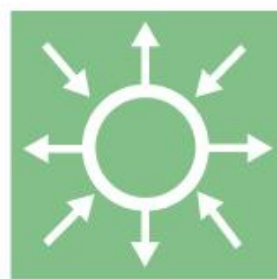
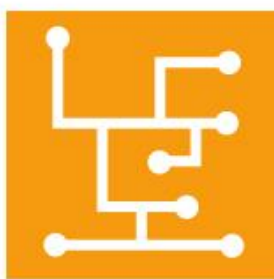


Station för fältexponering av material och reparationssystem för betongkonstruktioner

Förstudie

Elforsk rapport 09:72



Arvid Hejll, Manouchehr Hassanzadeh, Tomas Sandström

Januari 2009

ELFORSK

Station för fältexponering av material och reparationssystem för betongkonstruktioner

Förstudie

Elforsk rapport 09:72

Förord

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

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

Målet är att ta fram verktyg, riktlinjer, utförandebeskrivningar och teknik som fyller industrins behov, bl a genom att koppla resultaten till RIDAS med tillämpningsanvisningar. Målet är också att bygga kompetens. En uttalad ambition är att samarbeta med övrig industri och landets tekniska högskolor.

Programmet administreras med hjälp av en styrgrupp med följande ledamöter:

Malte Cederström, Vattenfall AB Vattenkraft

Johanna Feldtman, E.ON Vattenkraft Sverige AB

Jan Liif, Statkraft Sverige AB

Erik Nordström, Vattenfall AB Vattenkraft

Karin Persson, Fortum

Gunnar Sjödin, Vattenregleringsföretagen

Cristian Andersson, Elforsk AB

Stockholm augusti 2009



Cristian Andersson

Elforsk AB

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

Sammanfattning

Den industrialiserade världens infrastruktur behöver repareras och uppgraderas. Det är mycket stor efterfråga på material och produkter. Därför utvecklas och produceras nya material och system ständigt. Erfarenheterna vad det gäller produkternas livslängd och deras prestanda i utsatta miljöer under lång tid är mycket sparsamma. Vidare är samverkan mellan dessa produkter och det gamla materialet samt deras långtidsinverkan på det gamla materialet i den utsatta miljön okänd.

Det är svårt att med hjälp av enbart teoretiska analyser och laboratorieprovningsningar bedöma en reparerad konstruktion och ett reparationsmaterials livslängd i hård miljö. Fältexponering är ett bra komplement till teoretiska analyser och provningsmetoder.

Erfarenheterna och resultat med att prova material i fältstationer är goda. Som exempel kan fältstationerna Träslövsläge och Riksväg 40 nämnas. I den första studerade man kloridinträngning och armeringskorrosion i marin miljö och i den andra studerade man samma faktorer i en vägmiljö. Även Vattenfall Research and Development har goda erfarenheter beträffande fältexponering av fiberarmerad betong.

Denna förstudie har visat nyttan av tidigare uppförda fältstationer för betongkonstruktioner i Sverige med avseende på vetenskaplig forskning, underlag till nya krav och normer, dimensionering av beständiga konstruktioner och utformning av för samhället viktiga kommunikationsleder.

Vidare har vi visat att kraftindustrin varit intresserade av nyttan och resultaten från försök tidigare utförda vid de existerande stationerna.

Rapporten beskriver de skademekanismer och skadetyper som är relevanta för vattenkraftsanläggningar. En fältstation ger ökad möjlighet att studera skademekanismer och dess effekter och möjligheter att verifiera och utveckla provnings- och analysmetoder, och inte minst verifiera och utveckla nya reparationsmaterial och reparationsystem.

Den allra viktigaste nyttan med en fältstation är att man kan studera skal-, tid- och synergieffekter som enbart kan åstadkommas genom exponering i verklig miljö och genom registrering av yttre och inre faktorer.

Summary

The infrastructure in the industrial part of the world is in need of repair and upgrading. To fulfil the demand of material and products new materials and systems are constantly developed. The experience regarding the performance over an extended time is relatively low. The interaction between new repair material and the structure is also unknown, especially when it comes to long-time performance in an essential environment.

With only theoretical analysis and laboratory test methods the extended lifetime of repair and upgrading systems cannot be evaluated with enough reliability. In combination with long-term exposure under real environmental conditions this question can be solved.

