogbandshuvudtyper, vilka vanligtvis består av PVC eller rostfri plåt [2].

2.1.1 PVC-band

Tätningar av PVC eller gummi har använts i byggnadsverk sedan 1950-talet, fram tills idag.

En av de stora fördelarna med fogband av PVC, är att de är relativt enkla att forma och skarva. Materialets formbarhet gör det möjligt att utföra betydligt mer komplicerade fogutformningar i jämförelse med tätningsplåtar. Nackdelen är att fogbandet lätt kan skadas eller komma ur läge vid ingjutning. Vad det gäller skarvning (svetsning) är det viktigt att upprätthålla rätt temperatur och att se till att banddelarna inte förskjuts [3]. Enligt källor är det i Sverige relativt vanligt förekommande med undermåligt utförda skarvar [2].



a)



b)

Figur 2.1 a): Ett schematiskt exempel på användningen av PVC-fogband i en godtycklig konstruktion. Figurens vy är sedd uppifrån. b): Exempel på ett fogband (likt figur a) som finns på marknaden.

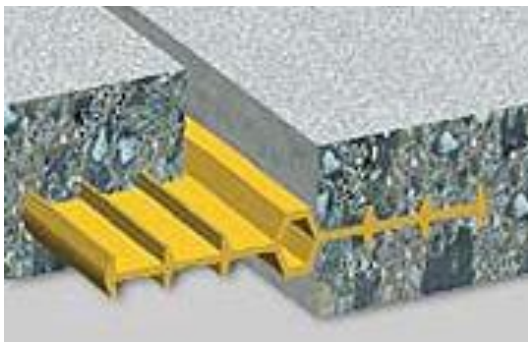
De längsgående räfflorna hos bandet ger ökad förankring i betongen och hindrar uppkomst av läckor mellan fogbandet och betongen. Profilernas mitt är vanligtvis utformade med en rörelseupptagande del (en kanal) så att fogbandet får en högre töjbarhet/flexibilitet. Vissa profiler kan även vara försedda med rörsektioner för förankring med armeringsjärn samt spikfläns (se Fig. 2.1 a), medan vissa är tillverkade utan rörsektionsförankringar (se Fig. 2.2).



a)



b)



c)

Figur 2.2 a), b), c) Exempel på ett fogband av PVC. Figurerna visar bandet från två vyer. Observera att detta fogband är utan rörsektionsförankringar; ej samma utformning som exemplet i figur 2.1.

Fogband av plast (PVC) består i princip av följande materialuppbyggnad:

$$\text{Plast} = \underbrace{\text{Polymerer}}_{\text{PVC}} + \text{Fyllmedel} + \underbrace{\text{Tillsatser}}_{\substack{\text{Stabilisatorer} \\ \text{Smörjmedel} \\ \text{Mjukningsmedel}}}$$

Fyllmedlet är ett oorganiskt ämne som i fogband används i endast ringa mängd. Rent generellt används den bl.a. för att dryga ut materialet och göra det billigare per volymenhet, men även för att förbättra vissa egenskaper t.ex. krympning (jämför ballast i betong). Exempel på fyllnadsmedel är trämjöl, talk, krita och stensmjöl [5].

Stabilisatorer används för att förbättra plastens beständighet. *Antioxidanter* motverkar nedbrytning orsakad av luftens syre. *UV-stabilisatorer* motverkar nedbrytning orsakad av den ultraviolette strålningen i solljuset. En effektiv

UV-stabilisator är kimrök (sot). Vanligtvis utgörs stabilisatorerna av oorganiska blyföreningar [5, 2].

Smörjmedlet balanserar materialets friktions- och flytegenskaper vid profiltillverkning.

Mjukningsmedlet består vanligtvis av organiska estrar d.v.s. reaktionsprodukter mellan en alkohol och en svag syra. Denna reglerar materialets mjukhet och köldbäständighet [2]. Mjukgöraren tvingar plasten att vara flexibel (mjuk). Upp till ~40 % av ett mjukgjort PVC material kan bestå av mjukningsmedel [2, 5], eftersom PVC-polymererna i sig själva är styva.

Mjukgörare tillsätts till polymererna som själva är hårda. Dess molekyler lägger sig mellan polymermolekylerna. Detta gör att polymermolekylerna får lättare att röra sig gentemot varandra, vilket resulterat i att plasten blir mjuk. De vanligaste mjukgörarna som används idag, tillhör en grupp ämnen som kallas ftalater.

Tillsatsens molekyler är i regel mindre än polymerens och inte explicit kemiskt bunden. Dessa bildar svagare/tillfälliga bindningar (t.ex. dipolbindningar) med polymeren, vilket medför dess benägenhet att vandra i materialet. Detta innebär att mjukgöraren i t.ex. mjukgjord PVC kan vandra till materialets yta och migrera, vilket minskar materialets flexibilitet¹. Detta medför en risk för brott i t.ex. PVC-fogband, pga. att dessa skall uppfylla en funktion av att vara en rörlig/flexibel tätning. Dessutom orsakar en förlust av mjukgörare en volymförändring av PVC materialet, pga. dess höga materialandel¹.

Tillverkare av PVC-fogband använder olika typer av mjukgörare. Enligt en tidigare rapport [2] finns det ingen säker undersökning på vilken typ av mjukgörare som är bäst ur beständighetssynpunkt.

Marknadens första PVC-fogband visade sig ha undermålig beständighet. Efter ingjutning blev banden tidigt hårda och spröda. Från och med 1970-talets början fick PVC-fogbanden högre och mer acceptabel kvalitet [4, 2].

På dagens marknad finns det certifierade PVC-fogband som regelbundet provas och godkänns. Dessutom finns det PVC-band med fastmonterad injekteringsslang som kan användas för att åtgärda undermålig funktion (läckage) vid behov. Dessa band är förhållandevis dyra och svåra att skarva [2].

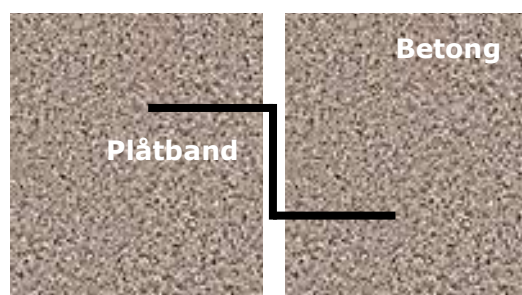
Vad gäller fogbandets bredd, bestäms detta bl.a. av: vattentrycket, betongdimensionerna och fogens rörelser. Skarvning bör undvikas/minimeras vid stora vattentryck. Banden skall fixeras noggrant innan gjutning för att förhindra att bandet hamnar i fel läge. Vid användning av PVC-fogband i kyla, skall aktsamhet visas vid installation av dessa. Banden kan vid låga temperaturer vara hårdare/spröda och på så sätt lättare skadas.

¹ Inom ramen för denna studie har dock ingen information kunnat erhållas ang. omfattningen av mjukgörarmigreringen och dess inverkan på materialets flexibilitet och volymförändring. Detta är troligtvis starkt betingat till div. PVC produkter och dess exponeringsmiljö och -tid.

2.1.2 Plåtbånd

Det andra fogbandet av de två huvudprinciperna är plåtbånd. Dessa band är vanligtvis tillverkade av rostfriplåt som antingen kan vara raka eller bockade (Z eller U-form [2, 6]) i sin utformning; se figur 2.3.

Fördelen med plåtfogband (rostfria) är att dessa inte deformeras vid ingjutning. Dessutom tål de en tuffare hantering (än PVC-band) vid själva arbetsutförandet. Nackdelen är att metallen/plåten är svårare att skarva, vilket är utmärkande vid komplicerade korsningar och detaljer. En annan nackdel är att dessa inte är lika formbara som PVC-band, som kan användas för att utgöra komplicerade fogutformningar. Plåtbanden är dessutom tunga att hantera. De rostfria plåtfogbanden är vanligtvis släta och har en godstjocklek på 0,8-1mm. Vanlig bredd är 200-400 mm [2].

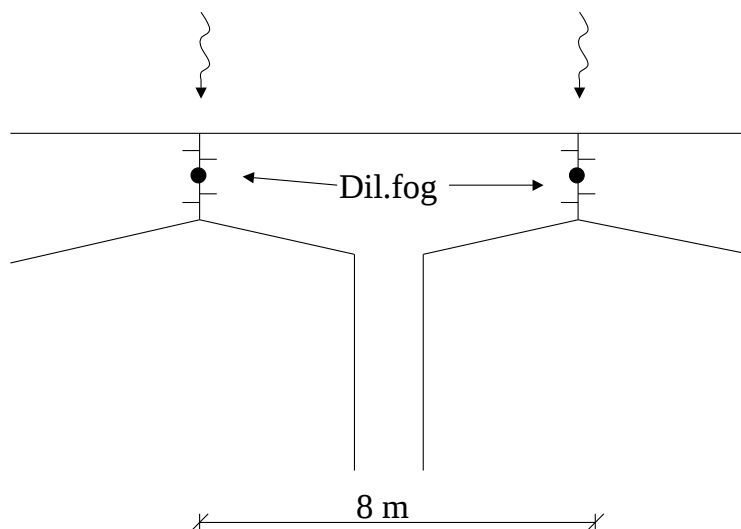


Figur 2.3 Schematiskt exempel på ett Z-bockat plåtbånd. Bandet kan även vara valsade i U-form. Figurens vy är sedd uppifrån.

2.2 Konstruktionsutformning

Som tidigare nämnts (se inledning av kapitel 2); används dilatationsfogar för att dela upp betongkonstruktioner i lämpliga enheter, med hänsyn till de rörelser som konstruktionen skall kunna upptaga.

Dammar, som har en relativt stor utsträckning, kräver dilatationsfogar som tar upp längdförändringar vid: varierande temperatur, svällning och krympning. En damm som vilar på jord kan delas upp i längre sektioner än dammar på berg, p.g.a. lägre friktion. Fogarna placeras i sådana lägen och på lämpliga avstånd så att dessa förhindrar skadlig sprickbildning i dammen eller dess anslutningar. Vanliga avstånd mellan fogar i betongdammar är 8-15 meter [2] (enligt Vattenfallsbetonghandbok [3] 10-15 meter), se figur 2.4.



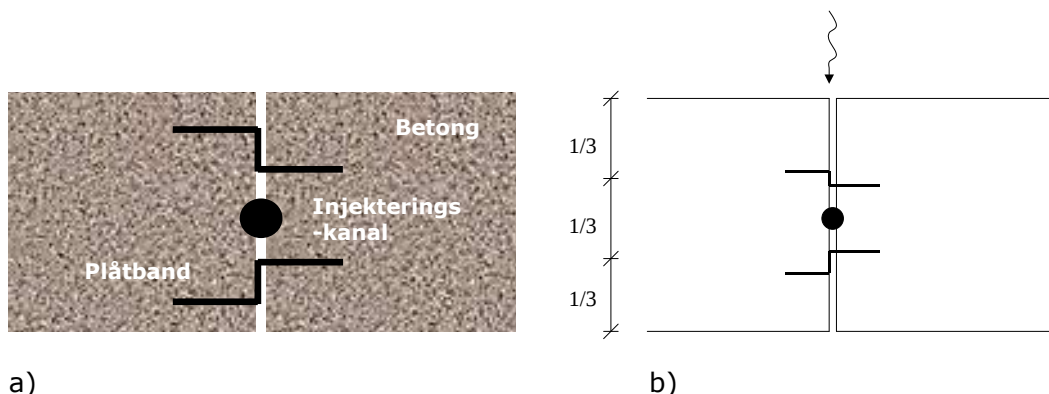
Figur 2.4 Schematiskt exempel på ett konstruktionsutförande. Bildkälla Thorsell [2]. Den exemplifierade fogutformningen är i enlighet med stycke 2.2.1 och figur 2.5. Figurens vy är sedd uppifrån.

