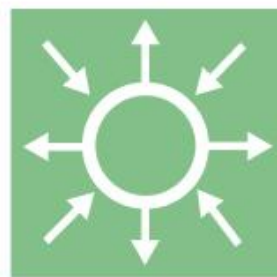
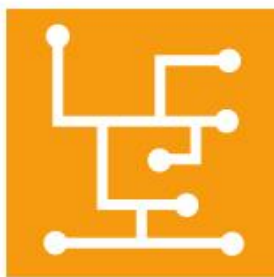


# Skador och reparationsmetoder

Elforsk rapport 08:65



Tomas Sandström

Mars 2006

**ELFORSK**

# Skador och reparationsmetoder

Elforsk rapport 08:65

## Förord

Svenska vattenkraftföretag har sedan 1995 finansierat betongtekniskt utvecklingsarbete inriktat mot vattenkraftföretagens behov.

Syftet med den verksamhet som bedrivs är att stå för ett kvalificerat stöd till vattenkraftföretagen i de byggfrågor som faller under hela den tekniska förvaltningskedjan. Målet är att ta fram verktyg, riktlinjer, utförandebeskrivningar och teknik som fyller industrins behov, bl.a. genom ett koppla resultat till RIDAS med tillämpningsanvisningar. Målet är också att utifrån industriperspektiv bygga kompetens på olika håll i samhället där så behövs. En viktig del är att medverka till att det kommer fram studenter, tekniska licentiater och doktorer som har genomfört arbeten inom områden som ligger nära branschens intressen.

Programmet administreras med hjälp av en styrgrupp med följande ledamöter:

Malte Cederström, Vattenfall Vattenkraft  
Johanna Feldtman, E.ON Vattenkraft Sverige  
Jan Liif, Statkraft AS  
Erik Nordström, Vattenfall Vattenkraft  
Karin Persson, Fortum  
Gunnar Sjödin, Vattenregleringsföretagen  
Lars Hammar, Elforsk

Stockholm oktober 2008

Lars Hammar  
Elforsk AB



## Sammanfattning

I takt med att de producerande bolagen inom energibranschen, då inte minst Vattenkraftsektorn, befinner sig i ett skede då fokus förflyttas från 1900-talets uppbyggnadsfas till nutidens förvaltande fas, så växer behovet av kunskap och förståelse för frågeställningar rörande effektiva/funktionella reparationsmetoder.

Vattenkraftens konstruktioner är, generellt sett, utsatta för ett antal olika typer av laster (vattentryck, vind-, snö- och islast) samt fysikaliska angrepp dominerade av frostsprängning, urlakning och erosion. Även kemiska och elektrokemiska angrepp såsom alkalikiselreaktioner och armeringskorrosion kan förekomma i dessa miljöer. Alla ovannämnda typer av nedbrytande mekanismer kan förorsaka skador i betongkonstruktioner.

Vattenkraftsbranschen har i dagsläget en relativt god kunskap vad det gäller vissa typer av reparations- och förstärkningsmetoder, kanske framförallt när det kommer till injektering och sprutbetonering av betongkonstruktioner **[1 & 2]**. Syftet med denna rapport är att påvisa den potentiella nyttan med, samt att belysa Vattenkraftens behov av, en djupare kunskap om betongreparationer genom pågjutning.

I princip så utförs pågjutning genom att man helt eller delvis tar bort den skadade betongen och pågjuter den med en ny betong. Pågjutningen skall kunna motstå de belastningar och angrepp betongkonstruktionen utsätts för. Pågjutningen ska också samverka med, och skydda, den underliggande betongen under en lång tid.

I denna rapport behandlas de fysikaliska och kemiska fenomen som anses vara de mest aktuella i vattenkraftsmiljö. Vidare så belyses de skador som dessa fenomen kan ge upphov till. Bakgrunden till skadeanalysen ligger i litteraturen och i Elforsks databas om betongreparationer samt iakttagelser gjorda på ett antal svenska vattenkraftverk.

Här ges också exempel på olika typer av konstruktioner (och konstruktionsdelar) där olika typer av skador kan uppstå. Vidare beskrivs principiella reparationsmetoder för åtgärdande av de föreslagna typerna av skador.

Situationen för vattenkraftens betongkonstruktioner kan sammanfattas enligt nedan:

- De allra flesta skadorna som uppstår på betongkonstruktioner i vattenkraftsmiljöer anstiftas av den rådande miljön. Nedbrytningen av betongkonstruktioner orsakas således vanligtvis inte av besvärliga lastfall utan i de allra flesta fallen av miljöpåverkan
- Pågjutning är en vanligt förekommande reparationsmetod (som komplement eller som enskild reparationsåtgärd). I rapporten visas exempel på när pågjutningar kan användas som reparationsmetod

med avseende på olika typer av skador som kan uppstå i vattenkraftsmiljöer.

- Utförandet av reparationen och valet av sammansättning (ingående material) av pågjutningsmaterialet kan vara komplicerat, mycket beroende på den rådande miljön (t ex ovan, vid och/eller under vattenlinjen) och skadeorsak (t ex AKR, urlakning, frostsprängning).
- Det finns redan mycket som är utrett vad det gäller pågjutningar. Det finns emellertid en hel del frågor som fortfarande behöver svar, framförallt finns det inte tillräcklig kunskap om långtidseffekter/-egenskaper. Ökade kunskaper rörande långtidseffekter skulle komplettera/tillföra dagens kunnande vad det gäller pågjutningar i vattenkraftsmiljöer.

De ovanstående punkterna visar att det torde finnas en potentiellt stor nytta med ett systematiskt kunnande om pågjutningar för vattenkraftbranschen.

## Summary

As the focus of the Swedish Hydropower Industry shifted from the developing phase of the 20<sup>th</sup> century to the present phase of managing and maintenance of the hydropower plants and the adherent structures knowledge regarding issues concerning repair work and degradation processes of concrete has become truly important.

Hydropower structures are submitted to live loads (for example caused by ice, water, snow and wind) and physical attacks such as Freeze/thaw, leaching and erosion (abrasion and cavitation). Hydropower structures are also submitted to chemical and electro chemical attacks like ASR and corrosion of the reinforcement bars. All of the mentioned processes have a negative affect on concrete structures service life.

As it is today the Hydropower Industry possesses a rather high degree of knowledge concerning principal repair and strengthening techniques like shootcreting and grouting **[1 & 2]**. The purpose of this report is (1) to point out the Swedish Hydropower Industry's need for extensive knowledge regarding overlays and toppings and (2) the potential advantages of overlays and toppings as repair techniques with respect to hydropower environments and the corresponding degradation processes acting on those structures.

The performance of repairing a concrete structure using overlays or toppings is principally executed by the removal (totally or partially) of the damaged concrete surface, afterwards a new concrete overlay or topping is applied. The overlay must be able to withstand the live loads and the physical, chemical and electro-chemical attacks that are acting on the structure. The overlay is also required to co-operate with, and protect, the host material for a very long time.

This report deals with the most common types of physical and chemical processes that are acting in Hydropower environments and the damages that they are causing concrete structures. Some of the common principal repair techniques that can be used when repairing the damaged concrete structures are also presented in this report. The input used for establishing the most common types of damage are taken from studies made in the USA and Sweden as well as from the literature and from observations made at some Swedish hydropower plants.

In conclusion, the following can be said about the need of overlays in regard to Hydropower applications and about the deteriorating processes acting in those environments:

- The bulk of the damages that occur on the concrete structures can be derived to the environment and the physical and chemical attacks caused by it. The deterioration of concrete structures are therefore more likely to occur due to the environmental affects than due to extensive live loads caused by ice, wind, water, snow etc

- Overlays and/toppings are repair techniques that are adequate for repairing most of the damages that occur on concrete structures in Hydropower environments
- The performance of the repair work as well as the determination of the composition of the repair mortar or concrete can sometimes be difficult tasks to undertake, often due to the environment (location of the damage and the underlying cause of damage)
- The continuing work regarding overlays and toppings for Hydropower environments should focus on long-term properties and affects with regards to the whole repair work (including the repair material, the host material and the transition zone)

The conclusions above show that there are a rather high potential good with the pursuing of an extensive knowledge in this area.



# Innehåll

|          |                                                                     |           |
|----------|---------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1</b> | <b>Inledning</b>                                                    | <b>1</b>  |
| 1.1      | Bakgrund .....                                                      | 1         |
| 1.2      | Syfte/Mål .....                                                     | 1         |
| <b>2</b> | <b>Skadetyper och skadeorsak</b>                                    | <b>2</b>  |
| 2.1      | Allmänt .....                                                       | 2         |
| 2.2      | Principiella reparationsmetoder .....                               | 4         |
| 2.2.1    | Injektering .....                                                   | 4         |
| 2.2.2    | Ytskydd .....                                                       | 6         |
| 2.2.3    | Pågjutning .....                                                    | 8         |
| 2.3      | Skadetyper och skadeorsaker relevanta för vattenkraften .....       | 12        |
| <b>3</b> | <b>Vattenkraftskonstruktioner</b>                                   | <b>14</b> |
| 3.1      | Allmänt .....                                                       | 14        |
| 3.2      | Olika typer av betongkonstruktioner .....                           | 14        |
| 3.2.1    | Lamelldamm .....                                                    | 14        |
| 3.2.2    | Massivdamm .....                                                    | 15        |
| 3.2.3    | Intag och utlopp .....                                              | 16        |
| 3.3      | Orsaker till skador kopplade till olika konstruktionsdelar .....    | 16        |
| 3.3.1    | Lamelldamm .....                                                    | 17        |
| 3.3.2    | Massivdamm .....                                                    | 19        |
| 3.3.3    | Intag och utlopp .....                                              | 20        |
| <b>4</b> | <b>Allmänt om skador och reparationsmetoder</b>                     | <b>22</b> |
| 4.1      | Frågeställningar och tänkbara orsaker till uppkomst av skador ..... | 22        |
| 4.2      | Principiella reparationsmetoder beroende på typ av skada .....      | 23        |
| 4.2.1    | Eroderande ytangrepp .....                                          | 24        |
| 4.2.2    | Inre, expansiva, angrepp .....                                      | 25        |
| 4.2.3    | Ytliga, expansiva, angrepp .....                                    | 26        |
| 4.2.4    | Urlakning .....                                                     | 27        |
| 4.2.5    | Temperatur-/fuktrelaterade rörelser .....                           | 28        |
| 4.2.6    | Över-/Olyckslast .....                                              | 29        |
| 4.2.7    | Sammanfattning av kapitel 4 .....                                   | 30        |
| <b>5</b> | <b>Förslag på fortsatt arbete</b>                                   | <b>31</b> |
| <b>6</b> | <b>Slutsats/Diskussion</b>                                          | <b>32</b> |
| <b>7</b> | <b>Referenser</b>                                                   | <b>33</b> |



# 1 Inledning

## 1.1 Bakgrund

I takt med att de producerande bolagen inom energibranschen, då inte minst Vattenkraftsektorn, befinner sig i ett skede då fokus förflyttas från 1900-talets uppbyggnadsfas till nutidens förvaltande fas, så växer behovet av kunskap och förståelse för frågeställningar rörande effektiva/funktionella reparationsmetoder.