Tättningsband i dilatationsfogar skall ha god draghållfasthet, töjbarhet och beständighet. Vad gäller PVC-band skall dessa behålla en viss flexibilitet vid låga utomhustemperaturer, för att kunna motstå mekanisk åverkan samt rörelser vid montering/gjutning (etc.) och under funktion. Tättningsbanden fordrar noggrannhet vid: montering, skarvning, ingjutning etc. av dessa. Spikning i PVC-band får endast utföras i för ändamålet avsedda spiklister/-flänsar. I fogar mot berg förs ett plåtband ner i en sågad slits. Slitsen skall minst vara 250 mm djup och sedan fyllas med expanderande bruk. Vid behov skall bergytan närmast fogen tätas noga genom t.ex. injektering. Det är nödvändigt att fogarbetet i vattentäta konstruktioner utförs av yrkeskunnig och erfaren personal samt att det föreligger ett väl genomarbetat ritnings- och anvisningsunderlag.

Det är även väsentligt att så kallade gjutsår undviks, då dessa kan orsaka otätheter runt fogen.

2.2.1 Dubbla fogband med injekteringskanal

Dilatationsfogar utformas företrädesvis med dubbel tättningsanordning, då det i praktiken har visat sig att enkeltätade fogar varit otäta [2]. Eftersom det är både svårt och kostnadskrävande att täta läckande fogar i efterhand, rekommenderas att konstruktion och utförande av fogar ägnas stor omsorg. Fogarna bör förses med två tättningsband samt en kanal (i fogen) mellan dessa [3], se figur 2.5.



Figur 2.5 a), Ett schematiskt exempel på en fogtätning med dubbla 'Z-bockade' plåtband och injekteringskanal. Även dubbla PVC-band används [3]. b) Ett schematiskt exempel på den relativa placeringen av fogtätningen i en dammkonstruktion. Bildkälla Thorsell [2]. Figurernas vy är sedd uppifrån.

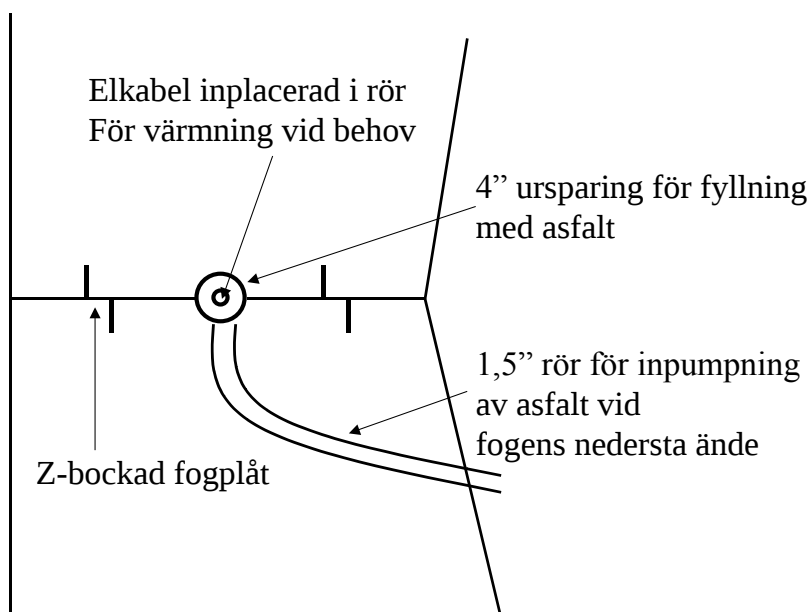
Kanalen utformas under gjutningsskedet och kan användas för injektering i fogen med asfalt eller annat tätande material [3]. Fogbanden skall monteras stadigt och i rätt läge.

Formen måste vara tät invid banden för att undvika läckage vid gjutning. Vid fogtätning med asfatslösning, ska fogen utformas så att asfalt kan påfyllas längs hela fogen samt under dammens hela livslängd. För att en asfatsfog skall fungera tillfredsställande, bör denna ha ett tryck som är något större än vattentrycket som fogen tätar emot [6].

2.2.2 Trycksatta fogar

Trycksatta fogar exemplifieras enligt följande.

Dammkonstruktionens mitt (se Fig. 2.6) förses med en asfaltsträng, som står i förbindelse med ett kärl, för kontinuerlig inpressning/efterinpressning av asfalt i fogen. Inpressningen kan ske antingen med självtryck (om tanken placeras högt), eller via ett tryckkärl som anbringar trycksatt luft. Denna åtgärd försäkrar tätning mot eventuellt genomträngande vatten [3]. Trycket skall vara högre än det vattentryck som fogen exponeras emot; 10 % högre tryck kan anses som lämpligt [2].



Figur 2.6 Ett schematiskt exempel på en fog med trycksatt asfaltsmassa. Bildkälla Thorsell [2]. Även dubbla PVC-band används [3]. Figurens vy är sedd uppifrån.

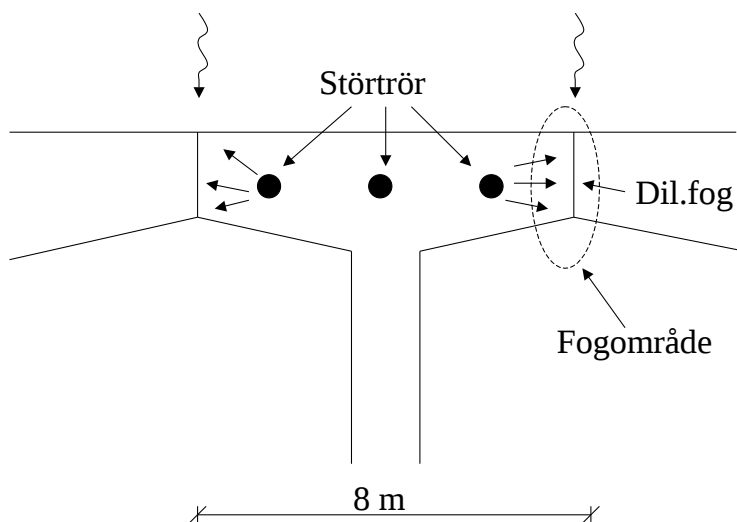
Mellan de dubbla tätningsbanden utformas en ursparing på ca 75-100mm för eventuell fyllning med asfalt. Fyllningen utföres vid en tidpunkt då betongen har en låg temperatur och fogen är som mest öppen [6]. Asfalten värms till ca 100°C och inpumpas vid en (relativt konstruktionen) låg höjdnivå, via ett rör med en diameter på ca 40mm. Vid berg anbringas röret så nära bergsytan som möjligt. Vid krökta fogar anordnas (vid behov) även avluftningsrör i höga nivåpunkter. I samband med asfaltsinjekteringen, inläggs i kanalen ett klen rör (vid raka fogar). Vid behov kan en elektrisk värmekabel inplaceras för uppvärmning av asfalten vintertid.

Vid ursparingar med asfaltsmassa som mynnar mot konstruktionens ovansida (som mothålls av gravitation samt friktion mellan asfaltsmassan och kanal), sker kontroll av asfaltnivån okulärt för att säkerställa god fyllnad. Enligt källor [2] är det förekommande att en hinna bildas på asfaltsytan, medan asfalten under denna har läckt ur fogen. För att undvika inkorrekta observationer, rekommenderas håltagning av asfaltshinnan. Vanligen kontrolleras nivåer och tryck på dammkonstruktioner två till fyra gånger per år. Vissa dammar kan ha upp till 80 stycken påfyllningställen.

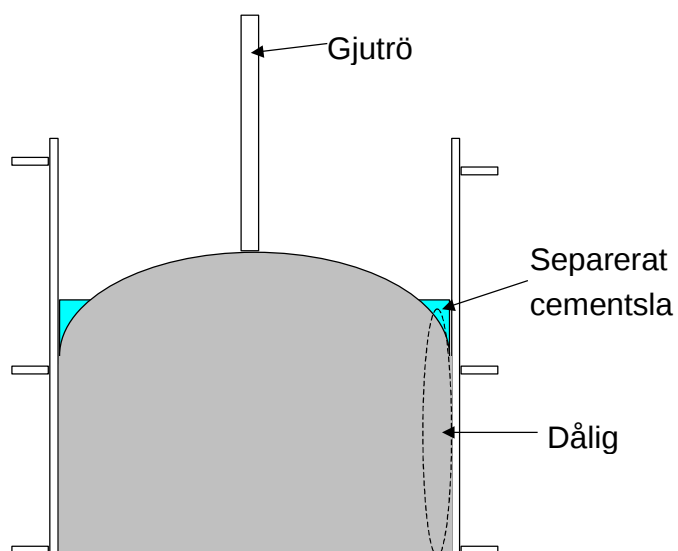
2.2.3 Gjutning

Enligt en tidigare rapport [2], har ett vanligt förekommande gjutningsförfarande, av höga Svenska betongdammar (ex. lamelldammar), varit följande:

Betonggjutningen utförs med hjälp av 3 st 'störtrör', i enlighet med figur 2.7 och 2.8. Den färska betongen transporteras via vibrering fram emot dilatationsfogen, varpå en motlutande överyta (intill fogen) olyckligtvis uppstår, se figur 2.8. Arbetet utförs dessutom via stighöjdsgjutning, vilket ytterligare bidrar till att stående vatten ansamlades i intill fogen, som sedan vibreras in i nästa 'betongpall'.



Figur 2.7 Schematiskt exempel på ett gjutningsförande med störtrör. Bildkälla Thorsell [2]. Figurens vy är sedd uppifrån.

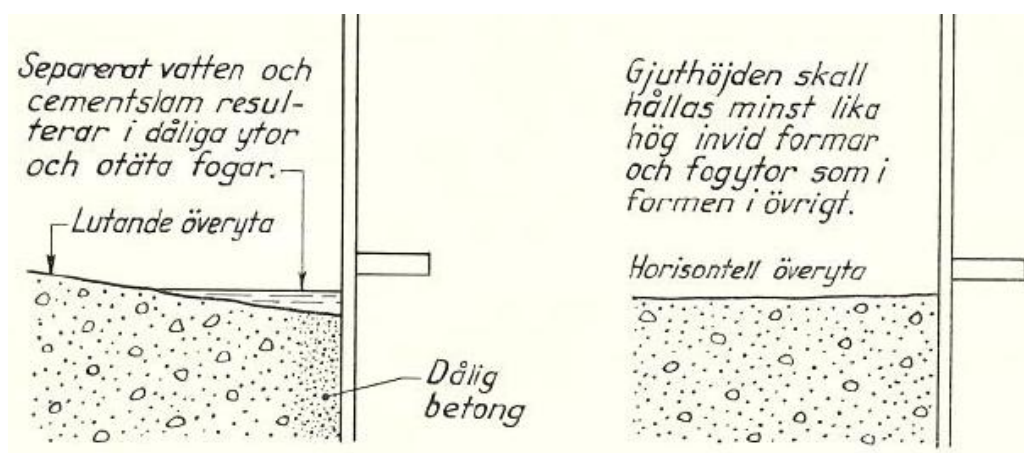


Figur 2.8 Schematiskt exempel på ett gjutningsförande med försämrat fogområde. Bildkälla Thorsell [2]. Figurens vy är sedd från sidan.

Detta förfarande kan bidra till att betongen i fogområdet får sämre kvalitet. Denna betong blir både stenfattigare och får ett högre vattencementtal (vct) än betongen i de centralare partierna (se Fig. 2.9), pga. en kombination av: vatten-, sten- och/eller bruksseparation. Detta kommer i sin tur att medföra att betongen får en:

- lägre hållfasthet
- högre porositet samt permeabilitet
- ökad urlakning
- försämrad frostbeständighet

Dessa ovanstående faktorer (var för sig eller i synergi med varandra) kan dessutom medföra en förhöjd risk för vattenläckage igenom fogområdet via betongen [6].



Figur 2.9 Gjutningsutförande med försämrad betongkvalité i fogområdet. Bildkälla Vattenfalls betonghandbok [3]. Figurens vy är sedd från sidan.

Som exempel kan nämnas ett fall som rapporterats i en tidigare elforskrapport [2], där betongkvaliteten i fogområdet undersöktes på en lamelldamm. Nedströms dammen vattenbilades konstruktionen, varpå det konstaterades att betongen var porösare och betydligt mera lättforcerad intill fogen, till skillnad från konstruktionens övriga delar.

Givetvis finns det dammar där uppmärksamhet har riktats för att hålla höga kanter (frånlut) mot ytterkanter/fogar [2], så att betongen upprätthåller en god kvalitet.

Förutom ovanstående gjutningsproblem, kan hålrum i anslutning till fogand uppstå pga. undermåligt komprimerad/vibrerad betong.

2.3 Skador och dess orsaker

2.3.1 Generella nedbrytningsmekanismer i betongdammskonstruktioner

Vattenkraftens konstruktioner är generellt sett utsatta för mekaniska laster (vattentryck, vind-, snö- och islast) och fysikaliska angrepp dominerade av frostsprängning och urlakning. Men även erosion samt kemiska- och elektrokemiska angrepp som alkaliskelreaktioner och (mindre sannolik) armeringskorrosion kan förekomma.

Frostangrepp

Förekomst av frysbart vatten i kombination med låga temperaturer kan leda till, för betongen, skadliga (expansiva) frostangrepp. Frostangreppets principiella verkningssätt och konsekvenser är 'allmänt' kända och beskrivs bl.a. i [7], [8], [9], [10]. Nedbrytning pga. av frysning har logiskt en stark koppling till fukttinnehållet i betongen. De, i sammanhanget, kritiska fuktnivåerna uppnås nästan uteslutande i situationer där konstruktionen stått i direkt kontakt med vatten under en relativt lång tid.

Urlakning

Urlakning ökar generellt sett med ett ökat fukttinnehåll i betongen. Rent (mjukt) vatten kan lösa avsevärda mängder kalciumhydroxid. Vatten som strömmar genom otät betong, eller genom sprickor, kan därför gradvis lösa ut den kalciumhydroxid som bildats vid cementreaktionen; denna process sänker även betongens pH. Vid tillräckligt stor kalkförlust bryts även den så kallade cementgelén ner. Kalkurlakningen kan därför medföra stora hållfasthetsförluster. Problemet har sin främsta aktualitet i porösbetong med låg grad av vattentäthet, samt i anslutning till grövre sprickor. Vattentät betong, dvs. betong med vct understigande 0.55 – 0.60, är normalt sett resistent mot detta. Även om denna betong skulle ha genomgående sprickor blir urlakningen begränsad till en tunn zon intill sprickan [11]. Enligt Ekström [12] sker urlakning på följande sätt:

- från ytan som "yturlakning" eller,
- genom betongkonstruktionen, homogen urlakning, eller att
- urlakningen sker lokalt via sprickor eller andra hålligheter

Erosion

Erosion på betongdammskonstruktioner förorsakas av tre samverkande mekanismer:

- Frostangrepp
- Urlakning

- Mekanisk erosion

Frostangrepp och urlakning är beskrivet ovan. Mekanisk erosion uppkommer då vattnet rör sig mot betongens yta. Inverkan från erosion beror på vattnets hastighet samt mängden partiklar i vattnet. Samverkan av de ovanstående processerna kan leda till att betong avskalas från konstruktionens yta i vattenlinjen eller därunder.

Armeringskorrosion

Armeringskorrosion är en av de absolut vanligaste bakomliggande orsakerna till skador på betongkonstruktioner. Fenomenet har undersökts av en rad forskare, se t.ex. [13]. Sannolikheten att armeringskorrosion ska inträffa/verka i de miljöer som existerar inom Vattenkraftindustrin, kan emellertid anses vara låg. En av de främsta anledningarna är en kombination av avsaknaden av klorider i älvvattnet och det relativt långsamma karbonatiseringsförloppet. Enligt en norsk fältstudie [14] så verkar, den i sammanhanget annars så betydande och oundvikliga, karbonatiseringen av betongen ske mycket långsamt, på de studerade vattenkraftverken. En tänkbar orsak till den långsamma karbonatiseringsprocessen, kan vara att vattenkraftsanläggningarna (nedströms och ovanför vattenlinjen) är belägna i en sådan exponeringsmiljö, så att dessa (betongen) över tid exponeras för en stor mängd väta (regn och/eller vattenaerosoler från det strömmande älvvattnet). Väta förhindrar att CO₂ diffunderar in i materialet (betongen) och därmed orsakar karbonatisering [11]. Slutligen, den betong som har använts för att bygga upp vattenkraftens infrastruktur (benämns som Vattenbyggnadsbetong [15]) är i allmänhet betydligt tätare ($\sim \leq 0.4$ vct med en tryckhållfasthet upp emot 70 MPa är inte ovanligt) än den betong som används vid byggandet av annan infrastruktur.

Alkalikiselreaktioner (AKR)

Alkalikiselreaktioner (AKR) är en skademekanism som uppkommer då ballast innehållande alkalilöslig kiselsyra används. Ballasten reagerar med det alkalirika porvattnet, vilket medför att en gel bildas invid ballastkornen. Gelen, kallad alkalikiselsyrage, sväller under reaktionen varpå den tar upp en stor mängd vatten. I vissa fall kan denna reaktion ge upphov till sprickbildning i konstruktioner, alternativt så kallad pop-outs. Höga relativa fuktnivåer krävs för att reaktionen skall starta, $\sim > 75$ % Relativ Fuktighet (RF), vilket medför att konstruktioner i eller i direkt anslutning till vattnet befinner sig i farozonen. Mineraler och bergarter som är potentiellt alkalikänsliga och förekommer i Sverige är bland annat: gnejs, granit, kvartsit samt flinta [16], för att nämna några. Sverige är, generellt sett, förskonat från ballast som kan medföra AKR, men med vissa undantag. Geografiska regioner där reaktiva bergarter finnes är primärt i Skåne och den svenska fjällkedjan. Den allmänna uppfattningen inom branschen är att denna typ av nedbrytning är ovanlig i Sverige men betydligt vanligare i Norge. En tidigare utförd studie pekar emellertid på att det finns ett antal betongkonstruktioner inom vattenkraftindustrin som består av betong som innehåller reaktiv ballast [17]. Misstankar finns även att en viss andel av den svenska vattenkraftsanläggningspopulationen har gjutits med betong innehållande

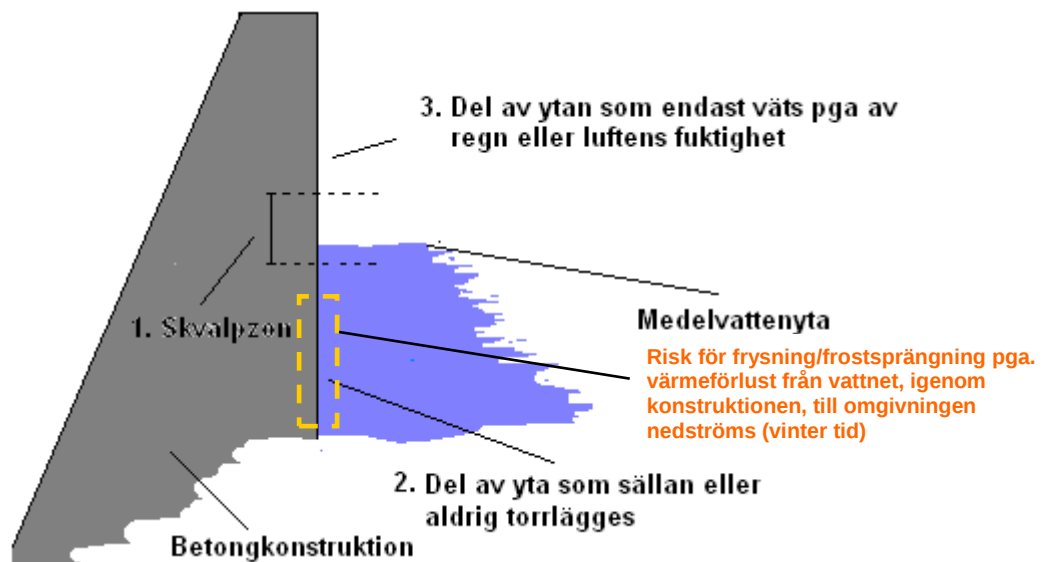
långsamreaktiv samt mellanreaktiv² ballast, vilket ev. kan medföra konstruktionsskador i framtiden. Risken för att detta skall inträffa samt med vilket hastighet reaktionen sker vet dock ingen. Det bör dock påpekas att konsekvensen av AKR många gånger blir relativt omfattande med ett komplicerat reparationsarbete som följd, om det över huvudtaget går att reparera konstruktioner eller hindra reaktionen.

2.3.2 Nedbrytning av betongen i fogområdet

I en sammanställning gjord av ICOLD [18], rapporteras (i form av ett stycke) att ett vanlig förkommande åldringsscenario, av dilatationsfogar i betongdammar som befinner sig i kalla klimat, är att fogens betongkanter/-hörn, på dammens uppströmssida, utsätts för frostangrepp. Dessa angrepp orsakar isnötning samt frostsprängning av betongen, vilket slutligen kan resultera i vattenläckage igenom fogområdet.

Detta skadescenario har även diskuterats av Thorsell [2] m.a.p. risk för frysning/frostsprängning pga. värmeförlust från vattnet, igenom konstruktionen, till omgivningen nedströms (vinter tid), se figur 2.10.

Graden samt fortskridningen och fortlöpningstiden av detta ovanstående skade-/åldringsscenario, är troligtvis beroende av gjutningsförfarandet i enlighet med stycke 2.2.3.



Figur 2.10. En schematisk exemplifiering av uppströmssidan på en dammkonstruktion där risk för frysning/frostsprängning under vattenytan föreligger. Bildkälla: Sandström [19]. Figurens vy är sedd från sidan.

² Ballast som har en långsammare AKR-hastighet. Behöver dock ej innebära en lägre slutprodukt.

2.3.3 Åldring av PVC-band i dammkonstruktioner

Vad gäller åldring/nedbrytning av PCV-band i dammkonstruktioner, föreligger migrering/urlakning av mjukgörare (vilket försprödar PVC materialet) som den primära nedbrytningsmekanismen. Annars tenderar UV-ljus nedbrytning vara den dominerande mekanismen, vid utomhusexponering av polymerer [5]. Detta föreligger dock inte p.g.a. av att PCV-banden är ingjutna i konstruktionen.

Mjukgörare tillsätts polymerer som själva är hårda. Dess molekyler lägger sig mellan polymermolekylerna vilket medför att polymermolekylerna får lättare att röra sig gentemot varandra (plasten blir mjuk). De vanligaste mjukgörarna som idag används tillhör ämnesgruppen ftalater.

Ftalater som vanligtvis används i PVC består av organiska estrar, d.v.s. reaktionsprodukter mellan en alkohol och en svag syra. Upp till ~40 % av ett mjukgjort PVC material kan bestå av mjukningsmedel [2, 5], eftersom PVC-polymererna i sig självt är styva.

Tillsatsens molekyler är i regel mindre än polymerens och inte explicit kemiskt bunden. Dessa bildar svagare/tillfälliga bindningar (t.ex. dipolbindningar) med polymeren, vilket medför dess benägenhet att vandra i materialet. Detta innebär att mjukgöraren i t.ex. mjukgjord PVC kan vandra till materialets yta och migrera, vilket minskar materialets flexibilitet³. Detta medför en risk för brott i t.ex. PVC-fogband, pga. att dessa skall uppfylla en funktion av att vara en rörlig/flexibel tätning. Dessutom orsakar en förlust av mjukgörare en volymförändring av PVC materialet, pga. dess höga materialandel³.