Vad det gäller anläggningssidan så bedöms reparationsmetodik vara ett av förvaltningsepokens viktigaste teknikområden. Rätt typ av reparation vid rätt tillfälle som utförs på ett korrekt sätt kan spara anläggningsägaren stora summor pengar i minskade produktionsbortfall och underhållskostnader. Under de senaste åren har Vattenkraftsbranschen engagerat sig i anläggnings- och beständighetsfrågor i olika typer av forum. Från detta engagemang har kunskaper om reparations- och förstärkningsåtgärder såsom sprutbetonering och injektering utvunnits.

Påggjutning är en vanligt förekommande reparations- och förstärkningsmetod inom vattenkraften. I princip så utförs påggjutning genom att man helt eller delvis tar bort den skadade betongen och påggjuter den med en ny betong. Påggjutningen skall kunna motstå de belastningar och angrepp betongkonstruktionen utsätts för. Påggjutningen ska också samverka med, och skydda, den underliggande betongen under en lång tid.

Det anses här att det inte bedrivs tillräcklig FoU inom påggjutningsområdet som har fokus på vattenkraftens behov. Vattenkraftbranschen har tidigare inte uppmärksammat frågeställningar rörande påggjutning på samma sätt som för andra reparationsmetoder, detta trots att påggjutning är mycket vanligt förekommande reparations-/förstärkningsmetod. Denna rapport syftar till att påvisa nyttan med, och behovet av, ett systematiskt kunnande om påggjutningar i vattenkraftsmiljöer.

De allra flesta av Vattenkraftens konstruktioner utsätts för en mängd olika laster (vattentryck, vind-, snö- och islast) och fysikaliska angrepp. De fysikaliska angreppen domineras av frostsprängning och urlakning. Även erosion och kemiska angrepp såsom alkalikiselreaktioner kan förekomma. Alla ovannämnda typer av nedbrytande mekanismer kan förorsaka skador i betongkonstruktioner.

Skadorna kan vara sprickor, ytliga eller djupgående, som är riktade eller nätverksbildande. Exempel på andra typer av skador är avflagning eller nötning. Valet av reparationsmetod beror på olika faktorer, bl. a. av skadetyper, skadeorsaker, skadans lokalisering m.m. I vissa fall finns det mer än en reparationsmetod som lämpar sig för en och samma typ av skada.

## 1.2 Syfte/Mål

Syftet med denna rapport är att påvisa den potentiella nyttan med, och belysa Vattenkraftens behov av, en djupare kunskap om påggjutning.

## 2 Skadetyper och skadeorsak

### 2.1 Allmänt

Att betongkonstruktioners livslängd påverkas av den rådande miljön är allmänt känt. I många fall har miljön en negativ inverkan på betongkonstruktioner och dess livslängd. Den miljö som råder vid de flesta vattenkraftverk, i kombination med konstruktionernas tänkta funktion, ställer höga krav på betongens sammansättning samt på utförandet vid såväl nybyggnation som reparation för att en tillfredställande livslängd ska uppnås. De fenomen som bryter ned betong, och som på sikt kan leda till skadeuppkomst, kan delas upp i olika grupper, t.ex. enligt Tabell 2.1 nedan.

**Tabell 2.1. Olika, mer eller mindre vanliga, typer av fenomen som påverkar betongens (och/eller armeringens) egenskaper negativt**

| <b>Kemiska fenomen</b>                            | <b>Fysikaliska fenomen</b>                                                                              | <b>Elektro-kemiska fenomen</b>                                 | <b>Biologiska fenomen</b> | <b>Mekaniska fenomen</b>                  |
|---------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|---------------------------|-------------------------------------------|
| Sulfatangrepp<br>AKR (Alkali-Kisel<br>Reaktioner) | Frostangrepp<br>Urlakning<br><br>Överlast<br>Fukt-<br>/termiska<br>rörelser<br>Undermåligt<br>utförande | Kloridinträngning<br>Koldioxidinträngning<br>(Karbonatisering) | Beväxtning                | Nötning<br>Slag<br>och/eller<br>kollision |

Förvaltningssystemet RehabCon<sup>1</sup> delar in skadetyper och skadeorsaker på ett överskådligt sätt. Observera att samtliga nedanstående typer av skador och skadeorsaker är av allmän karaktär, d.v.s. inte vattenkraftspecifika.

<sup>1</sup> Europeiskt forskningsprojekt rörande reparations och underhållsfrågor för betongkonstruktioner. För vidare information om RehabCon kontakta CBI eller Lund Tekniska Högskola

**Tabell 2.2** Typer av skador och bakomliggande orsaker

| Skadeorsak                     |                                                                   | Typ av skada                                                                                                                                |
|--------------------------------|-------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Armerings-korrosion            | Kloridinitierad korrosion                                         | Korroderad armering<br>Korrosionen ännu inte påbörjad, pH-buffert förbrukad<br>Spjälkning av täcksikt, med eller utan förekomst av sprickor |
|                                | Karbonatinitierad korrosion                                       | Korroderad armering<br>Korrosionen ännu inte påbörjad, pH-buffert förbrukad<br>Spjälkning av täcksikt, med eller utan förekomst av sprickor |
| Eroderande Ytangrepp           | Frostangrepp                                                      | Ytavskalning                                                                                                                                |
|                                | Mekanisk nötning beroende av vatten, kavitation eller liknande    | Jämn nedbrytning av ytan<br>Lokala erodering, kavitation                                                                                    |
|                                | Syraangrepp                                                       | Upplöst yta med eller utan mekanisk- nötning                                                                                                |
| Inre expansiva angrepp         | Inre frostangrepp orsakad av frysning av cementpasta              | Inre expansion                                                                                                                              |
|                                | Inre frostangrepp orsakad av frysning av undermålig ballast       | Reducering av hållfasthet och vidhäftning                                                                                                   |
|                                | Sulfatangrepp                                                     | Inre och ytlig sprickbildning                                                                                                               |
|                                | Fördröjd ettringitbildning                                        | Otillräcklig strukturell stabilitet                                                                                                         |
|                                | AKR                                                               |                                                                                                                                             |
|                                | Fuktrelaterad expansion av grövre ballast                         |                                                                                                                                             |
| ytliga expansiva angrepp       | AKR                                                               | "Pop-Outs" och generell ytförsvagning                                                                                                       |
|                                | Havsvattenangrepp                                                 |                                                                                                                                             |
| Urlakning                      | Urlakning pga. av genomströmning av rent, naturligt, vatten       | Upplösning av yta<br>Upplösning av inre delar, reduktion av hållfasthet<br>Upplösning av sprickplan, ökad vattengenomsläpplighet            |
| Fukt/värme relaterade rörelser | Uttorkning självkrämpning                                         | Ytliga sprickor                                                                                                                             |
|                                | Krämpning                                                         | Genomgående sprickor                                                                                                                        |
| Överlast/olyckslast            | Impulslast (slaghållfasthet) vid ytan                             | Täckskitsförlust, exponering av armeringsjärn                                                                                               |
|                                | Överlast under uppbyggnadsfasen                                   | Reducering av tvärsnitt<br>Ytliga och/eller genomgående sprickor                                                                            |
| Mekanisk belastning            | Böjbrott                                                          | Krossning av betong (tryckzon, belastning)                                                                                                  |
|                                | Förankrings-/vidhäftningsbrott                                    | Sprickbildning                                                                                                                              |
|                                | Skjuvbrott                                                        | Plasticering av armeringsjärn                                                                                                               |
|                                | Utmattningsbrott                                                  |                                                                                                                                             |
|                                | Tryckbrott                                                        | Brott i betongen, vidhäftning (motgjutning och/eller armering)                                                                              |
| Aluminatcement                 | Omvandling av hydrationsprodukter till mindre hållfasta produkter | Reduktion av vidhäftning, hållfasthet och styvhet                                                                                           |
| Estetik                        | Vittrade ytor                                                     | Missfärgning                                                                                                                                |
|                                | Smutsiga ytor                                                     |                                                                                                                                             |

## 2.2 Principiella reparationsmetoder

I dagsläget (2006) finns det stöd att finna för alla ingående delar i ett reparationsarbete i normer och riktlinjer. När det kommer till reparationer av betongkonstruktioner finns det två europeiska standarder som bör tas i beaktning, EN 206 (Betongens sammansättning och tillsatsmaterial) och EN 1504 (Reparationer av betongkonstruktioner).

**Tabell 2.3 EN 1504 består av 10 kapitel som beskrivs nedan**

| Del     | Rubrik                                                        |
|---------|---------------------------------------------------------------|
| 1504-01 | Inledning och definitioner                                    |
| 1504-02 | Material för skydd av betongkonstruktioner                    |
| 1504-03 | Material för skydd av betongkonstruktioner                    |
| 1504-04 | Vidhäftning                                                   |
| 1504-05 | Injektering                                                   |
| 1504-06 | Förankring                                                    |
| 1504-07 | Korrosionsskydd                                               |
| 1504-08 | Kvalitetskontroll                                             |
| 1504-09 | Projektering av skydd och reparation av en betongkonstruktion |
| 1504-10 | Utförande av skydd och reparation av en betongkonstruktion    |

### 2.2.1 Injektering

#### Beskrivning

Injektering förknippas ofta med tätning och/eller förstärkning av jord eller berg, t.ex. vid markstabilisering och bergtätning vid tunneldrivning. I Sverige så har injekteringskunskanden spridit sig från användandet vid förstärkningsarbeten av jord och av uppspruckna berg till tätandet av urlakade/spruckna betongkroppar. Vad det gäller injektering av betongkroppar så används metoden oftast i syfte att föryngra, täta, återställa eller förstärka konstruktionsdelar.

#### Definition

Med injektering menas här, och i enlighet med **EN 1504-05**, när en betongkonstruktion injekteras med ett visst material i syfte att:

- Skydda konstruktionen (betong och/eller armering) mot inträngning av aggressiva ämnen
- Vattentäta betongen/konstruktionen
- Att öka konstruktionens lastbärande kapacitet

Injekteringsbruk kan bestå av oorganiska (cementbaserade) eller organiska (polymerbaserade) bindemedel.

## Användning

Injekteringen syftar till att fylla sprickor och hålrum i konstruktionen. Injektering kan också i vissa fall användas i hållfasthetshöjande avseenden. Injektering är en metod som kan användas för reparationsarbeten av konstruktioner i tätande, förnygrande och hållfasthetshöjande avseenden. Injektering kan användas för att:

- Minska konstruktionens permeabilitet och därmed minska urlakningen av cementpasta. En minskad permeabilitet ger också en större motståndskraft mot frost- och kemiska angrepp
- Minska eller eliminera inträngningen av för armering aggressiva ämnen såsom klorid-/koldioxidinträngning
- Öka konstruktionens stabilitet/bärighet genom att öka betongens hållfasthet. En ökad hållfasthet minskar sannolikheten för brott vid ogynnsamma lastfall, slag och/eller kollision.