Kombinationen av fukt/vatten och högt pH (basisk miljö) kan även ge upphov till alkalisk hydrolys (kemisk nedbrytning) av mjukgöraren i materialet. Mjukgöraren/ftalaten (esterbindningar) bryts och de mindre molekylerna avges lättare från polymeren.

Relativt sett är betong med ett lågt vct mer alkalisk än en betong med ett högre vct (om de är baserade på samma cementsort). En betong med lågt vct har dessutom ett finare porsystem och är därmed tätare mot fukt än vad en betong med högt vct är. Förklaringen är att vct blir högre desto mer vatten i förhållande till cement som betongblandningen innehåller, vilket i sin tur leder till att fler porer bildas i betongen vid uttorkning [20, 21]. Fundamentalt sett är det andelen kapillärporer som förändras vid varierat vct. Betong med vct ≤ 0.39 har i princip inga kapillärporer [5].

³ Inom ramen för denna studie har dock ingen information kunnat erhållas ang. omfattningen av mjukgörarmigreringen och dess inverkan på materialets flexibilitet och volymförändring. Detta är troligtvis starkt betingat till div. PVC produkter och dess exponeringsmiljö och -tid.

För att en kemisk hydrolys ska kunna äga rum, krävs tillgång till både alkali och vatten. Detta medför att betongens sammansättning och dess fukthalt har stor betydelse för hur mycket mjukgörar-/ftalatemissioner som genereras i eller i samverkan med ett material, eftersom emissionerna ökar vid högre alkalinitet. Tidigare studier har visat att det kritiska värdet på RF ligger runt 90 % (vad gäller kemiska emissioner, med avseende på alkalisk hydrolys, från golvkonstruktioner med limmad PVC-matta på betong) i de flesta betongsorter. Något högre för standardbetong och något lägre för självtorkande betong [22].

En vattenlösning kallas alkalisk då pH-värdet är högre än 7. I betong är det hydratationsprodukten kalciumhydroxid som upprätthåller den alkaliska miljön. Enbart kalciumhydroxiden gör att betongens pH-värde ligger på ungefär 12,5. Koncentrationen hydroxidjoner är dock vanligtvis högre i ung betong, eftersom betongen (förutom kalciumhydroxid) innehåller de lättlösliga jonerna K^+ och Na^+ (vad gäller betongdammar, lakas dessa emellertid ur övertid). I dessa fall kan pH-värdet ligga mellan 13-14 och i vissa fall över 14 [22].

Vad gäller PVC-fogband som befinner sig i undermålig betong (högt vct vilket medför lägre pH-värde; se stycke 2.2.3 och 2.3.3), finns en frågeställning om i vilken grad detta påverkar den alkaliska hydrolysen av mjukgöraren (denna betong kan dessutom ha ett ytterligare sänkt pH, pga. en större benägenhet för urlakning; se stycke 2.3.1). Ytterligare frågeställningar är:

- Vilken RF kan förväntas i betong med ett relativt lågt vct (fukttät betong, se stycke 2.3.1 och 2.3.3) som omger PVC-fogband med avseende på alkalisk hydrolys?
- Är det rimligt att anta att betongen samt fogens placering i fritt vatten (på uppströmssidan av dammen) kommer att medför att PVC-fogbandet oavsett kommer att exponeras för en alkalisk fukt-/vätskelösning över tid?
- Vilken mängd mjukgörarmigrering/-nedbrytning krävs för att PVC-fogbandets flexibilitet och tätningsfunktionskrav (i en betongdammskonstruktion) riskeras; hur lång tid tar detta i en viss konstruktionsutformning som är placerad i en viss exponeringsmiljö (klimat)?

Inom ramen för denna rapport har dessa frågeställningar dock inte utretts.

2.3.4 Konstruktions- och arbetsutförande

Funktion, kvalitet och beständighet av byggnadsverk är, förutom dess ingående material och utformning, starkt beroende av arbetsutförandet. Upprätthålles ej nivåkravet på arbetsutförandet, riskeras att byggnadsverket och dess ingående komponenters funktionskrav ej uppfylls.

I enlighet med stycke 2.2.3, är gjutningsutförandet av stor betydelse vad gäller betongkvalitén och dess beständighet i fogområdet. Dessutom har installationsarbetet av fogarna stor betydelse. Enligt studierna av Bernstone [1] och Thorsell [2], sammanfattas att läckage och skador av fogband sker i stor del till följd av installationsarbetet.

Typiska defekter och orsaker kan sammanfattas som:

- Hålrum i anslutning till fogband orsakad av undermåligt komprimerad/vibrerad betong.
- Förorening av fogbandets yta som försämrar vidhäftningen mellan fogbandet och betongen.
- Punktering av fogbandet under konstruktionsfasen, alternativt att fogbandet överhuvudtaget inte installerats.
- Brott i fogbandet beroende på dålig eller ingen svetsning av fogbandets skarvar.

3 Kunskapsåterföring inom betongområdet från det amerikanska REMR-programmet

I tidigare rapporter av Bernstone [1] och Thorsell [2] presenteras en sammanställning av REMR-programmet, i syfte av kunskapsöverföring. Efter genomgång av arkivmaterial från ca 2000 rapporter har över 10 000 rapporterade skador registrerats. I genomsnitt uppvisade varje anläggning 17 st skador. Skadorna delades in i 8 olika typer: sprickor (38 %), läckage (20 %), avskalning (19 %), vridning/rörelser (7 %), erosion (6 %), delaminering (4 %), konstruktionsfel (2 %) och fogskador (2 %). 2 % fogskador kan verka lågt, men dessa skador är förhållandevis komplicerade att reparera.

Rapporten presenterar även en sammanställning av reparationer på dammkonstruktionen, med avseende på läckage i dilatationsfogar. Sammanställningen berör 12 st fall. En sammanfattning av typiska defekter på dessa är i enlighet med stycke 2.3.4. En gemensam nämnare för dessa skador och reparationer är att en kort tid efter utfört reparationsarbete uppträder nya läckage, med upprepade reparationsinsatser till följd.

Eftersom det vanligtvis är komplicerat att avlägsna tillräckligt mycket betong utmed en fog, så att fogbandet kan bytas ut; så är injektering eller installation av ett kompletterande fogband, de åtgärder som oftast används vid reparationsarbeten.

Reparationsmetoderna kan grupperas i 4 st basutföranden [1].

- Stålplatta med tätande gummimembran över fogen.
- Diktad fog med ifyllt elastiskt förseglingsmaterial.
- Injektering med ett elastiskt material.
- Ersätta eller komplettera med en asfaltsfylld kanal i fogen.

Anmärkning

I det enskilda fallet beror valet av reparationsmetod på faktorer som: fogvidd, rörelsegrad, verkande hydrauliskt tryck och vattenflöden genom fogen, miljö, typ av konstruktion, ekonomi, tillgänglig tid för utförande och möjlighet till åtkomst på uppströmssidan [1].

Problem med upprepade läckage och reparationsinsatser (enligt ovan) kan indikera att den använda reparationsmetoden (i det specifika fallet) inte var lämplig, vilket kan innebära att den troliga skadeorsaken beror på metodval och arbetsutförande. En ytterligare orsak till upprepade läckage kan vara att

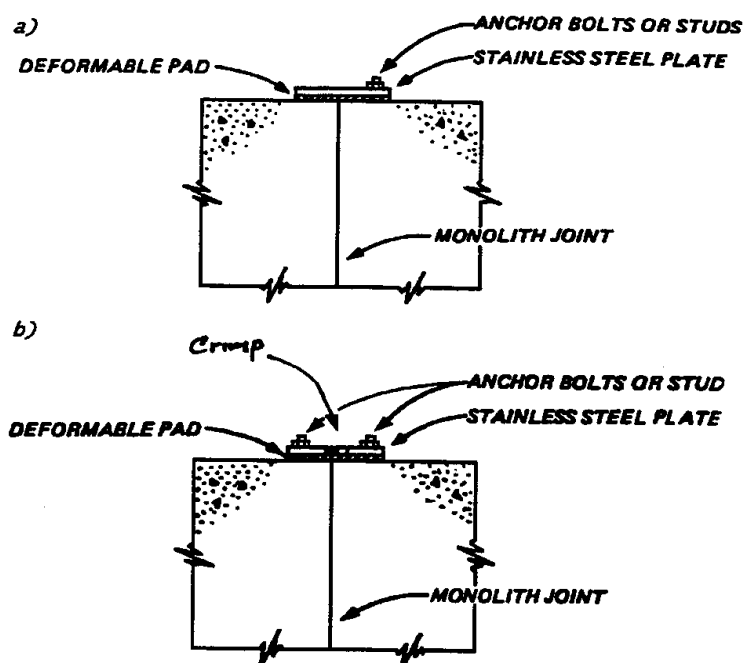
den applicerade reparationsmetoden utgår ifrån att det specifikt är fogbandet som fallerat och därmed läcker, medan det i själva verket är undermålig betong i fogområdet som är orsaken till läckaget. Detta innebär att den applicerade reparationsmetoden troligtvis tätar ett alldeles för snävt område.

Enligt diskussion från en tidigare studie [2], föreslås att läckage igenom ett fogområde skall skyddas mot frysning. Detta för att undvika ytterligare skador på en konstruktion och dess reparationer, m.a.p. dammar som befinner sig i kalla klimat. Vidare diskuteras (i form av ett exempel) att området mellan nedströms betongplatta och isoleringsvägg kan lämpligen förses med spillvärme från kraftverket, eller värme från någon annan källa, för att motverka frysning.

3.1 Grundläggande reparationsmetoder för läckande dilatationsfogar

Stålplatta med tätande gummimembran över fogen

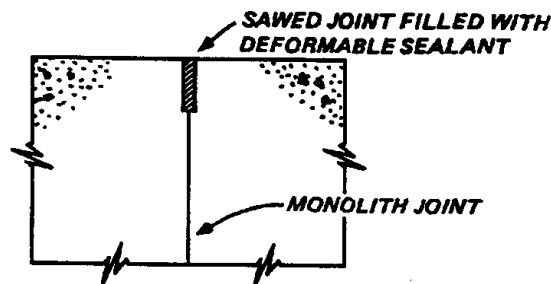
En platta, i allmänhet av rostfritt stål, kan användas för att täcka över fogen. Plattan kan förankras mot konstruktionsbetongen med bultar på ena sidan av fogen (se Fig. 3.1) eller, om plattan har ett dilatationsmaterial, via bultar på bägge sidor om fogen (se Fig. 3.1). Mellan stålplattan och fogen appliceras en gummiduk (membran). Reparationen är enkel att utföra och speciellt ämnade då reparationsområdet är lättåtkomliga. Metoden är inte lämplig när stora rörelser i konstruktionen kan förväntas.



Figur 3.1 Två exempel på utförande av tätande plattor över läckande konstruktionsfogar. Bildkälla: Bernstone [1]. Figurens vy är sedd uppifrån.

Diktad fog med ifyllt elastiskt förseglingsmaterial

Diktade fogar. En enkel och billig metod som innebär att ett spår sågas upp utmed fogens längd. Urtaget fylls med ett elastiskt förseglingsmaterial. Metoden är bäst lämpad då reservoarens vattennivå kan sänkas under reparationens nivå.



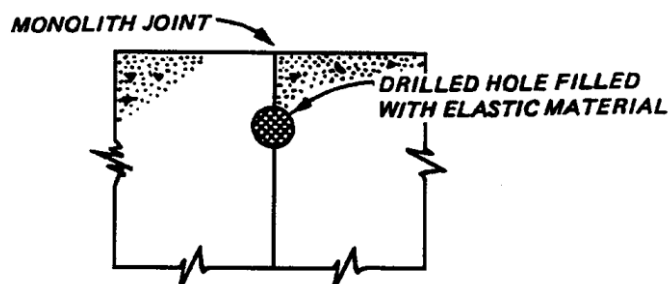
Figur 3.2 Typutförande av diktad fog. Bildkälla: Bernstone [1]. Figurens vy är sedd uppifrån.

Injektering med kemiskt baserat injekteringsbruk

Ett kemsikt injekteringsbruk pumpas till det skadade området via ett förbindelseborrhål. Injekteringsbruket skall vara: lågvisköst, gela/härda snabbt, erhålla god vidhäftning mot fuktiga/våta ytor, vara arbetbart under vatten, uppvisa bra elastisk styrka och tolerera förekomst av skräp (t.ex. borrhax). Metoden har med viss framgång använts för att reparera isolerade områden, i anslutning till inre dilatationsfogar, och därmed förhindrat läckage [1]. Injektering har även använts för att försegla ytligt liggande fogar på konstruktionens uppströmssida. En viktig aspekt med denna metod är dess möjlighet att med precision borra sig fram till problemutsatta områden (förutsatt att dessa har/kan lokaliseras) som behöver repareras.

Ersätta eller komplettera med en asfaltsfylld kanal i fogen

Borrhål som sträcker sig från konstruktionens överyta ned till dess bas, borrar utmed de enskilda betongmonoliternas vertikala dilatationsfogar (typisk diameter 75-150mm). Borrhålet fylls därefter med ett elastiskt material t.ex. asfalt. Kravspecifikationen på fyllnadsmaterialet omfattar: god förmåga att undantränga vatten, bibehålla elasticitet under konstruktionens livstid, praktiskt hanterbart i fält, ekonomiskt samt att klara hydrauliska tryck utan att pressas ut från borrhålet. Metoden används i allmänhet i de fall reparationsarbetet inte kan göras från konstruktionens uppströmssida. I några fall har borrhålet filmats, var på det har visat sig att borrhålets väggar varit ojämna med inslag av skjuvskador. I dessa fall installeras ett foderrör (motståndskraftig nylonförstärkt brandslang av polyvinyl) som fyllts med en 10%-ig bentonitslurry [1].



Figur 3.3 Tvärsnitt genom en fog som reparerats med ett borrhål utfyllt med ett elastiskt material. Bildkälla: Bernstone [1]. Figurens vy är sedd uppifrån.

Anmärkning

Utvändig renovering av skadade fogband är möjligt med olika typer av gummibaserade membran som limmas uppströms eller nedströms den skadade fogen. Även 'utanpåliggande' fogband kan användas (t.ex. se stycke 4.4.1). Problemet med utvändigt limmade fogband är att eventuellt vattenfyllda porer kan frysa loss membranet, samt att en tätning nedströms medför att fogen vattenfylls och därmed löper risk för frysning. Förslagsvis bör membranet appliceras på uppströmssidan, efter att betongen vattenbilas [2]. Denna placering rekommenderas även för ovannämnda dilatationsfogseparationer, som är förlagda på/vid ytan.

4 Nationellt utförda reparationsinsatser på dilatationsfogar

Inom ramen för denna studie har uppgifter primärt insamlats genom informationsutbyte med berörda dammägare inom Elforsk organisationen. Informationen grundar sig på utförda reparationsinsatser av dilatationsfogar, med avseende på läckage igenom dessa, eller utföranden som anknyter till detta.

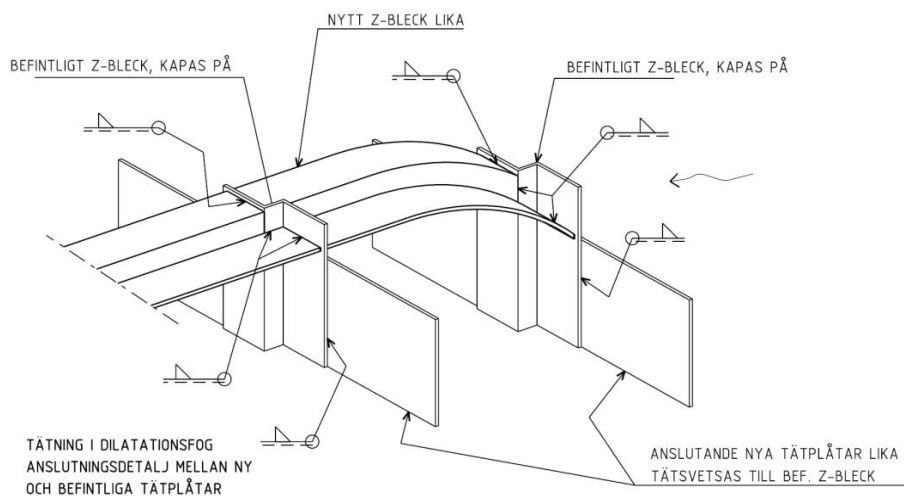
4.1 Reparationer utförda på dammar ägda av Fortum

Detta stycke presenterar reparationsinsatser utförda på dammar ägda av Fortum som anknyter till läckage igenom dilatationsfogar. Inom ramen för denna studie rapporteras tre fall. Dessa fall består av ombyggnationer och reparationer av utskov med tillhörande dilatationsfogar, samt tätning av en kanalvägg på uppströmssidan pga. läckage. Dessa arbeten och erfarenheter berör dock ej explicit dilatationsfogsreparationer, utan anknyter till detta genom att primärt presentera tekniska lösningar på anslutningar till befintliga fogar samt installation av nya. Vad gäller fallet tätning av kanalvägg, kan detta ses som en erfarenhet och kunskap gällande tätning av läckage igenom en dammkonstruktion ur ett generellt perspektiv.

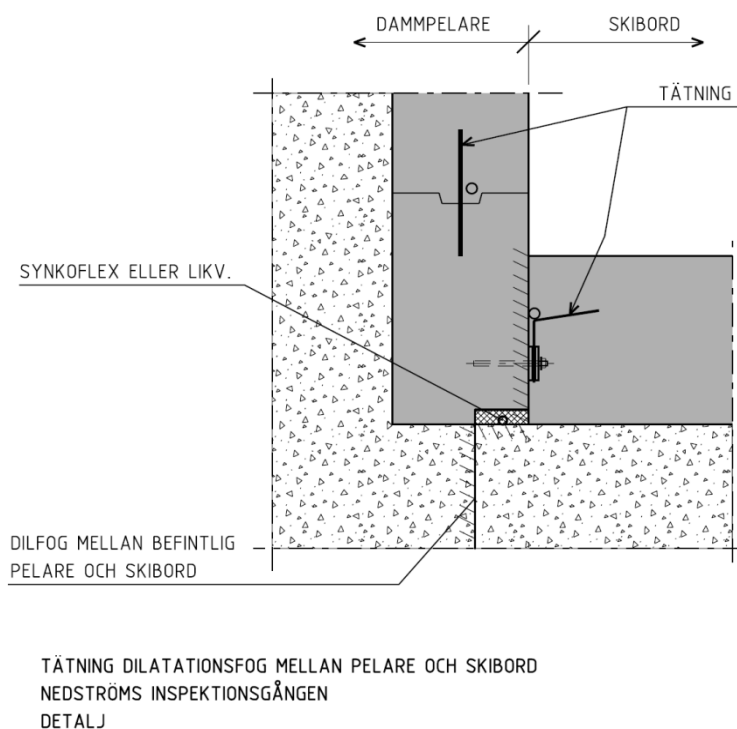
4.1.1 Laforsens kraftverk

Ombyggnation av utskov som säkerhetshöjande åtgärd, så att en större vattenvolym kan passera.

Arbetsutförandet bestod i att riva befintligt utskov, så att en lägre tröskel med tillhörande skibord kunde konstrueras. En ny tröskel samt skibord med dilatationsfogar av rostfri plåt konstruerades därefter. Anslutning av nya till befintliga dilatationsfogar utfördes (se Fig. 4.1 och 4.2). Det erfordrades dock kompletterande polyuretaninjektering för att få tätt pga. komplicerad geometri och svårighet att få tätt mot befintlig vattenbilad konstruktion. Konstruktionen borrades samt injekterades där läckaget antogs härröra ifrån; likt injektering av sprickor i betongdammskonstruktioner. Injekteringen har i nuläget varit i ca 5 år och uppvisar gott resultat.



Figur 4.1 Ritning som visar en 3-D vy som exemplifierar anslutning av skibordets nya dilatationsfog mot tröskelns befintliga. Ritningsunderlag från KFS AnläggningsKonstruktörer AB [23].



Figur 4.2 Ritning som visar en frontvy av anslutning samt tätning av nytt skibord mot dammpelare och befintliga dilatationsfogar. Ritningsunderlag från KFS AnläggningsKonstruktörer AB [23].



a)



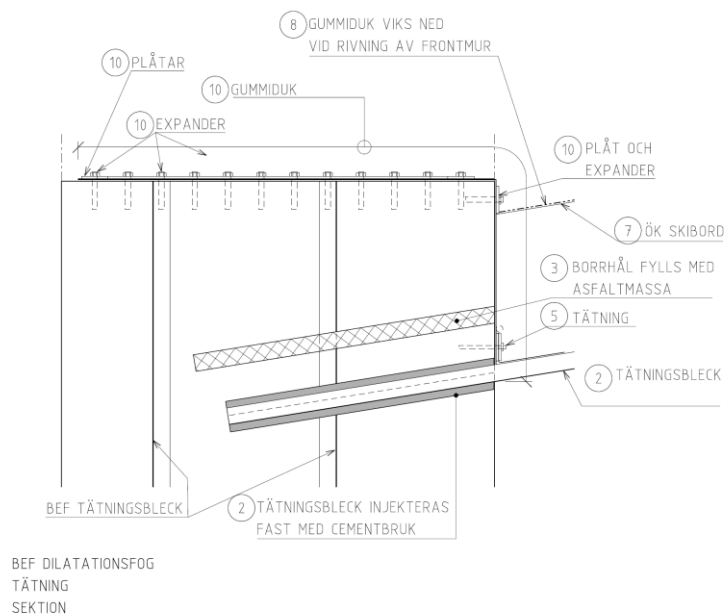
b)

Figur 4.3 Bilderna a) och b) visar pågående utskovsarbete och slutresultat av ombyggnationen på Laforsens kraftverk. Bildkälla: KFS AnläggningsKonstruktörer AB [23].

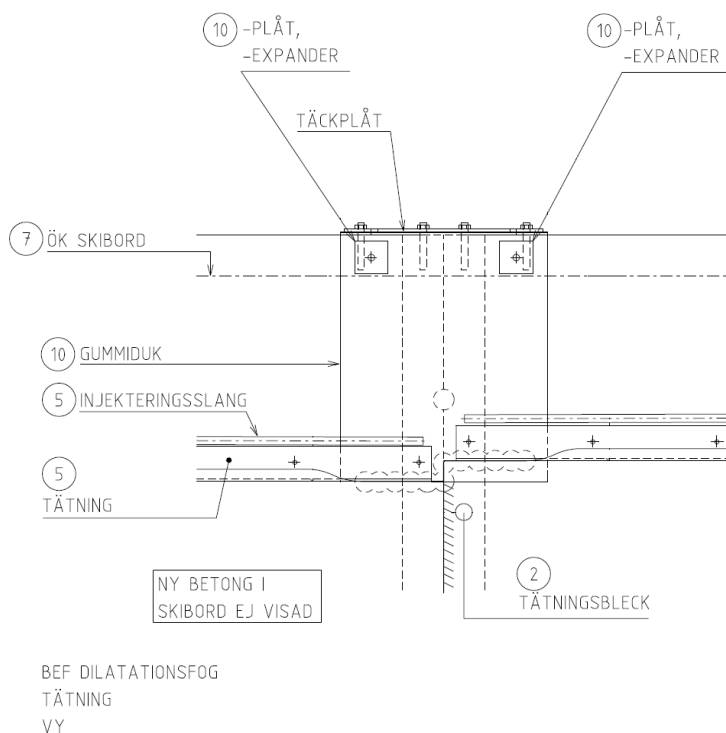
4.1.2 Svegs kraftverk

Ombyggnation av reservutskov som säkerhetshöjande åtgärd så att en större vattenvolym kan passera.