## Utförande

Innan själva injekteringsarbetet kan starta borrar ett antal hål i konstruktionen som avses injekteras. Hur hålen orienteras styrs av konstruktionens geometri och det bakomliggande syftet till injekteringen.

Efter att erforderligt antal hål borrats i konstruktionen är det lämpligt att utföra någon form av kontroll av konstruktionens täthet/permeabilitet, denna kontroll sker vanligtvis genom vattenförlustmätningar.

Injekteringsbruk tillförs konstruktionen via övertryck, tryckets storlek bestäms bl.a. med hänsyn till konstruktionens permeabilitet, injekteringsbrukets egenskaper, och till viss del syftet med injekteringen. Oavsett bakomliggande orsak till injekteringsarbetet får injekteringstrycket inte vara sådant att konstruktionen skadas.

Det kan vara brukligt att utföra löpande kontrollmätningar av konstruktionens permeabilitet under reparationsarbetet, detta för att säkerställa/kontrollera inträngningen av injekteringsbruket.

Injektering kan indelas i två grupper, ytreparation och injektering. Vid injektering är ambitionen att fylla hela sprickan med injekteringsbruk. Vid ytreparation är ambitionen att endast fylla den ytligaste delen av sprickan.

## För- och nackdelar

Några fördelar:

- Minska konstruktionens permeabilitet och därmed minska urlakningen av cementpasta.
- Minska eller eliminera inträngningen av, för betong och/eller armering, aggressiva ämnen såsom klorid-/koldioxidinträngning och vatten (se ovan).
- Ökad bärighet/stabilitet genom tillförsel av bindmedel (cement- eller polymerbaserat).

Några nackdelar:

- Osäkerhet i hur stor hållfasthetsökning som går att tillgodoräkna i stabilitets-/bärighetsberäkningar efter injektering
- Osäkerhet i kontrollmetoder rörande brukets inträngningsförmåga
- Metoden kräver erfaren personal för att garantera ett gott reparationsresultat

### 2.2.2 Ytskydd

#### Beskrivning

Nedbrytande mekanismer från en mängd olika skadeorsaker kan, med hjälp av ett korrekt val av ytskydd, minskas eller elimineras (se avsnitt 2.1 och 2.2). För vattenkraftens konstruktioner kan ytskydd i vissa fall vara en bra lösning där en ökad täthet eftersträvas. Alternativt kan det vara ett bra komplement till en annan reparationsåtgärd<sup>2</sup>.

Det behöver nödvändigtvis inte ske en avverkning av betong i samband med applikation av ytskyddsprodukter. Ytskyddsmaterial är oftast i flytande form vid applikationsskedet.

#### Definition

Ytskydd kan delas in i olika kategorier beroende på materialsammansättning och den tjocklek som krävs av beläggningen för att materialet ska fylla sin funktion. I **EN 1504-02** delas ytskyddsmaterialen in i de två kategorierna impregnering och ytbeläggning.

Tjockleken på ytbeläggningar är vanligtvis mellan 0,1-5,0 mm, men kan i vissa fall vara större. I princip så kan ytskydd antingen bestå av en kombination av oorganiska och organsiska material eller så kan ytskyddet bestå av endera av de två materialen. Impregneringsmedel består av organiska ämnen som penetrerar helt eller delvis betongens ytligaste porer.

I gynnsamma fall kan inträngningsdjupet vara mer än 10 mm. Impregnering kan delas in i två grupper;

- Diffusionsöppen impregnering (hydrofobiering) d.v.s. porväggarna görs vattenavvisande (hydrofoba), vilket medför att vatten i vätskefas inte kan transporteras genom impregneringsskiktet. Bland hydrofobieringsmedlen kan silanbaserade medel nämnas
- Tät impregnering, d.v.s. ingen transport av vatten sker igenom impregneringen, oavsett fas. Denna typ av impregneringsmedel/-material behandlas inte närmare i en här rapporten

---

<sup>2</sup> Injektering och/eller pågjutningar



## Användning

Ytbeläggning och impregnering användas för att:

- Minska konstruktionens permeabilitet och därmed minska en eventuell urlakning av cementpasta. En minskad permeabilitet ger även en större motståndskraft mot frostattacker och kemiska angrepp genom en minskning av fukthalt och transport av olika ämnen
- Minska eller eliminera inträngningen av, för betong och/eller armering, aggressiva ämnen såsom klorid-/koldioxidinträngning och vatten (se ovan).
- Öka ytans motståndskraft mot mekanisk åverkan<sup>3</sup> såsom slag, kollision och nötning (kavitation eller erosion)

## Utförande

Impregneringsmedel (silanbaserade impregneringsmedel, se ovan) appliceras på en rengjord yta, förslagsvis med "kranvatten" genom användandet av högtryckstvätt, utan någon tillsats av rengöringsmedel.

Den avsedda ytan behöver inte vara nygjuten. Ytan ska vara så torr<sup>4</sup> som möjligt vid behandling, på grund av att ju lägre betongens relativa fuktighet är desto högre är dess kapillära sugningsförmåga. Ju högre betongs kapillära sugningsförmåga är, desto högre är sannolikheten att impregneringen uppnår ett tillfredställande inträngningsdjup.

Tillvägagångssättet vid anläggning av en ytbeläggning varierar beroende på om ytbeläggningsmaterialet består av en kombination av oorganiska och organsiska bindemedel eller av endera av de två bindemedlen. T ex kan det i vissa fall vara nödvändigt att förvärma den yta som ska beläggas ett polymermodifierat bruk **[3]**, ett förfarande som inte är brukligt vid ytbeläggning med cementbaserade bruk.

Oavsett ytbeläggningens sammansättning är viktigt av att den alltid appliceras på en rengjord yta. Rengörningen sker förslagsvis med "kranvatten", utan någon tillsats av rengöringsmedel, och då företräddelsevis genom ett högt tryck.

## För- och nackdelar

Några fördelar:

- Minskar konstruktionens permeabilitet
- Minskar eller eliminera inträngningen av, för betong och/eller armering, aggressiva ämnen såsom klorid-/koldioxidinträngning och vatten (se ovan).
- Ökar ytans motståndskraft mot mekanisk åverkan

---

<sup>3</sup> gäller i första hand ytbeläggningar

<sup>4</sup> Studier av olika silanbaserade impregneringsprodukter visar en stark koppling mellan betongens relativa fuktighet och inträngningsdjup

Några nackdelar:

- Tveksamheter rörande huruvida ytskyddsprodukternas deklarerade egenskaper gäller i fält (laboratoriemiljö jämfört med fältemiljö)
- I vissa fall kan det råda en viss tveksamhet rörande arbetsmiljön vid applicering en del produkter
- De flesta av ytskyddsmaterialen kräver att betongen har låg relativ fuktighet (ju lägre desto bättre)

### 2.2.3 Pågjutning

#### Beskrivning

Vattenkraftens konstruktioner är generellt sett utsatta för mekaniska laster (vattentryck, vind-, snö- och islast) och fysikaliska angrepp dominerade av frostsprängning och urlakning. Även erosion och kemiska- och elektrokemiska angrepp som alkalikiselreaktioner och armeringskorrosion kan också förekomma.

En vanlig typ av betongreparation som används inom vattenkraften är pågjutning av ny betong på befintlig gammal betong. Reparationen utförs genom att den gamla och/eller nedbrutna betongen helt eller delvis (lappning) avverkas och ytan pågjuts med en ny betong (se definition nedan). Pågjutningen ska motstå de belastningarna och angrepp som den rådande miljön utsätter konstruktionen för. Pågjutningen måste samtidigt samverka med, och skydda, den underliggande betongen under lång tid.

#### Definition

Med pågjutning menas här en beläggning som har en tjocklek större än 5 mm (tunnare skikt definieras här som ytskydd). Beroende på ballastmaterialets kornstorlek kan pågjutning delas in i två grupper, tunna pågjutningar med bruk, och grövre pågjutningar med betong.

I princip innehåller inte ett bruk större ballast ( $D_{\max}$ ) än maximalt 4 mm (Definition **SS-EN 206-1** och **SS-EN 1260**). En pågjutnings tjocklek bör vara, lika tjock, eller tjockare än 4 ggr materialets  $D_{\max}$ <sup>5</sup> **[4]**. Detta innebär att tunna pågjutningar (bruk) med ett 4 mm  $D_{\max}$  begränsas till en mista tjocklek på cirka 16 mm.

Grova pågjutningar utförs således med en betong som består av ballast med ett  $D_{\max} > 4$  mm. Det finns ingen egentlig gräns för maximal pågjutningstjocklek. Erfarenheter från pågjutningar utförda på grova betongkonstruktioner i vattenkraftssammanhang<sup>6</sup> visar att tjocklekar upp till 40-50 cm inte är ovanliga **[5]**.

För att minska risken för uppkomst av krympsprickor kan det bli brukligt att använda så stort  $D_{\max}$  som möjligt, men maximalt 1/4 av pågjutningshöjden.

---

<sup>5</sup> Vägverkets publikation 2004:56: Bro 2004 godkänner en minsta pågjutningshöjd på 2 ggr  $D_{\max}$

<sup>6</sup> Tidigare utförda reparationsarbeten av skibord och pelarsidor inom vattenkraften

Oavsett pågjutningens tjocklek kan materialet ifråga bestå av en kombination av oorganiska och organsiska bindemedel eller så kan pågjutningen bestå av endera av de två bindemedlen, dvs:

- Cementbruk eller betong
- Cementbruk eller betong som modifieras med polymerinblandning
- Polymera material

Det bör nämnas att det anses **[6]** som ekonomiskt oförsvarbart att använda polymertillsats i pågjutningar som är grövre än 50 mm, d.v.s. för grova pågjutningar.

### Användning

En pågjutning syftar till att täta (täcka) sprickor och porer vid konstruktionens yta. En pågjutning kan också användas i ett hållfasthetshöjande avseende, t.ex. för att öka konstruktionens motståndskraft mot mekanisk åverkan eller i syfte att återställa och/eller höja en konstruktions bärighet/stabilitet. Pågjutningar kan användas för att:

- Minska konstruktionens permeabilitet och därmed minska urlakningen av cementpasta. En minskad permeabilitet ger även en större motståndskraft mot frostattacker och kemiska angrepp
- Minska eller eliminera inträngningen av, för betong och/eller armering, aggressiva ämnen såsom klorid-/koldioxidinträngning och vatten (se ovan).
- Öka ytans motståndskraft mot mekanisk åverkan såsom slag, kollision och nötning (kavitation eller erosion)
- Återställa eller förbättra en konstruktions bärighet/stabilitet

### Utförande

I princip avverkas först den vid ytan belägna, och nedbrutna, betongen till ett tillfredställande djup<sup>7</sup>. Avverkningen sker förslagsvis genom vattenbilning. I armerade konstruktioner friläggs vanligtvis armeringen vid avverkningen. Underliggande betong bör uppvisa en högre draghållfasthet än vidhäftningshållfastheten (limningseffekten) mellan ny och gammal betong innan pågjutningen genomförs.