Arbetsutförandet bestod i att riva befintliga utskov så att lägre trösklar med tillhörande skibord kunde konstrueras. Nya trösklar samt skibord med dilatationsfogar av rostfri plåt konstruerades därefter. Anslutning av nya till befintliga dilatationsfogar utfördes. Tätning av befintliga dilatationsfogar med gummiduk och rostfri plåt på ovansidan utfördes (se Fig. 4.4 och 4.5). Även tätning av befintligt läckage genom injektering och duk på vattensidan (mot bottenutskovet) utfördes (se Fig. 4.4 och 4.5). Ombyggnationen är i dagsläget ca 5 år gammal och uppvisar god funktion.



Figur 4.4 Ritning som visar en sidovy av ny tröskel med tätning och anslutning mot befintliga dilatationsfogar. Monteringen av gummiduken utförs delvis under vatten. Ritningsunderlag från KFS AnläggningsKonstruktörer AB [23].



Figur 4.5 Ritning som visar en frontvy av Fig. 4.4. Ny tröskel med tätning och anslutning mot befintliga dilatationsfogar. Ritningsunderlag från KFS AnläggningsKonstruktörer AB [23].

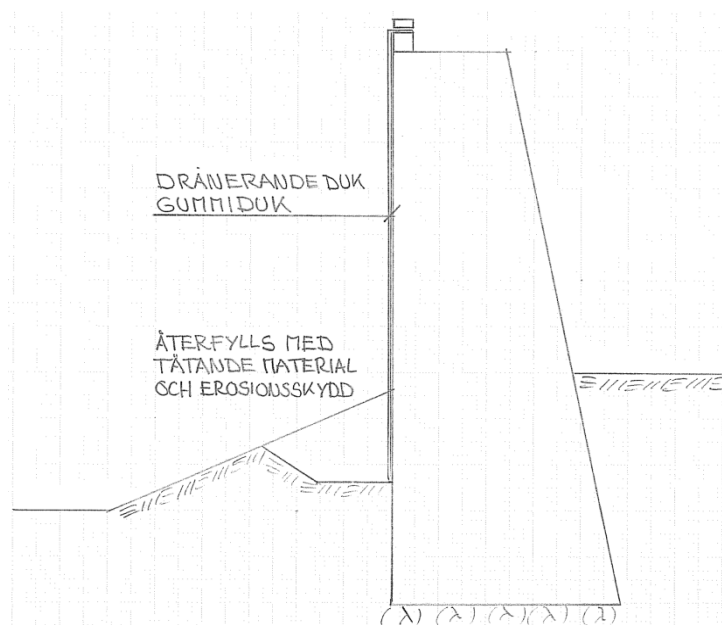


Figur 4.6 Till höger av bilden visas ombyggnationen av reservutskoven på Svegs kraftverk. Bildkälla: KFS AnläggningsKonstruktörer AB [23].

4.1.3 Forsa övre intag

Tätning av en kanalvägg pga. läckage. Tätningen genomfördes genom att applicera en geomembran med ett dränerande skikt baktill (se Fig. 4.7); i form av en tvåstegs tätning likt en husfasad eller en källarvägg som är inklädd med en Platonmatta. Det ev. dränerade vattnet leds bort från konstruktionen.

Arbetsutförandet genomfördes genom att intagsluckorna till kanalen stängdes och kanalen torrlades. Vattennivån i kanalen fick sänkas med högst 1 meter per dygn. Dränerande duk och geomembran (gummiduk) monterades med vertikala tätande lister som bultats fast i sidorna och med virke i överkant.



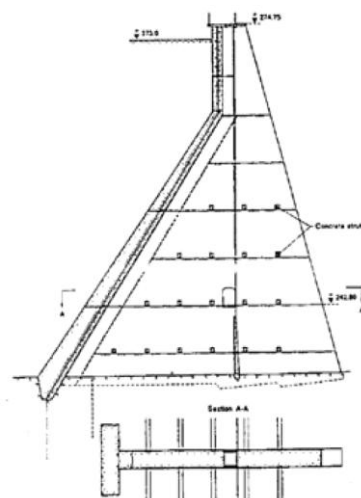
Figur 4.7 Ritning som visar en sidovy av kanalväggen som tätats med geomembran och ett dränerande skikt baktill. Ritningsunderlag från KFS AnläggningsKonstruktörer AB [23].

4.2 Reparationer utförda på dammar ägda av E-ON

Detta stycke presenterar reparationsinsatser utförda på dammar ägda av E-ON, som anknyter till läckage igenom dilatationsfogar. Inom ramen för denna studie rapporteras ett fall. Detta fall består av tillbyggnation/ombyggnation av nedströms sidan på två lamelldammar. Arbetet och erfarenheten berör dock ej explicit dilatationsfogsreparationer, utan anknyter till detta genom att primärt presentera tekniska lösningar beträffande stabilitet och täthet. Detta kan ses som erfarenhet och kunskap, gällande tätning av läckage igenom en dammkonstruktion samt stabilisering av denna, ur ett generellt perspektiv.

4.2.1 Storfinnforsens kraftverk

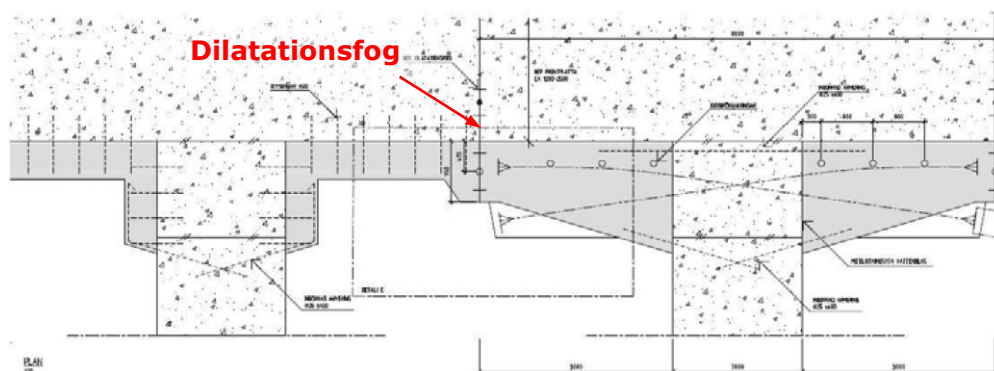
På uppdrag av E-ON Vattenkraft utförs åtgärder på lamelldammarna i Storfinnforsen och Ramsele. Åtgärderna omfattar både stabilitet och täthet av hela dammväggen pga. krackelering av denna. Bland annat utförs pågjutningar på nedströmssidan av två monoliter i Storfinnforsen, där två olika typer av tätningsåtgärder provas. På ena av monoliterna utförs en tätande pågjutning som förankras i befintlig frontplatta samt monolit (se Fig. 4.9). På en intilliggande monolit utförs en ny bärande och tätande konstruktion som spänns in i befintlig stödskena (se Fig. 4.9).



Figur 4.8 En bild på lamelldammen i Storfinnforsen, samt en genomskärning av denna.

Efter färdigställandet av dessa (som troligtvis sker under hösten 09) skall båda metoderna, under det närmaste året, utvärderas. Utvärderingen inkluderar även mätningar.

Ytan över pågjutningarna, som som börjar vid övergången mellan den lutande och den vertikala delen av frontplattan (se Fig. 4.8) skall tätning se senare. Utförandet av denna detalj är i nuläget ännu ej färdigprojekterad.



Figur 4.9 En planritning som till vänster visar den tätande pågjutningen som förankras i befintlig frontplatta samt monolit/stödskena. Till höger visas den bärande och tätande konstruktionen som spänns in i befintlig monolit/stödskena. Mellan båda konstruktionerna uppförs en dilatationsfog.

Dilatationsfogarna mellan konstruktionerna (se Fig. 4.9) utförs enligt gängse standard. Se bl.a. Vattenfalls Betonghandbok [3]. Utförandet innebär att dilatationsfogarna förses med två fogbandstättningar och mellanliggande ursparning för asfaltfyllning. Fogbandstättningarna som används i Storfinnforsen består av rostfria plåtfogband.

4.3 Reparationer utförda på dammar ägda av Statkraft

4.3.1 Stennäs kraftverk

Det som rapporterats av Statkraft gällande utförda reparationsinsatser av dilatationsfogar (med avseende på läckage i dessa) eller utförande som anknyter till detta, består av ett fall. I detta fall bestod skadan och dess reparation i att armeringen från en stödskena kom att (pga. missförstånd under konstruktionsutförandet) fortsätta in i brobanan. Detta medförde att en dilatationsfog i princip blev fastarmerad, som i sin tur orsakade en viss sprickbildning i stödpelaren. Felet korrigerades genom att armeringen kapades. I den skadade delen frilades armeringen i etapper och den skadade betongen ersattes med ny. Misstaget i konstruktionsutförandet inträffade 1989 och felet korrigerades 1992. Reparationen uppvisar än idag ett gott resultat.

4.4 Reparationer utförda på dammar ägda av Vattenregleringsföretagen

Detta stycke presenterar reparationsinsatser utförda på dammar ägda av Vattenregleringsföretagen. Inom ramen för denna studie är detta det enda påträffade fallet som explicit berör nationella dilatationsfogsreparationer m.a.p. läckage. Reparationsinsatsen utfördes på två dilatationsfogar på dammen i Gardiken. Den baserades på att fogområdet uppströms dammkonstruktionen vattenbilades och nya rostfria plåtfogband installerades via ingjutning.

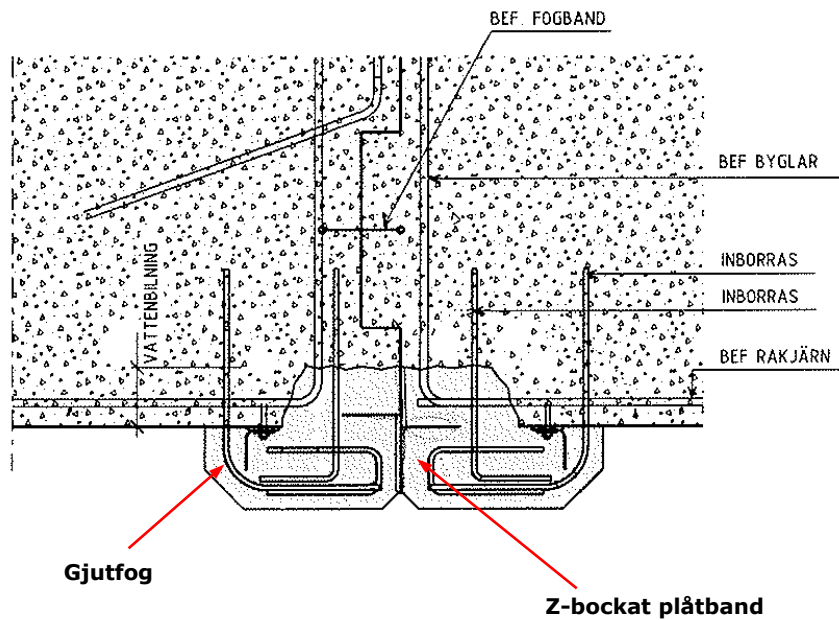
4.4.1 Gardiken

Orsaken till läckaget tros av dammägaren vara försprödade fogband och/eller eventuellt undermålig betongkvalité i fogområdet (se stycke 2.2.3 och 2.3.2). Som tidigare nämnts, baserades reparationsinsatsen på att fogområdet uppströms vattenbilades och nya rostfria plåtfogband installerades via ingjutning (se Fig. 4.11). Resultatet av insatsen är i dagsläget under utvärdering. Det som kan konstateras är att läckaget har tätats men ej helt upphört. Det är i nuläget inte klarlagt vad som orsakat detta. Dock diskuteras att möjliga orsaker kan vara undermålig betongkvalité i fogområdet (vilket orsakar läckage) och/eller att reparationsåtgärden ej erhållit dess antagna täthet (se även stycke 2.2.3 och 2.3.4 samt kapitel 3).