---

<sup>7</sup> Vanligtvis sker avverkningen av den gamla/skadade betongen ned till ett sådant djup att betongen uppvisar en tillfredställande draghållfasthet.

**Tabell 2.4 Sammanställning av krav ställda i olika skrifter på vidhäftningshållfasthet mellan underliggande betong och pågjutning**

| Skrift                                             | Krav på vidhäftningshållfasthet                                                                                | Avverkningsdjup                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
|----------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Betonghandbok<br>Reparation                        | < 1,5 MPa, dålig<br>1,5-2,5 MPa medelgod<br>>2,5 god                                                           | All skadad betong och betong som från beständighetssynpunkt inte är acceptabel ska avlägsnas                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| Vägverkets publikation<br>2004:56: Bro<br>2004     | Lägsta enskilda värdet är 0,8 MPa<br><br>Medelvärde av provningsresultaten ska vara större än 1,0 +1,4 * stdav | Se Vägverket Publikation 2004:56, "Bro 2004" avsnitt 103.311-312.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| Europeisk standard för reparationer, SS-EN 1504-10 | 0,7 MPa för icke lastbärande pågjutningar<br><br>1,2-1,5 MPa för lastbärande pågjutningar                      | Avverkningen ska ske med hänsyn till:<br><br>1) Betongens permeabilitet<br>2) Den eventuella kontaminerings beskaffenhet och koncentration<br>3) Det eventuella kontamineringsdjupet<br>4) Det eventuella karbonatiseringsdjupet<br>5) Armeringens eventuella korrosionshastighet-/aktivitet<br>6) Täcksiktets tjocklek<br>7) Reparationsmaterialets eventuella kompakteringsbehov<br>8) Det eventuella kravet på vidhäftning<br>9) Armeringens eventuella bearbetningsbehov |

I vissa fall där armeringen blivit frilagd kan det vara tillrådligt att ytterligare avverka betong under armeringen, trots tillräcklig draghållfasthet redan uppnått. I Bro 2004 [7] står det skrivet att ifall 30 % av armeringens omkrets blottläggs vid bilning<sup>8</sup> så ska armeringen helt friläggas.

Betongen avverkas då så att det fria avståndet mellan den gamla konstruktionen och underkanten av armeringen minst motsvarar pågjutningsmaterialets  $D_{\max}$  plus ytterligare 5 mm (överensstämmer för övrigt med det som står skrivet i SS-EN 1405-10).

Innan det nya materialet pågjuts bör lämpliga åtgärder utföras. Dessa åtgärder beror först och främst på reparationsmaterialets egenskaper/sammansättning, men också på det rådande klimatet och den underliggande betongens

<sup>8</sup> Vanligtvis sker avverkningen av den gamla/skadade betongen ned till ett sådant djup att betongen uppvisar en tillfredställande draghållfasthet.

<sup>8</sup> Medelvärde av en 5 m<sup>2</sup> stor yta

<sup>8</sup> Medelvärde av en 5 m<sup>2</sup> stor yta

(motgjutningsytan) egenskaper/kondition. Några exempel på åtgärder som kan vara aktuella att utföra innan pågjutning redovisas nedan:

- Rengörning av armering
- Ökning av mängden armering
- Utbyte av armering
- Frambringande av tillräcklig råhet på underliggande betong (motgjutningsytan)
- Formsättning
- Rengörning av betong (motgjutningsytan)
- Förtorkning
- Förvärmning
- Förvattning
- Slamning

Reparationsarbetet kan avslutas med att den nygjutna ytan förseglas med ett ytskydd av något slag beroende på syftet med reparationen och den rådande miljön.

### **För- och nackdelar**

Några fördelar:

- Minskar konstruktionens permeabilitet
- Minskar eller eliminerar inträngningen av, för betong och/eller armering, aggressiva ämnen
- Ökar ytans motståndskraft mot mekanisk åverkan
- Återställer eller ökar en konstruktions bärighet/stabilitet

Några nackdelar:

- Pågjutningar, oavsett pågjutningsmaterialets sammansättning, kan ge upphov till differentiellkrympning som i sin tur kan orsaka vidhäftningsbrott och/eller sprickor i pågjutning eller underliggande betong
- Pågjutningens permeabilitet/porositet skiljer sig vanligtvis från underliggande betong och kan därför ge upphov till icke önskvärda fuktnivåer, i såväl underliggande betong och/eller pågjutningen
- Vissa sammansättningar av pågjutningsmaterial (polymerbaserade bruk, polymermodifierad betong, injekteringsbetong mm.) kräver stor noggrannhet i för- och efterarbete för att den önskade funktionen ska uppnås
- Vissa sammansättningar av pågjutningsmaterial (polymerbaserade bruk, polymermodifierad betong, injekteringsbetong mm.) kräver en större resursåtgång än andra
- För vissa typer av reparationsmetoder finns det en stor osäkerhet i förhållandet mellan ekonomi och teknisk livslängd

### Alternativ typ av pågjutning

I takt med den ökade kunskapen rörande reparationsmetodik och material så finns det en del alternativa reparationsmetoder jämfört med vad som i traditionell mening kallas för pågjutningar. Ett exempel på en alternativ pågjutningsmetod är injekteringsbetong (Preplaced-Aggregate Concrete).

Gjutning med injekteringsbetong går till på så sätt att formen först fylls med grov ballast. Ballasten packas så att den blir jämt fördelad, dvs alla korn står i kontakt med varandra. När formen fyllts med den grova ballasten, tillsätts (injekteras) cementpastan t. ex. via munstycken i formen. Med en här metoden kan krympningen reduceras upp till 50 % p.g.a. av att andelen grov ballast kan ökas med 35-50 % jämfört med traditionell betong [8].

## 2.3 Skadetyper och skadeorsaker relevanta för vattenkraften

I en tidigare rapport [9] gjordes en sammanställning<sup>9</sup> av en amerikansk studie (REMR-programmet) rörande betongskador på amerikanska vattenkraftskonstruktioner. Rapporten visar att de vanligast förekommande skadetyperna i USA är sprickor (ca 38 %), läckage (just över 20 %) och avskalning (ca 20 %). Vad sprickuppkomsten beror på är inte beskrivet. Troligen så går sprickuppkomsten att härleda till en eller flera av nedanstående orsaker:

- Tvång
- Tillfällig last (överlast)
- Sättningar eller rörelser
- Fukt/värme relaterade rörelser

Samma rapport visar att de vattenkraftskonstruktioner som först och främst skadas är dammar<sup>10</sup> (cirka 64 %), den näst mest skadade konstruktionstypen är slusskonstruktioner (cirka 22 %).

Summan av skador som anses som måttliga, allvarliga eller som ett hot mot konstruktionens säkerhet är 33 % av totala antalet undersökta skador<sup>11</sup>. 6 % av de skador som dokumenterats bedöms som allvarliga eller som ett hot mot konstruktionens säkerhet. Någon koppling mellan konstruktionernas ålder och skadeorsak/-typ nämns inget om.

Vid en jämförelse av skadebilden i USA och Sverige är det viktigt att ha i åtanke att USA är ett mycket större land som består av en mängd zoner med vitt skilda klimat jämfört med Sverige. Vidare så finns det också betydligt fler vattenkraftskonstruktioner i USA jämfört med i Sverige.

Ett rent hypotetiskt exempel på vad ovanstående resonemang skulle kunna betyda är att det troligen finns fler observerade frostangrepp på vattenkraftskonstruktioner i USA än i Sverige, men enligt ovanstående resonemang är det troligen så att det vanligare med frostangrepp i Sverige jämfört med USA procentuellt sett.

---

<sup>9</sup> Underlaget består av 10096 skador på betongkonstruktioner.

<sup>10</sup> Underlaget för denna del består av 10205 olika skador på betongkonstruktioner.

<sup>11</sup> Underlaget för denna del består av 9705 olika skador på betongkonstruktioner.

Göran Fagerlund skriver **[10]** att; *"I normal vattenbyggnadsbetong är frostangreppet det i särklass allvarligaste"*. I samma stycke hävdar Fagerlund också att; *"I äldre konstruktioner har även urlakning varit ett stort problem"*. Vad som egentligen menas med *"allvarligaste"* och *"stort problem"* förklaras inte närmare i texten och inga referenser lämnas heller.

Med detta sagt är det viktigt att påpeka att frostangrepp (avflagning) inte nödvändigtvis behöver vara särskilt allvarliga i ett strukturellt perspektiv. Undersökningen (REMR-programmet) säger t ex att 67 % av skadorna som påträffas på vattenkraftens betongkonstruktioner i Amerika är av ringa natur.

I en tidigare skriven rapport **[11]** sammanställs resultaten från en reparationsdatabas (**Elforsk 1999**). Databasen innehåller information om 228 reparationer utförda på olika vattenkraftsanläggningar runt om i Sverige. Databasen påvisar att de vanligaste skadeorsakerna i Sverige är frostangrepp, erosion och urlakning. Informationen i databasen säger också att de vanligaste skadetyperna i Sverige är avskalning, sprickor<sup>12</sup> och läckage/kalkutfällning.

Enligt databasen (**Elforsk 1999**) är dammar (utskov och monoliter), samt vattenvägar (intag och sugrör) de konstruktionstyper som har den högsta "skadefrekvensen". Det bör nämnas att databasens resultat till viss del inte är helt jämförbara (se fotnot 11) med sammanställningen som görs i **[9]**. De mest relevanta skadetyperna för vattenkraftskonstruktioner i Sverige och USA verkar alltså vara:

- Sprickor
- Läckage/kalkutfällning
- Avskalning

Erfarenheter samt tidigare utförd studie **[12]** säger skadefrekvensen och nedbrytningen av betong tillhörande kraftverksbyggnaden<sup>13</sup> är av mindre betydande slag än för betongkonstruktioner som är i kontakt med de yttre vattenvägarna. De betongkonstruktioner som mest frekvent utsätts för skador bedöms vara:

- Utskovspartier
- Dammkropp
- Andra konstruktioner kopplade till de yttre vattenvägarna (olika typer av vattenledande murar och energiomvandlare osv.)

Enligt definitionen som gäller i RehabCon blir de mest relevanta skadeorsakerna för vattenkraftens betongkonstruktioner:

- Eroderande ytangrepp (erosion, kavitation, urlakning och frostangrepp)
- Inre angrepp (urlakning, sprickor och frost), här kan det vara nödvändigt att studera uppkomsten och omfattningen av skador som uppstått p.g.a. AKR
- Fukt/termiskt relaterade rörelser (rörelser oavsett ursprung)
- Utförandefel<sup>14</sup>.