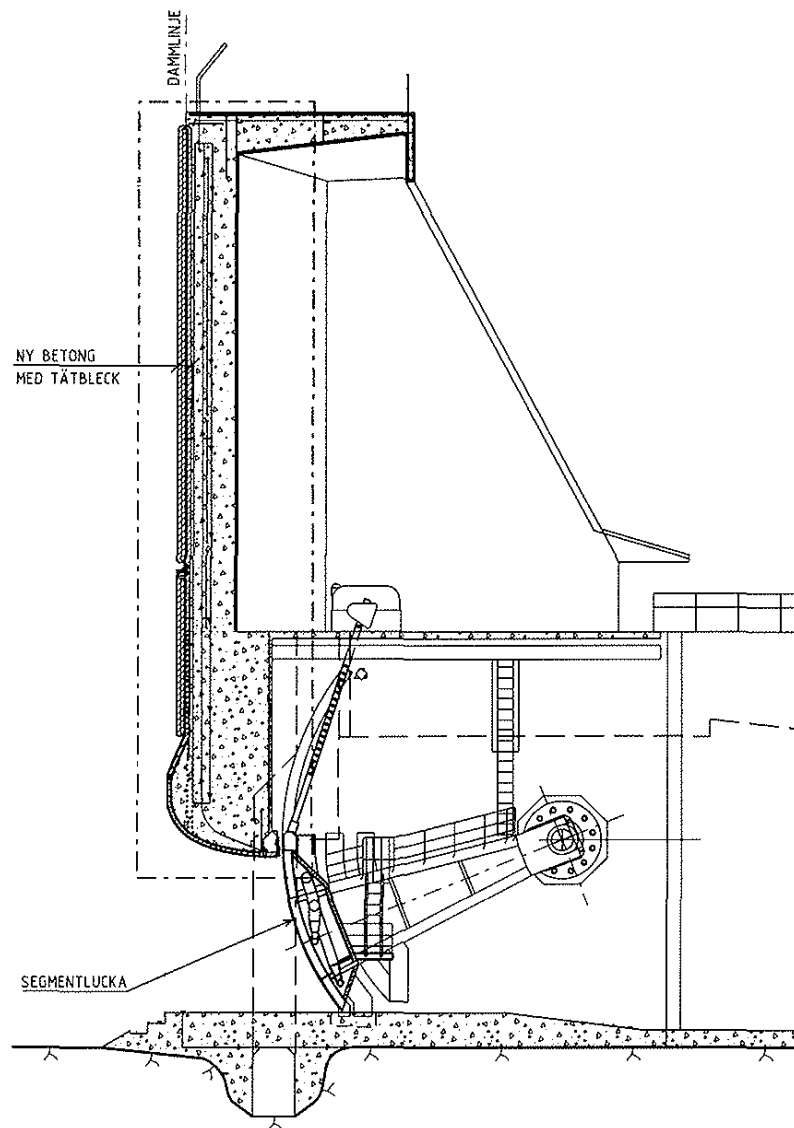
Reparationen av dilatationsfogarna pågick vårsäsongerna 2007-2009, då jobbet måste göras under lågvatten. Det enda återstående arbete är viss injektering till våren. Den befintliga dammen uppfördes under åren 1959 till 1963. Dammens ursprungliga dilatationsfogar består av ett enkelt PVC-band.



Figur 4.10 Bilderna visar pågående reparationsarbete av dilatationsfogarna på dammen i Gardiken och dess slutresultat.



a)



b)

Figur 4.11 a) Planritning som visar dilatationsfogsreparationen på Gardikendammens uppströmssida. b) Sektionsritning som visar dilatationsfogsreparationen. Fogreparationens nedre del skiljer sig en aning från figur a). Denna del består i princip av ett ytligt ingjutet tätbleck som är veckat.

5 Diskussion och slutsats

Vad gäller dilatationsfogar, har fokus i denna studie primärt legat på Svenska förhållanden med avseende på: förekommande fogtyper/-konstruktioner, fogars skadetyper och dess skadeorsaker, samt reparations-/ombyggnadsmetoder och praktiska erfarenheter/kunskaper. Kunskaperna från tidigare studier visar på att nedanstående summering av fogskador (var för sig eller i synergier med varandra) föreligger som de dominerande orsakerna till uppkomsten av läckage genom ett fogområde.

- Dålig betong i fogområdet pga. gjutningsförfarandet. Betongen blir stenfattig och får ett högre vct, pga. en kombination av: vatten-, sten- och/eller bruksseparation. Detta medför att betongen får en: lägre hållfasthet, högre porositet samt permeabilitet, förhöjd urlakning och försämrad frostbeständighet. Förutom ovanstående gjutningsproblem, kan hålrum i fogområdet uppstå pga. undermåligt komprimerad/vibrerad betong.
- Nedbrytning av betongen i fogområdet pga. kallt klimat som utsätter betongen för frostangrepp (isnötning samt forstsprängning). Graden samt fortskridningen och fortlöpningstiden av detta skade-/åldringsscenario, är troligtvis beroende av gjutningsförfarandet i enlighet med ovanstående punkt.
- Brist i konstruktions och arbetsutförande vad gäller installation av fogbanden.
- Åldring av PVC-bandet i dammkonstruktionen pga. urlakning samt alkalisk hydrolys av mjukgöraren (vilket förspödar och krymper PVC-bandet).

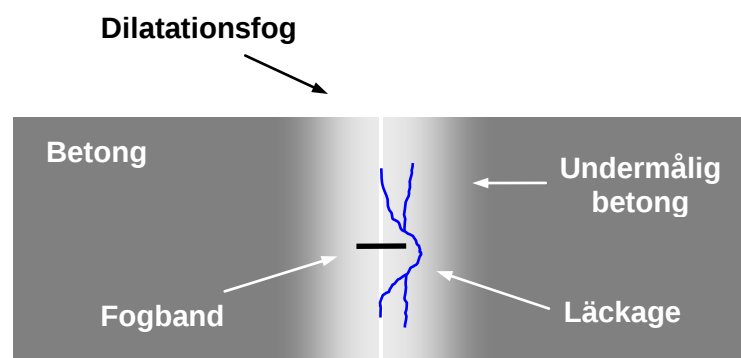
Att reparera läckande dilatationsfogar i dammkonstruktioner har i praktiken visat sig vara komplicerat. Reparationsinsatserna kan leda till otillfredsställande resultat med upprepade läckage samt tätningsinsatser som följd. Problematiken ligger primärt i att dammkonstruktionen delvis ligger under vatten (som utövar ett hydrostatiskt tryck på konstruktionen), samt att den tätande fogutformningen är ingjuten i konstruktionen, vilket ytterligare försvårar dess åtkomlighet (därför även inspektion). Dessutom försvåras situationen ytterligare av att fogarna/fogtätningen kan bestå av komplicerade geometrier. På grund av ovanstående problematik/komplexitet, har det varit av betydelse att sammanställa kunskaper samt erfarenheter angående åldring och reparationer av dilatationsfogar, för att kunna bistå valet/utformningen av framtida reparationsinsatser.

Reparationer som fallerat har i allmänhet uppvisat en trend i att en relativt kort tid efter utförd reparationsinsats, uppstår nya läckage. Dessa problem kan indikera att den använda reparationsmetoden (i det specifika fallet) inte

var lämplig, vilket kan innebära att den troliga skadeorsaken beror på metodval och/eller arbetsutförande.

En ytterligare orsak till upprepade läckage kan vara att den applicerade reparationsmetoden utgår ifrån att det specifikt är fogbandet som fallerat och därav läcker, medan det i själva verket är undermålig betong i fogområdet som är orsaken till läckage (se Fig. 5.1). Detta innebär att den applicerade reparationsmetoden troligtvis tätar ett alldeles för snävt område.

Gällande reparationers specifika funktion-över-tid [24] och åldring, har det inom ramen för denna studie inte påträffats någon information.



Figur 5.1 En schematisk exemplifiering av läckage igenom ett fogområde pga. undermålig betong. Figurens vy är sedd uppifrån.

Enligt diskussionen från kapitel 3, föreslår en tidigare studie [2] att läckage igenom ett fogområde skall skyddas mot frysning. Detta för att undvika ytterligare skador på en konstruktion och dess reparationer, m.a.p. dammar som befinner sig i kalla klimat. Vidare diskuteras (i form av ett exempel) att området mellan nedströms betongplatta och isoleringsvägg kan lämpligen förses med spillvärme från kraftverket, eller värme från någon annan källa, för att motverka frysning.

Denna metod i kombination med fogreparation kan vara ett tillvägagångssätt för att upprätthålla fogens funktion-över-tid [24], m.a.p svårighet att hermetiskt täta ett fogområde. I praktiken kan ett fogläckage vara komplicerat att täta helt. En hermetiskt tätande insats kan visa sig vara varken tekniskt eller ekonomiskt försvarbart. I en sådan situation kan den diskuterade metoden med inhyst värme (i någon form) vara lämplig, m.a.p. att en enklare reparation innebär ett visst läckage men utan risk för sönderfrysning. Den kvarvarande samt dominerade nedbrytningsmekanismen, i detta fall, är den fortsatta urlakningen av betongen i fogområdet. Vilken effekt detta har på reparationens funktion-över-tid [24] är inte utrett. Oavsett så bör denna metod rimligtvis uppvisa en större livslängd än en ouppvärmad fogreparation.

Ovanstående metodförslag bör dock utredas för att kunna påvisa dess tekniska samt ekonomiska nytta. Studier har t.ex. påvisat att en

uppvärmd/isolerad dammvägg kan, i vissa fall, förvärpa en existerande sprickbildning [25]. Dessutom kan ev. fuktvandring (varierad RF fördelning) i betongkonstruktionen inträffa p.g.a. partiell uppvärmning, ekvivalent med omvänd fukttransport i en betongplatta på mark [26]. Det bör dock utredas om detta scenario kan föranleda till någon förhöjd risk (av signifikans) av betongfrostsprängning i kalla klimat; m.a.p.: fuktfördelning, vattenmättnadsgrad och rådande porsystem.

Oavsett om de troligt dominerande orsakerna till dagens fogläckage är: undermålig betong i fogområdet, åldring av PVC-band och/eller brist i fogbandets konstruktions och arbetsutförande, är frågan (inom ramen för denna studie) ang. fogbandens nuvarande tillstånd och kvarvarande livslängd (m.a.p. dess materialåldring) outredd.

Gällande de nationella utförda reparationsinsatserna på dilatationsfogar, kan det konstateras att ett fall av explicita dilatationsfogsreparationer har rapporterats (se avsnitt 4.4.1) m.a.p. läckage. Dessa utfördes på Gardikendammen. Reparationsinsatsen baserades på att fogområdet uppströms vattenbilades och nya rostfria plåtfogband installerades via ingjutning. Orsaken till läckaget tros av dammägaren vara försprödade fogband samt eventuellt undermålig betongkvalité i fogområdet. Resultatet av reparationsinsatsen är i dagsläget under utvärdering. Det som kan konstateras är att läckaget har minskats men inte helt upphört (dock återstår ett visst injekteringsarbete). Det är i nuläget ej klarlagt vad som har orsakat detta. Dock diskuteras att möjliga orsaker kan vara undermålig betongkvalité i fogområdet (vilket orsakar läckage) och/eller att reparationsåtgärden ej erhållit dess antagna täthet. Om det förstnämnda är den primära orsaken till fortsatt läckage, så är det sannolikt att den utförda reparationsinsatsen tätat ett alldeles för snävt område (i enlighet med ovanstående diskussion).