---

<sup>12</sup> Reservation då underlaget är relativt litet, 228 reparationer

<sup>13</sup> Statusen och nedbrytningstakten av sugrörskonstruktioner som, helt eller delvis, består av betong är inte helt klar

<sup>14</sup> Databasen och REMR-programmet har olika definitioner på vad som är skadetyper och skadeorsaker vilket försvårar jämförelsen

## 3 Vattenkraftskonstruktioner

### 3.1 Allmänt

Betongdammarna (högre än 15 meter) tillhörande den svenska vattenkraftsparken har en medelålder på cirka 60 år (2006). Det byggdes aldrig fler betongdammar i någon annan enskild 10-årsperiod än mellan mitten av 50-talet till mitten av 60-talet (11 stycken enligt ICOLD) [13].

Betongdammarna utsätts för en rad nedbrytande fenomen. Konsekvenserna av dessa fenomen ökar i omfattning med tiden, förutsatt att inga åtgärder vidtas för att stoppa/minska nedbrytningen. Andra konstruktionsdelar som är utsatta för miljöer med kargt klimat är de murar (led-, kanal- och skyddsmurar) som leder vattnet in till, och ut från (vattenvägar), kraftverkens turbiner.

### 3.2 Olika typer av betongkonstruktioner

Betongdammarna kan indelas i 2 huvudgrupper, gravitationsdammarna och valvdammarna. Det finns två typer av gravitationsdammarna, massivdammarna och lamelldammarna. Lamelldammsbeståndet har en lägre medelålder än massivdammsbeståndet. Produktionstekniskt ställs högre krav vid byggandet av en lamelldamm relativt byggandet av en massivdamm. De högre kraven beror i första hand på dammens utformning (slankare konstruktion). Valvdammarna förekommer i relativt liten omfattning i Sverige, av den anledningen beskrivs endast de två olika typerna av gravitationsdammarna närmare i detta kapitel.

Oberoende av dammtyp så är utskovspartier och konstruktioner belägna nedströms (energiomvandlare, ledmurar etc.) dammen ständigt utsatta för beständighetsnedsättande påverkan, främst anstiftad av fysikaliska och kemiska fenomen. Intag och utlopp är exempel på andra konstruktionsdelar som utsätts för nedbrytande konsekvenser. Med intag och utlopp menas här:

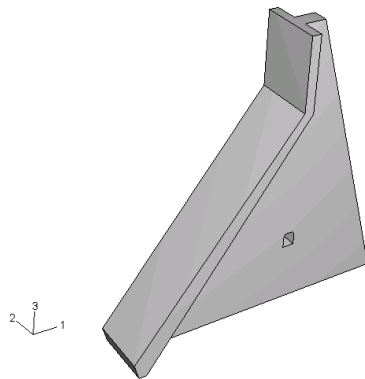
- Murar
- Pelare
- Konstruktion i vilken intagsluckan är monterad
- Sugrör

#### 3.2.1 Lamelldamm

##### Beskrivning av dammen

En lamelldamm består av en vattenbärande frontplatta och ett antal pelare (lameller). Lamelldammen stabiliseras genom sin egen vikt och vattnets tyngd mot den lutande frontplattan, se **Figur 3.1** nedan.





**Figur 3.1** Ett segment av en lamelldamm som består av en lamell (monolit) och en strimla av frontplattan. En lamelldamm består av ett antal segment beroende på områdets geometriska utformning (dammens längd). Segmentens utseende kan variera beroende på de yttre omständigheterna [14]

### Indelning av dammen i konstruktionsdelar

I denna rapport räknas energiomvandlare som en konstruktionsdel tillhörande den yttre vattenvägen.

- Utskovspartier
- Frontplatta
- Lamell (monolit)
- Energiomvandlare

### 3.2.2 Massivdamm

#### Beskrivning av dammen

Produktions- och designmässigt sett är en massivdamm en enklare typ av dammkonstruktion jämfört med lamelldammen. Massivdammar kan variera i utseende bl.a. beroende på produktionsår men grundragen i dammens utseende är liknande oavsett.

En massivdamm är en av betong helgjuten konstruktion som inte kräver några större mängder armering (inga yttre belastningar kan ge upphov till dragspänningar i konstruktionen). I princip så syftar armeringen i en massivdamm till att ta upp de krafter som uppstår vid härdandet och de senare temperaturvariationerna som utsätter konstruktionen för lokala volymförändringar [14].

En massivdamms förutsättningar att motstå nedbrytning dikteras till stor del av dammens byggår, dvs under vilken betongepok dammen byggdes. Beroende på när en damm upprättats kan det skilja i produktionsteknik, cementegenskaper och betongsammansättning [10].

**Indelning av dammen i konstruktionsdelar**

- Dammkropp
- Utskovspartier
- Energiomvandlare (yttre vattenväg)

**3.2.3 Intag och utlopp**

Intagen och utloppen till och från vattenkraftsanläggningar skiljer sig inte så mycket åt, oavsett om det tillhör en ovan- eller underjordstation vad det gäller funktion och utformning.

**Beskrivning av intag**

Med intag menas här både led-, kanal- och skyddsmurar (yttre vattenväg) och den konstruktionsdel i vilken intagsluckan är monterad på samt vattenvägen mellan intagslucka och turbin (inre vattenväg). Pelare kan också räknas in i denna typ av konstruktion om det passar.

**Indelning av intagets i konstruktionsdelar**

- Murar
- Pelare

**Beskrivning av utlopp**

Med utlopp menas både led-, kanal- och skyddsmurar (yttre vattenväg) och sugrör. Pelare kan också räknas in i denna konstruktionstyp om det passar.

**Indelning av utloppet i konstruktionsdelar (OBS grov indelning)**

- Murar
- Pelare
- Sugrör

**3.3 Orsaker till skador kopplade till olika konstruktionsdelar**

I detta avsnitt sammanställs de möjliga skadeorsakerna samt de tillhörande typerna av skador kopplade till den miljö och de konstruktioner (som avhandlats i tidigare avsnitt) som förknippas vattenkraften.

## 3.3.1 Lamelldamm

## Utskovspartier (oberoende dammtyp)

| Möjliga skadeorsaker                    |                                                                | Typ av skada                                                                                                                     |
|-----------------------------------------|----------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Eroderande<br>Ytangrepp                 | Frostangrepp                                                   | Ytavskalning                                                                                                                     |
|                                         | Mekanisk nötning beroende av vatten, kavitation eller liknande | Jämn nedbrytning av ytan<br>Lokal erodering, kavitation<br>Upplöst yta med eller utan mekanisk-nötning                           |
| Inre, expansiva, angrepp <sup>15</sup>  | Inre frostangrepp                                              | Inre expansion<br>Reducering av hållfasthet och vidhäftning (tidigare utförd reparation)                                         |
|                                         | AKR                                                            | Inre och ytlig sprickbildning                                                                                                    |
|                                         | Fuktrelaterad expansion av grövre ballast                      | Otillräcklig strukturell stabilitet                                                                                              |
| Ytliga expansiva angrepp (se fotnot 15) | AKR                                                            | "Pop-Outs" och generell ytförsvagning                                                                                            |
| Urlakning                               | Urlakning pga av genomströmning av rent, naturligt, vatten     | Upplösning av yta<br>Upplösning av inre delar, reduktion av hållfasthet<br>Upplösning av sprickplan, ökad vattengenomsläpplighet |
| Temperatur-/fuktrelaterade rörelser     | Uttorkning självkrympning<br>Krympning                         | Ytliga sprickor<br>Genomgående sprickor                                                                                          |

## Frontplatta

| Möjliga skadeorsak                  |                                                               | Typ av skada                                                                                                                        |
|-------------------------------------|---------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Eroderande<br>ytangrepp             | Frostangrepp                                                  | Ytavskalning                                                                                                                        |
|                                     | Mekanisk nötning beroende av vatten, kavitation eller liknade | Jämn nedbrytning av ytan<br>Lokal erodering, kavitation<br>Upplöst yta med eller utan mekanisk-nötning                              |
| Inre, expansiva, angrepp            | Inre frostangrepp orsakad av frysning av cementpasta          | Inre expansion<br>Reducering av hållfasthet och vidhäftning<br>Inre och ytlig sprickbildning<br>Otillräcklig strukturell stabilitet |
| Urlakning                           | Urlakning p.g.a. av genomströmning av rent, naturligt, vatten | Upplösning av yta<br>Upplösning av inre delar, reduktion av hållfasthet<br>Upplösning av sprickplan, ökad vattengenomsläpplighet    |
| Temperatur-/fuktrelaterade rörelser | Krympning                                                     | Ytliga sprickor<br>Genomgående sprickor                                                                                             |

<sup>15</sup> I Sverige anses skador som är orsakade av AKR i allmänhet vara av en relativt liten omfattning. Det finns dock observerade fall av AKR vid ett antal vattenkraftverk i Sverige [15]. Uppkomsten av AKR beror först och främst på konstruktionens ålder (kunskapsläget vid tidpunkten för byggnation, cement och reaktionsförlopp) och geografisk placering (ballastens kvalitet/bergrundens sammansättning)

**Lamell (monlit)**

| <b>Möjlig skadeorsak</b>            |                                                               | <b>Typ av skada</b>                                                                                                               |
|-------------------------------------|---------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Eroderande ytangrepp                | Frostangrepp                                                  | Ytavskalning<br>Jämn nedbrytning av ytan                                                                                          |
| Urlakning                           | Urlakning p.g.a. av genomströmning av rent, naturligt, vatten | Upplösning av yta<br>Upplösning av inre delar, reducering av hållfasthet<br>Upplösning av sprickplan, ökad vattengenomsläpplighet |
| Temperatur-/fuktrelaterade rörelser | Krympning                                                     | Ytliga sprickor<br>Genomgående sprickor                                                                                           |
|                                     | Tvång                                                         |                                                                                                                                   |

**Energiomvandlare (oberoende damm)**

| <b>Möjlig skadeorsak</b>           |                                                                | <b>Typ av skada</b>                                                                                                    |
|------------------------------------|----------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Eroderande ytangrepp <sup>16</sup> | Mekanisk nötning beroende av vatten, kavitation eller liknande | Ytavskalning<br>Jämn nedbrytning av ytan<br>Lokal erodering, kavitation<br>Upplöst yta med eller utan mekanisk-nötning |
| Över-/olyckslast (se fotnot 16)    | Impulslast (slaghållfasthet) vid ytan                          | Täckskitsförlust, exponering av armeringsjärn<br>Reducering av tvärsnitt<br>Ytliga och/eller genomgående sprickor      |

<sup>16</sup> Det finns både svenska och utländska erfarenheter som belyser fall där relativt omfattande skador på betongplattor (och murar) tillhörande nedströms energiomvandlare upptäckts (under vattenytan), samt artiklar som beskriver olika reparationsförfaranden av detsamma

### 3.3.2 Massivdamm

#### Dammkropp

| Möjlig skadeorsak                         |                                                                | Typ av skada                                                                                                                        |
|-------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Eroderande<br>Ytangrepp                   | Frostangrepp                                                   | Ytavskalning<br>Jämn nedbrytning av ytan<br>Lokal erodering, kavitation<br>Upplöst yta med eller utan mekanisk-nötning              |
|                                           | Mekanisk nötning beroende av vatten, kavitation eller liknande |                                                                                                                                     |
| Inre, expansiva, angrepp <sup>17</sup>    | Inre frostangrepp orsakad av frysning av undermålig ballast    | Inre expansion<br>Reducering av hållfasthet och vidhäftning<br>Inre och ytlig sprickbildning<br>Otillräcklig strukturell stabilitet |
|                                           | AKR                                                            |                                                                                                                                     |
|                                           | Fuktrelaterad expansion av grövre ballast                      |                                                                                                                                     |
| Ytliga, expansiva, angrepp (se fotnot 17) | AKR<br>Frostangrepp                                            | "Pop-Outs" och generell ytförsvagning                                                                                               |
| Urlakning                                 | Urlakning p.g.a. av genomströmning av rent, naturligt, vatten  | Upplösning av yta<br>Upplösning av inre delar, reduktion av hållfasthet<br>Upplösning av sprickplan, ökad vattengenomsläpplighet    |
| Temperatur-/fuktrelaterade rörelser       | Uttorkning självkrympning<br>Krympning                         | Ytliga sprickor<br>Genomgående sprickor                                                                                             |

#### Utskovspartier

Se avsnitt 3.3.1.

#### Energiomvandlare

Se avsnitt 3.3.1.

<sup>17</sup> Beroende på byggår och geografi, se avsnitt 3.1.1 och fotnot 15

## 3.3.3 Intag och utlopp

**Murar (led-, kanal- och skyddsmurar)**

| <b>Möjlig skadeorsak</b>                          |                                                                | <b>Typ av skada</b>                                                                                                              |
|---------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Eroderande ytangrepp <sup>18</sup>                | Frostangrepp                                                   | Ytavskalning                                                                                                                     |
|                                                   | Mekanisk nötning beroende av vatten, kavitation eller liknande | Jämn nedbrytning av ytan<br>Lokal erodering, kavitation<br>Upplöst yta med eller utan mekanisk nötning                           |
| Inre, expansiva, angrepp <sup>19</sup>            | Inre frostangrepp orsakad av frysning av cementpasta           | Inre expansion                                                                                                                   |
|                                                   | Inre frostangrepp orsakad av frysning av undermålig ballast    | Reducering av hållfasthet och vidhäftning                                                                                        |
|                                                   | AKR                                                            | Inre och ytlig sprickbildning                                                                                                    |
|                                                   | Fuktrelaterad expansion av grövre ballast                      | Otillräcklig strukturell stabilitet                                                                                              |
| Ytliga, expansiva, angrepp (se fotnot 19)         | AKR                                                            | "Pop-Outs" och generell ytförsvagning                                                                                            |
| Urlakning                                         | Urlakning p.g.a. av genomströmning av rent, naturligt, vatten  | Upplösning av yta<br>Upplösning av inre delar, reduktion av hållfasthet<br>Upplösning av sprickplan, ökad vattengenomsläpplighet |
| Temperatur-/fuktrelaterade rörelser <sup>20</sup> | Uttorkning självkrympning                                      | Ytliga sprickor                                                                                                                  |
|                                                   | Krympning                                                      | Genomgående sprickor                                                                                                             |
| Över-/olyckslast (se fotnot 18)                   | Impulslast (slaghållfasthet)                                   | Täckskitsförlust, exponering av armeringsjärn<br>Reducering av tvärsnitt<br>Ytliga och/eller genomgående sprickor                |

<sup>18</sup> Beroende på typ av mur eller pelare, se t. ex. avsnitt 3.1.1 och fotnot 16

<sup>19</sup> Beroende på byggår och geografi, se avsnitt 3.1.1 och fotnot 17

<sup>20</sup> Beroende på murens placering, dvs beroende på ifall det är vatten, jord eller luft på motstående sida om den vattenförande/-hållande sidan

**Pelare/monoliter (direkt eller indirekt kontakt med strömmande vatten).**

| <b>Möjlig skadeorsak</b>             |                                                                | <b>Typ av skada</b>                                                                                                                 |
|--------------------------------------|----------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Eroderande ytangrepp (se fotnot 18)  | Frostangrepp                                                   | Ytavskalning<br>Jämn nedbrytning av ytan<br>Lokal erosion, kavitation<br>Upplöst yta med eller utan mekanisk-nötning                |
|                                      | Mekanisk nötning beroende av vatten, kavitation eller liknande |                                                                                                                                     |
| Inre, expansiva, angrepp             | AKR                                                            | Inre expansion<br>Reducering av hållfasthet och vidhäftning<br>Inre och ytlig sprickbildning<br>Otillräcklig strukturell stabilitet |
| Ytliga expansiva angrepp             | AKR                                                            | "Pop-Outs" och generell ytförsvagning                                                                                               |
| Urlakning                            | Urlakning pga av genomströmning av rent, naturligt, vatten     | Upplösning av yta<br>Upplösning av inre delar, reduktion av hållfasthet<br>Upplösning av sprickplan, ökad vattengenomsläpplighet    |
| Temperatur-/fuktnrelaterade rörelser | Krympning                                                      | Ytliga sprickor<br>Genomgående sprickor                                                                                             |
|                                      | Tvång                                                          |                                                                                                                                     |
| Över-/olyckslast                     | Ogynnsamma lastfall (först och främst pelare)                  | Täckskitsförlust, exponering av armeringsjärn<br>Reducering av tvärsnitt<br>Ytliga och/eller genomgående sprickor                   |

**Sugrör**

| <b>Möjlig skadeorsak</b>             |                                                                | <b>Typ av skada</b>                                                                                                              |
|--------------------------------------|----------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Eroderande-ytangrepp                 | Mekanisk nötning beroende av vatten, kavitation eller liknande | Ytavskalning<br>Jämn nedbrytning av ytan<br>Lokala erosion, kavitation<br>Upplöst yta med eller utan mekanisk-nötning            |
| Urlakning                            | Urlakning pga av genomströmning av rent, naturligt, vatten     | Upplösning av yta<br>Upplösning av inre delar, reduktion av hållfasthet<br>Upplösning av sprickplan, ökad vattengenomsläpplighet |
| Temperatur-/fuktnrelaterade rörelser | Krympning                                                      | Ytliga sprickor<br>Genomgående sprickor                                                                                          |
| Över-/olyckslast <sup>21</sup>       | Ogynnsamma lastfall                                            | Täckskitsförlust, exponering av armeringsjärn<br>Reducering av tvärsnitt<br>Ytliga och/eller genomgående sprickor                |

<sup>21</sup> Ett exempel på skadetyper som kan uppkomma i sugrör p.g.a. av ogynnsamma lastfall belyses av, på senare tid, utförda studier vid VRD AB

## 4 Allmänt om skador och reparationsmetoder

I detta avsnitt sammanställs de skadeorsaker och skadetyper som förväntas/antas angripa de ovan nämnda konstruktionstyperna. Skadetyperna kopplas sedan till vad som ska ses förslag till lämplig principiell reparationsmetod.

### 4.1 Frågeställningar och tänkbara orsaker till uppkomst av skador

En stor del av vattenkraftens betongkonstruktioner står ständigt i kontakt med vatten. Detta medför att skador kan uppstå vid (och under vattenlinjen). Det är uppenbart att reparationer av skador vid, och under, vattenytan tillför ytterligare frågeställningar av både praktisk och teoretisk natur. De praktiska problemen beror, först och främst, på att det krävs större insatser för att reparationsåtgärderna ska kunna utföras i torrhet, i vissa fall är det inte överhuvudtaget möjligt att torrlägga. De teoretiska problemen berör beständighetsfrågor av olika slag. I de fall där det inte är möjligt att torrlägga de skadade delarna under reparationsarbetet bör det sannolikt ställas större krav på reparationsmaterialets fysikaliska och kemiska egenskaper. Fortsättningsvis påverkar miljön sannolikt vidhäftningen mellan reparationsmaterial och underliggande betong annorlunda jämfört med pågjutning i torrhet, detta är ännu inte undersökt i tillräcklig utsträckning.

En betongkonstruktion som står i direkt kontakt med vatten t ex en vattenledande (ledmur) eller dämmande (damm) konstruktion har en fuktkvot som varierar dels på djupet in i konstruktionen men också beroende på höjden. Det finns studier **[15]** som visar att vidhäftningen i någon form kan variera beroende på den underliggande betongens fuktkvot. Den underliggande betongens fuktkvot i kombination med de fysikaliska egenskaperna kan också vara av betydelse i ett frostbeständighetsavseende **[16]**. Det finns gamla konstruktioner som gjutets med reaktivballast där konsekvenserna först blivit synliga relativt nyligen. Det finns därför anledning att tro att andra konstruktioner kommer att uppvisa skador orsakade av AKR längre fram i tiden **[17]**.

Urlakning orsakad av strömmande vatten, vid konstruktionens yta och genom konstruktionen kan med tiden sänka den av betongen skyddande pH bufferten så att sannolikheten för armeringskorrosion ökar. Vidare kan ogynnsamma lastfall uppstå vid exceptionella driftsituationer. Dessa lastfall kan i värsta fall generera rörelser och spänningar som kan leda till brott i omgivande betongkonstruktioner. Farbanor såsom tunnlar, broar och andra vägbanor kan på vissa platser i Sverige saltas på vinterhalvåret. Saltingen leder till en ökad sannolikhet för att betongen kommer att angripas av frostattacker.

Läckage vid utskov, t.ex. anslutningen mellan utskovslucka och betong, orsakar en, mer eller mindre, ständig tillrinning av vatten på skibord och pelarsidor. Detta leder också till en ökad sannolikhet för att betongen skall angripas av frostattacker.



Det finns studier som visar att, grova, dämmande konstruktioner där nedströmssidan inte står i kontakt med annat än luft kan uppvisa så stora temperaturgradienter. Kritiska temperaturgradienterna kan uppstå endast beroende på säsongrelaterade temperaturvariationer. Stora temperaturgradienter i kombination med olika typer av tvång att leda till att sprickor kan uppstå och fortsättningsvis cykliskt växa med tiden [18].

## 4.2 Principiella reparationsmetoder beroende på typ av skada

Några exempel på reparationsarbete som utförts genom pågjutning på senare tid är bland annat arbetena vid Fortum AB:s kraftverk Hällby, Laforsen och Skymnäs. Vid reparationerna i Skymnäs kraftverk (Ångermanälven) användes förövrigt självkompakterande betong.