Övriga nationellt utförda reparationer som har rapporterats består av ombyggnationer och reparationer av utskov med tillhörande dilatationsfogar, tätning av en dammvägg på uppströmssidan (pga. läckage) med geomembran, samt pågjutning på nedströmssidan av en dammvägg beträffande stabilitet och täthet. Gällande ombyggnationer och reparationer av utskov med tillhörande dilatationsfogar, rapporteras även här svårigheter med att åstadkomma helt täta konstruktioner, där kompletterande injektering födrats. Dessa ovanstående arbeten och erfarenheter berör dock ej explicit dilatationsfogsreparationer, utan anknyter till detta genom att primärt presentera tekniska lösningar på anslutningar till befintliga fogar samt installation av nya. Vad gäller fallen tätning av dammvägg (med geomembran eller pågjutning), kan detta ses som erfarenheter och kunskaper gällande tätning av läckage genom en dammkonstruktion ur ett generellt perspektiv.

Ovanstående summering påvisar att teknisk och praktisk kompetens (på nationell basis) finns, gällande reparationsinsatser av denna karaktär.

6 Behov av fortsatta FoU insatser

För att kunna bistå valet/utformningen av framtida reparationsinsatser, m.a.p. lämplighet och beständighet, krävs att ökad kunskap tillhandahålls. Genom att studera samt utvärdera åldring och prestandaförsämring av dilatationsfogar (betong samt PVC- och plåt-band) och dess reparationer, kan denna information införskaffas. Detta utförs förslagsvis via tre delarbeten:

1. Att kartlägga och kvantifiera bakomliggande nedbrytningsfaktorer och -mekanismer som orsakar läckage igenom ett dilatationsfogsområde. Av intresse är att studera uppkomsten av skador och dess propagering.
2. Att studera betongkvalitén i fogområdet på skadade dilatationsfogar i betongdammar. Dessutom, delvis eller helt reparera befintliga dilatationsfogar i betongdammar med olika metoder (förslagsvis i enlighet med kapitel 3 och 4) samt utvärdera dess täthet och funktion över tid; samtidigt som material och klimatparametrar som t.ex. temperatur och RF loggas.
3. Betongprovkroppar av varierad betongkvalité (med inhysta fogband) exponeras i älvmiljö via en fältexponeringsstation (se Fig. 6.1). Detta skall simulera åldring av fogen i fält pga. varierad betongkvalitet samt nedbrytning med avseende på kallt klimat (enligt stycke 2.3.2). Provkropparna skall dessutom utsättas för dilatation (rörelse) vilket skall återspegla dess verkliga funktion. Exponering av provkroppar via en fältstation möjliggör för detaljerad loggning av nedbrytning och utvärdering av åldring.

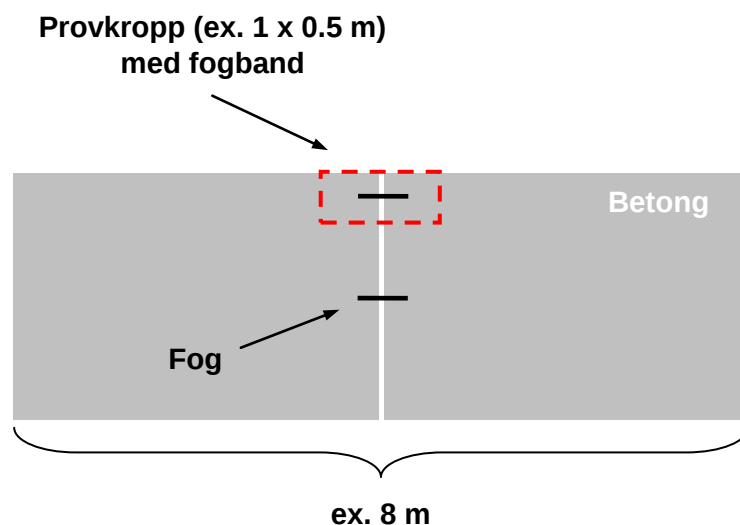
Av ytterligare intresse är att utvärdera:

- försprödningen av PVC-fogbanden i fält, orsakat av urlakning/nedbrytning av materialets mjukgörare, samt dess inverkan på funktion m.a.p. varierad årstemperatur och rörelse
- försprödning, åldring och beständighet av fogbandsskarvar i fält orsakad av urlakning/nedbrytning av materialets mjukgörare samt varierande årstemperatur och rörelse
- försprödning, åldring och beständighet av fogbandsskarvar i fält m.a.p. varierat arbetsutförande

Här ges även möjlighet till att kombinera certifieringstester (av PVC-fogband) med fältexponeringar, för att kunna transformera labbresultat till ett simulerat driftfall och/eller vice versa. Dessutom ges möjligheter till att gjuta in (i varierad betongkvalité) i förväg

försprödade fogband och exponera dessa för att studera dess långtidsprestanda i fält. Tanken är att studera beständigheten hos åldrade fogband i fält m.a.p. varierad betongkvalité, årstemperatur och rörelse.

Förutom själva fogåldringen kan även olika reparationsmetoder (förslagsvis i enlighet med kapitel 3 och 4) utvärderas m.a.p. den varierande betongkvalitén hos de olika provkropparna.



Figur 6.1 En schematisk exemplifiering av ett fogband i en dammkonstruktion som är satt i relation till en provkropp. Observera att figuren ej är skalenligt ritad. Figurens vy är sedd uppifrån.

Kvantifieringen av fogåldringen kan bestå av att:

- fogområdet i provkroppen utsätts för ensidigt vattentryck i labb för att utvärdera dess täthet
- betongen analyseras m.a.p. sprickbildning och urlakning: visuellt, via provtryckning, via pH-mätningar
- fogen/fogskarven avlägsnas och analyseras i labb m.a.p. draghållfasthet och elasticitet
- klimatparametrar samt provkroppens temperatur och RF loggas under fältexponeringen

Kombination av dessa föreslagna delarbeten ger de bästa förutsättningarna för tillhandahållande av kunskap och information för att kunna bistå valet/utformningen av framtida reparationsinsatser, m.a.p. lämplighet och beständighet.

Provning/exponering via en fältstation ger möjlighet att detaljerat studera skademekanismer och dess effekter samt möjligheter att verifiera och utveckla provnings- och analysmetoder, och inte minst utvärdera reparationsmaterial och reparationssystem. Svårigheterna med exponering via en fältstation är att säkerställa att den åldring/nedbrytning som sker återspeglar ett verkligt händelseförlopp på en anläggning. Att utföra reparationstester (i princip) i fullskal på anläggningar ger möjligheter till att: praktiskt, tekniskt och ekonomiskt utvärdera samt studera lämplighet och beständighet hos dessa. Svårigheterna med dessa tester är att detaljerat studera åldringen/nedbrytningen, samt att tillhandahålla gott nog med information så att kunskapen inte enbart blir anläggningsspecifik utan kan appliceras på andra anläggningar/fall.

Avslutningsvis bör det poängteras att samtliga fälttester kräver betydande exponering över tid för att kunna detektera nedbrytning.

Referenser

- [1] Bernstone, C. (1998). Kunskapsåterföring på betongområdet från det amerikanska REMR-programmet, Elforsk rapport 98:33.
- [2] Thorsell, P-E. (2004). Fogar och fogreparationer, Elforsk rapport 04:23.
- [3] Statens Vattenfallsverk, Byggnadsteknik, (1972). Vattenfalls betonghandbok, Boktryckeri AB Thule, ISBN 91-7186-003-7.
- [4] Donaldson, M. (1986). Materials for joints in concrete dams, CIGB - ICOLD, Bulletin 57: 1986.
- [5] Bjurström, P-G. (2001). Byggnadsmaterial – Uppbyggnad, tillverkning och egenskaper, Studentlitteratur, Lund, ISBN 91-44-01176-8.
- [6] Molin, C. (1992). Betonghandbok – Arbetsutförande, Projektering och Byggande, Kapitel 14 – Fogar i platsgjutna konstruktioner, AB Svensk Byggtjänst och Cementa AB, Örebro, ISBN 91-7332-586-4.
- [7] Nilsson, L-O. (2006). Fuktpåverkan på Material – Kritiska Fuktnivåer, SBUF, Formas, Stockholm 2006.
- [8] Svenska Betongföreningen, (2002). Vägledning för val av exponeringsklass enligt SS-EN 206-1, Stockholm, november 2002
- [9] Fagerlund, G, (2000). Leaching of Concrete – the leaching process. Extrapolation of deterioration. Effect on the structural stability, Report TVBM-3091, Lund 2000.
- [10] Fagerlund, G. (2006). A service life model for internal frost damage in concrete, Rapport TVBM-3119, Lund 2006.
- [11] Fagerlund, G. (1992). Betongkonstruktioners beständighet – En översikt, Cementa AB, Danderyd 1992, ISBN 91-87334-00-3.
- [12] Ekström, T. (2001). Leaching of Concrete – Experiments and Modelling, Report TVBM-3090, Lund 2001.
- [13] Skoglund, P. (2006). Chloride transport and reinforcement corrosion in the vicinity of the transition zone between substrate and repair concrete, Licentiatavhandling, KTH, TRITA-BKN, Bulletin 89, Stockholm 2006.
- [14] Svedsen, V. K., Torblaa, E. J. (1989). Karbonatisering av betong, et problem på norsk dammer, Publikasjon Nr v 19, Vassdragsdirektoriatet 1989.
- [15] Fagerlund, G. (1989). Vattenbyggnadsbetong, Rapport, Cementa AB, Danderyd 1989.
- [16] Rombén, L. (1994), Material, Kapitel 23 – Kemiskt angrepp, AB Svensk Byggtjänst och Cementa AB, Stockholm, ISBN 91-7332-799-9.

- [17] Grönholm, R. (2001). Reparationsmetoder vid alkalisksyrskadorna i betongdammar, Elforsk rapport: 01:2, Artikelnummer: 1196.
- [18] CIGB - ICOLD (1994). Ageing of dams and appurtenant works - Review and recommendations, CIGB - ICOLD, Bulletin 93: 1994.
- [19] Sandström, T. (2009). Injekteringsbetong - En litteraturstudie samt ett förslag på fortsatt arbete, Elforsk rapport 09:89.
- [20] Sjöberg, A. (2001). Egenskaper och funktion hos fukt- och alkalispärrar på betong. Publikation P-01:5, Institutionen för byggnadsmaterial, Chalmers tekniska högskola, Göteborg.
- [21] Sjöberg, A. (2001). Sekundära emissioner från betonggolvet med limmade golvmaterial - effekter av alkalisk hydrolys och deponerade nedbrytningsprodukter. Publikation P-01:4, Institutionen för byggnadsmaterial, Chalmers tekniska högskola, Göteborg.
- [22] Wengholt Johnsson, H. (1995). Kemisk emission från golvsystem - effekt av olika betingkvalitet och fuktbelastning. Publikation P-95:4, Institutionen för byggnadsmaterial, Chalmers tekniska högskola, Göteborg.
- [23] KFS AnläggningsKonstruktörer AB (2009). <http://www.kfs.se>, webbplatsen besökt 2009-12-21.
- [24] ISO (2000). ISO 15686-1 Building and Constructed Assets - Service Life Planning Part 1: General principles. ISO 15686-1:2000.
- [25] Malm, R. (2009). Predicting shear type crack initiation and growth in concrete with non-linear finite element method, Doktorsavhandling, KTH, Bygghälsan, Stockholm 2009.
- [26] Nilsson, L-O. (2009). Omvänd fuktvandring vid avstängning av golvvärme på sommaren. Fuktcentrum, Lunds Tekniska Högskola, http://www.fuktcentrum.lth.se/verktyg_och_hjelpmedel/fuktskador/omvaend_fuktvandring/, webbplatsen besökt 2009-12-21.

ELFORSK

SVENSKA ELFÖRETAGENS FORSKNINGS- OCH UTVECKLINGS – ELFORSK – AB
Elforsk AB, 101 53 Stockholm. Besöksadress: Olof Palmes Gata 31
Telefon: 08-677 25 30. Telefax 08-677 25 35
www.elforsk.se