Ovan nämnda scenarier sammanfaller med de skadetyper och skadeorsaker som nämnts tidigare i rapporten. Sammantaget visar detta att pågjutningar, allt från diffusionsöppna ytskydd till grova pågjutningar är väldigt tillämpbara som reparationsmetoder för vattenkraften och dess konstruktioner. Nedan presenteras en generell koppling mellan bakomliggande skadeorsaker, hur de yttrar sig, samt förslag till lämplig reparationsåtgärd.

| Möjlig skadeorsak                         | Typ av skada                                                                                                                         | Principiell reparationsmetod                              |
|-------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|
| Eroderande<br>Ytangrepp                   | Ytavskalning<br>Jämn nedbrytning av ytan<br>Lokala erodering, kavitation<br>Upplöst yta med eller utan mekanisk-nötning              | Tunn eller grov Pågjutning<br>Ytbeläggning                |
| Inre, expansiva,<br>angrepp <sup>22</sup> | Inre expansion<br>Reducering av hållfasthet och vidhäftning<br>Inre och yttlig sprickbildning<br>Otillräcklig strukturell stabilitet | Tunn eller grov Pågjutning<br>Ytbeläggning<br>Injektering |
| Yttliga, expansiva,<br>angrepp            | "Pop-Outs" och generell ytförsvagning                                                                                                | Tunn eller grov Pågjutning<br>Ytbeläggning                |
| Urlakning                                 | Upplösning av yta<br>Upplösning av inre delar, reduktion av hållfasthet<br>Upplösning av sprickplan, ökad vattengenomsläpplighet     | Tunn eller grov Pågjutning<br>Ytbeläggning<br>Injektering |
| Temperatur-/fuktrelaterade rörelser       | Yttliga sprickor<br>Genomgående sprickor                                                                                             | Tunn eller grov Pågjutning<br>Injektering                 |
| Över-/olyckslast                          | Täckskitsförlust, exponering av armeringsjärn<br>Reducering av tvärsnitt<br>Yttliga och/eller genomgående sprickor                   | Tunn eller grov Pågjutning<br>Ytbeläggning<br>Injektering |

<sup>22</sup> Skador orsakade av inre expansiva angrepp är generellt sett svåra att reparera, beroende på skadans omfattning och den bakomliggande orsaken till skadans uppkomst. Olika typer av pågjutningar kan användas för att öka den skadade konstruktionens bärighet samt att öka konstruktionens täthet (minska transporten av vatten).

#### 4.2.1 Eroderande ytangrepp

Eroderande ytangrepp kan orsakas av en rad olika, ofta samverkande, nedbrytande mekanismer såsom frostangrepp, urlakning av cement (kalciumhydroxid) vid ytan, mekanisk nötning och kavitation.

Skadorna kan uppstå på skibord, längst vattenlinjen på pelare, murar, frontplattor t ex tillhörande lamelldammar men också andra konstruktionsdelar som står i kontakt med vatten. Vissa eroderande ytangrepp kan också ske under vattenytan, se fotnot 16.



**Figur 4.1. Observerade skador på en ledmur tillhörande intaget till en ovanjordsstation. Skadorna på betongen vid och under vattenlinjen synliggjordes vid tömning av intagskanalen. Skadorna ser möjligen ut att följa gjutfogar. Notera AKR angreppen belägna ovan vattenlinjen, i det övre, högra, hörnet [Foto: T. Sandström, VRD]**

Ett förslag på hur reparationer av eroderande ytangrepp skulle kunna utföras är:

1. Avverkning av betong genom vattenbilning
2. Rengörning av pågjutningsytan
3. Pågjutning av nytt ytskikt med lämpligt material (med tillhörande moment)
4. Applicering av lämpligt ytskydd

#### 4.2.2 Inre, expansiva, angrepp

Inre, expansiva, angrepp kan orsakas av några olika typer av ballastreaktioner, samlingsbenämningen är AKR (Alkali-Kisel Reaktioner) samt av armeringskorrosion, fast då sker allt som oftast expansionen vid ytan, se avsnitt 4.2.3. För att det ska uppstå skador p.g.a. AKR krävs det att tre kriterier uppfylls, dessa kriterier är:

- Alkalisk miljö
- Undermålig (reaktiv) ballast
- Tillgång till vatten

Om endast två av de tre kriterierna uppfylls stannar, eller startar inte, de nedbrytande reaktionerna. Skadorna kan således uppstå på alla konstruktionsdelar som uppfyller de tre kriterierna, se fotnot 15.



**Figur 4.2. Pelare tillhörande en betongdamm som utsatts för AKR angrepp. Sprickorna som uppstått p.g.a. den inre expansionen leder till att ytterligare skademekanismer kan öka i omfattning. I figuren syns hur cement (kalciumhydroxid) urlakas konstruktionen [Foto: T. Sandström, VRD]**

Det finns olika tillvägagångssätt att förhindra och/eller eliminera risken för AKR skador. Reparationsarbetet av AKR skadade konstruktionsdelar försvåras betydligt när reaktionerna (expansionen) väl startat.



Ett sätt att angripa problemet är att pågjuta den skadade konstruktionen enligt det förfarande som beskrivs i avsnitt 4.2.1 (se också fotnot 22). Pågjutning kan i vissa fall/avseenden vara en lämplig åtgärd.

Det kan vara nödvändigt att armera pågjutningen<sup>23</sup>, både i horisontal- och vertikalled för att ta upp de spänningar som uppstår pga. den underliggande betongens eventuellt fortsatta expansion. Det kan också vara tillrådligt att injektera eventuella sprickor med polymerbaserat bruk (alternativt ett lågalkaliskt cementbruk). Anledningen till varför det inte rekommenderas att använda ett cementbaserat bruk att det skulle tillföra alkali till konstruktionen.

Antingen skulle injekteringen kunna utföras som en enskild åtgärd, eller som ett komplement till annan reparationsinsats. För att förhindra/minska vatteninträngningen kan vara tillrådligt att behandla ytan med genom impregnering.

#### 4.2.3 Ytliga, expansiva, angrepp

Ytliga, expansiva, angrepp kan orsakas av ballastreaktioner, se avsnitt 4.2.2, men också av frostangrepp och armeringskorrosion. Vid reparation av en betongkonstruktion som utsatts för armeringskorrosion kan tillvägagångssättet som beskrivs i avsnitt 4.2.1 användas. Vid armeringskorrosion tillkommer det moment som avser armeringen, detta kan bl.a. innebära att armeringen helt måste friläggas vid avverkningen av betongen.



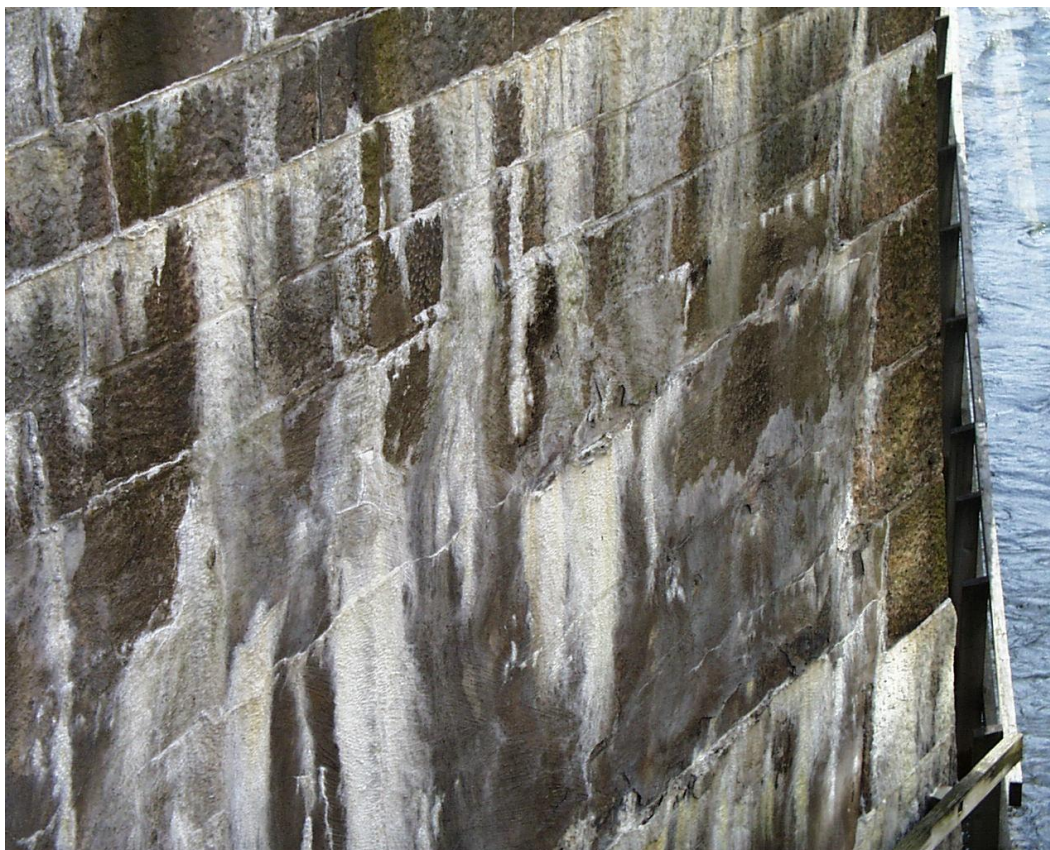
**Figur 4.3**    **Krackelering av en yta till hörande en damm. Krackeleringen är orsakad av frost angrepp och termisk expansion [Foto: M. Hassanzadeh, LTH/VRD]**

---

<sup>23</sup> Lämplig mängd armering beror på konstruktionens kvarvarande livslängd, reparationens önskade livslängd och valet av armeringsmängd bör ta hänsyn till den förväntade/beräknade expansionen efter reparationen

#### 4.2.4 Urlakning

Urlakning av cementpasta (kalciumhydroxid) vid ytan (strömmande vatten) kan leda till att effekter från frostangrepp och/eller nötning ökar i omfattning. Urlakningen leder också till att pH i täckskiktet sjunker och sannolikheten för att armeringskorrosion ska uppstå ökar därmed. Möjligt reparationsförfarande gällande skador orsakade av urlakning av cementpasta (kalciumhydroxid) vid ytan på en betongkonstruktion behandlades i avsnitt 4.2.1.



**Figur 4.4** Bilder föreställer en pågående urlakning. Konstruktionen är en pelare och den tillhör ett av de äldsta kraftverken i Sverige [Foto: M. Hassanzadeh, LTH/VRD]

Urlakning av cementpasta beroende av vatten-/fukttransport genom ett betongelement via sprickor, gjutfogar eller andra håligheter kräver en, eller flera, tätande åtgärder. Tätningen sker lämpligen genom injektering och/eller genom att tätande skikt anläggs konstruktionens yta (en eller flera ytor). Det tätande skiktet kan vara i form av en impregnering, ett ytskikt eller en tunn pågjutning. Valet av tätning beror bl.a. på konstruktionens utformning, omgivande miljö och graden av urlakning. Valet av reparationsförfarande görs med hänsyn till konstruktionens och/eller reparationens önskade livslängd.



#### 4.2.5 Temperatur-/fuktrelaterade rörelser

Temperatur-/fuktrelaterade rörelser kan leda till helt eller delvis genomgående sprickor med olika sprickvidder och med varierande sprickförekomst (antal sprickor, utformning av sprickmönster osv.). Variationerna är mycket beroende på konstruktionens utformning (geometri, tvång osv.) samt konstruktionens geografiska placering och utsträckning i förhållande till vädersträck (nord/syd respektive öst/väst).

Konstruktioner som är utsatta för temperatur-/fuktrelaterade rörelser och uppvisar yttligt belägna sprickor kan repareras genom pågjutning, eventuellt med ett extra tillägg av armering för att på ett bättre sätt kunna ta upp de spänningar som uppstår i konstruktionen pga. de temperatur-/fuktrelaterade rörelserna.



**Figur 4.5 Sprickorna i figuren orsakade av AKR, av den anledningen kan de benämnas som fuktrelaterade [Foto: M. Hassanzadeh, LTH/VRD]**

Konstruktioner som är utsatta för temperatur-/fuktrelaterade rörelser och uppvisar genomgående sprickor kan repareras genom injektering och pågjutning, eventuellt med ett extra tillägg av armering för att på ett bättre sätt kunna ta upp de spänningar som uppstår i konstruktionen pga. av de temperatur-/fuktrelaterade rörelserna, detta är emellertid en extrem situation vilken är tämligen problematisk att åtgärda på ett, på längre sikt, tillfredställande sätt.

I vissa fall kan det vara tillrådligt att isolera den utsatta konstruktionen för att minska de temperatur-/fuktgradienter som uppstår i betongen genom yttre temperatur- och fuktvariationer.

#### 4.2.6 Över-/Olyckslast

Slag/kollision och/eller ogynnsamma lastfall kan i vissa extrema fall leda till att betongen utsätts för krafter av den storleksordningen att den spricker (dragbrott), Armeringen kan också plasticera vid extrema förlopp. Vissa delar av konstruktionen kan också utsättas för sådana stora tryckpåkänningar att betongen lokalt krossas (tryckbrott).

Skador orsakade av överlast är ofta av en omfattande natur och kräver en genomgående analys innan ett lämpligt reparationsförfarande (omfattning och metod/er) kan fastställas. För att återge en konstruktion ursprunglig (eller förbättrad) stabilitet kan det vara tillrådligt förstärka den genom injektering och pågjutning.



**Figur 4.6** En monolitisk betongkonstruktion som har en genomgående spricka. Den bakomliggande orsaken är troligen temperaturinducerade volymförändring i kombination med tvång. Detta förlopp har orsakat en form av överlast och betongens draghållfasthet har överskridits. Pelaren har pågjutits, men bara något år senare ser vi att sprickan propagerat igenom reparationen [Foto: T. Sandström, VRD]

#### 4.2.7 Sammanfattning av kapitel 4

Sammantaget säger **Kapitel 4** att pågjutning är en mycket användbar reparationsmetod för vattenkraftskonstruktioner. Vad det gäller andra reparationstekniker, t ex injektering och sprutbetongering finns det mycket kunskap redan [**1 & 2**]. De reparationsområden som halkat efter i kunskapsavseende är ytskydd och förstärkning genom pågjutning.

Det föreslås härmed att det fortsatta arbetet gällande pågjutningar utförs via upprättandet av en state-of-the-art rapport. Det framtida arbetet bör ha fokus på pågjutningar och de långtidseffekter som hör vattenkraftsmiljön till. Vidare bör också det befintliga tekniska kunnandet sammanställas. Eventuella kunskapsluckor bör identifieras och angripas på lämpligt sätt. Vidare bör den befintliga kunskapen också överföras till Vattenkraften, så den kan möta de behov som vattenkraftskonstruktioner ställer på pågjutningar.

I Kapitel 5 presenteras ett förslag på vad en kommande state-of-the-art rapport skulle kunna innehålla.



## 5 Förslag på fortsatt arbete

Det föreslås härmed att det fortsatta arbetet gällande pågjutningar utförs via upprättandet av en state-of-the-art rapport. Det framtida arbetet bör ha fokus på pågjutningar och de långtidseffekter som hör vattenkraftsmiljön till. Vidare bör också det befintliga tekniska kunnandet sammanställas. Eventuella kunskapsluckor bör identifieras och angripas på lämpligt sätt. Vidare bör den befintliga kunskapen också överföras till Vattenkraften, så den kan möta de behov som vattenkraftskonstruktioner ställer på pågjutningar.

Nedan redovisas ett förslag på vad en kommande state-of-the-art rapport skulle kunna innehålla.

|                                               |                                                                                                                                                |
|-----------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>1. Inledning</b>                           | Bakgrund, begränsningar, mål/syfte                                                                                                             |
| <b>2. Allmänt om Pågjutningar</b>             | Beskrivning av problemställning samt definitioner. Referenser och artiklar som beskriver pågjutningar i olika avseenden                        |
| <b>3. Pågjutningar i Vattenkraftsmiljö</b>    | Normer och krav i vattenkraftssammanhang,. Referenser och artiklar som allmänt beskriver hur pågjutningar används i vattenkraftssammanhang.    |
| <b>4. Laster som påverkar pågjutningar</b>    | Inre laster (Krafter och spänningar), yttre laster, (Krafter, spänningar och miljörelaterade laster) med hänsyn till olika reparationsmaterial |
| <b>5. Modellering och Dimensionering</b>      | Normer och krav ställt till olika material osv.                                                                                                |
| <b>6. Långtidseffekter</b>                    | Normer och krav för vattenkraftsmiljö                                                                                                          |
| <b>7. Provningsmetoder</b>                    | Hur provar man en pågjutnings egenskaper i ett långtidsperspektiv idag?                                                                        |
| <b>8. Egen modell</b>                         | Hur skulle en sådan modell kunna förbättras/utformas så att den möter vattenkraftens behov?                                                    |
| <b>9. Kunskapsluckor rörande pågjutningar</b> | Vad har gjorts/vad behöver göras?                                                                                                              |
| <b>10. Förslag på fortsatt arbete</b>         | Hur går vi vidare med detta?                                                                                                                   |
| <b>11. Slutsatser</b>                         | Vad har vi lärt oss?                                                                                                                           |

## 6 Slutsats/Diskussion

I denna rapport presenteras de fysikaliska och kemiska fenomen som anses vara de med högst sannolikhet förekommande i vattenkraftsmiljö. Vidare så belyses de skador som dessa fenomen kan ge upphov till. Bakgrunden till skadeanalysen ligger i litteraturen och i Elforsks databas om betongreparationer samt iakttagelser gjorda på ett antal svenska vattenkraftverk.

Principiella reparationsmetoder som är användbara i vattenkraftssammanhang beskrivs med avseende till de bakomliggande skadeorsakerna.

I rapporten ges också exempel på olika typer av konstruktioner (och konstruktionsdelar) där olika typer av skador kan uppstå. Vidare beskrivs principiella reparationsmetoder för åtgärdande av de föreslagna typerna av skador.

Sammanfattningsvis kan följande slutsatser dras:

- De allra flesta skadorna som uppstår på betongkonstruktioner i vattenkraftsmiljöer anstiftas av den rådande miljön. Nedbrytningen av betongkonstruktioner orsakas således vanligtvis inte av besvärliga lastfall utan i de allra flesta fallen av miljöpåverkan,
- för de allra flesta skador som beskrivs i rapporten är pågjutning ett bra reparationsalternativ (som komplement eller som enskild reparationsåtgärd) som kan användas för reparationer av flertalet av de skador som kan uppstå i vattenkraftsmiljöer.
- utförandet av reparationen och sammansättning (ingående material) av pågjutningsmaterial kan vara komplicerat beroende på miljö (t ex ovan, vid och/eller under vattenlinjen) och skadeorsak (t ex AKR, urlakning, frostsprängning).
- fortsatt arbete bör ha fokus på långtidseffekter/-egenskaper för att på bästa sätt komplettera/tillföra dagens kunnande rörande pågjutningar i vattenkraftsmiljöer
- de ovanstående punkterna visar att det torde finnas en potentiellt stor nytta med ett systematiskt kunnande om pågjutningar för Vattenkraftsbranschen.

## 7 Referenser

- [1] Eklund D; "Penetrability due to Filtration Tendency of Cement Based Grouts", KTH, Stockholm maj 2005
- [2] Nordström E; "Durability of Sprayed Concrete – Steel fibre corrosion in cracks", LTU, Luleå Januari 2005
- [3] Schrader E K; "The Use of Polymers in Concrete to Resist Cavitation/Erosion Damage", ACI, Austin, Texas USA oktober 1978
- [4] Ljungkrantz C mfl; "Betonghandbok - Material", Svensk Byggtjänst och Cementa AB, Stockholm oktober 1994
- [5] Sandström T; Artikel "Nyheter inom anläggningsteknik", Elforsk Digitalt Nyhetsblad, Älvkarleby november 2005
- [6] Bergström S G; "Betonghandbok - Reparationer", Svensk Byggtjänst, CBI Cementa AB och Stabilator AB, Lund april 1987
- [7] Vägverket; Publikation 2004:56 "Bro 2004", Vägverket, Borlänge 2004
- [8] King J & Wilson A; Artikel "If it's still standing, it can be fixed", Concrete Construction, juli 1988
- [9] Bernstone C; "Kunskapsåterföring på betongområdet från det amerikanska REMR-programmet", Elforsk rapport 98:33, Stockholm december 1998
- [10] Fagerlund G; "Betong i vattenkraftanläggningar", VAST, Stockholm april 1991
- [11] Lindgren M; "Provningsmetoder och skadetyper vid vattenkraftverk", Examensarbete, Elforsk Rapport 05:35, Stockholm september 2005
- [12] Sandström T; "Erfarenhetsåterföring från rivningsarbete...", Elforsk (Inte ännu utgiven rapport) 2006
- [13] Kursmaterial, "ICOLD world's register of dams - 1998" RIDAS - Kurs i dammsäkerhet, Svensk Energi & KTH Stockholm januari 2005
- [14] Björntröm J, Ekström T Hassanzadeh M; "Spruckna Betongdammar – Översikt och beräkningmetoder", Elforsk Rapport 06:29, Stockholm mars 2006
- [15] Carlswärd J; "Shrinkage cracking of steel fibre reinforced self compacting concrete overlays" Doctorial thesis 2006:55, Luleå 2006
- [16] Fagerlund G; "Moisture Design with regard to Durability" report TVMB-3130, Lund 2006
- [17] Grönholm R; "Reparationsmetod vid Alkali-Kiselsyra – Skador på betongdammar", Elforsk Rapport 01:02, Stockholm december 2000
- [18] Strukturmekaniska beräkningar utförda på Vattenfall Research and Development, rapport ännu inte publicerad

**ELFORSK**

SVENSKA ELFÖRETAGENS FORSKNINGS-  
OCH UTVECKLINGS - ELFORSK - AB