Other field exposure stations in Sweden have earlier shown to give important knowledge and results. At the station in Träslövsläge, chloride intrusion and corrosion of reinforcement steel in a marine environment were studied. At highway 40 (riksväg 40, RV40) the same mechanisms were studied but in a road traffic environment. Field exposure tests have also been performed at Vattenfall Research and Development. Degradation of fibre reinforced sprayed concrete was tested at RV40 and in Dalälven.

This study has shown the benefits of earlier field exposure stations regarding scientific results, new demands and guidelines, guidelines for durable concrete structures and design of important constructions for the society in Sweden.

The results and the benefits for the existing exposure stations have also been used within the hydropower industry.

The report describes the degradation mechanisms that are relevant for hydropower structures. A field exposure station increases the possibilities to study degradation mechanisms and the damages. Verification and development of new repair and upgrading systems are also possible.

The most important benefits of a field exposure station are possibilities to investigate the size effect and the time effects and synergy effects of hydropower concrete components, repair and upgrading systems. This can only be achieved by exposure of test specimens under realistic environment conditions by registration of internal and external elements.

Innehåll

1	Inledning	1
1.1	Bakgrund	1
1.2	Syfte	2
1.3	Mål.....	2
2	Nedbrytning av reparationer i vattenkraftsmiljö	3
2.1	Inledning	3
2.2	Kortfattad beskrivning av vattenkraftsmiljö	3
2.3	Förekommande reparationsmetoder	6
2.3.1	Injektering.....	6
2.3.2	Ytskydd.....	7
2.3.3	Pågjutning	9
2.4	Nedbrytningsmekanismer.....	10
2.4.1	Frostangrepp.....	10
2.4.2	Urlakning.....	11
2.4.3	Erosion.....	11
2.4.4	Armeringskorrosion.....	11
2.4.5	Alkaliskiselreaktioner (AKR).....	11
3	Jämförelser mellan laboratorium och verklig miljö	13
3.1	Skaleffekter och Storleksinverkan	13
3.1.1	Pågjutningar	14
3.1.2	Fogrörelser	14
3.1.3	Injektering.....	14
3.1.4	Tidsfaktorn	14
3.2	Tidseffekter.....	14
3.3	Synergieffekter	15
3.4	Kalibrering och verifiering av provningsmetoder.....	15
4	Existerande fältstationer	16
4.1	Träslövsläge	16
4.2	Kloridinträngning Riksväg 40	18
4.3	Dalävlén, Älvkarleby	19
5	Utformning av fältstation	20
5.1	Inledning	20
5.2	Placering.....	20
5.3	Krav på utformning	20
5.3.1	Fysisk utformning av stationen.....	21
5.3.2	Fysisk utformning av mätstation.....	22
5.4	Parametrar som skall registreras.....	22
5.5	Kostnader	22
5.5.1	Nyanskaffning	22
5.5.2	Driftkostnader.....	23
6	Nyttan med projektet	24
7	Referenser	25

1 Inledning

1.1 Bakgrund

Stora delar av en vattenkraftsanläggning är utsatta för stora temperaturvariationer, låga temperaturer, höga fuktnivåer samt stort vattentryck. I vissa delar samverkar dessa faktorer vilket resulterar i frostangrepp, erosion, urlakning samt stora spänningar och deformationer i de material som ingår i konstruktionen. Spänningarna och deformationerna leder så småningom till sprickbildning som banar vägen för urlakning av konstruktionens betongmaterial. I dagsläget är mekanismerna bakom nedbrytningsprocesserna kända. Det har visat sig vara svårt att teoretiskt beskriva dessa processer och förutsäga konstruktionens nedbrytningsprocess. På grund av dessa anledningar har man utvecklat provningsmetoder och utformat olika krav på materialegenskaper för att kunna förebygga materialnedbrytningen. Provningsmetoderna och egenskapskraven är utvecklade för att säkerställa de enskilda materialen eller produkterna i de miljöer som skall användas. Provningsmetoderna och kraven är inte direkt användbara för olika materialkombinationer som är fallet vid en reparation.

Den industrialiserade världens infrastruktur behöver repareras och uppgraderas. Det är mycket stor efterfråga på material och produkter. Därför utvecklas och produceras nya material och system ständigt. Erfarenheterna vad det gäller produkternas livslängd och deras prestanda i utsatta miljöer under lång tid är mycket sparsamma. Vidare är samverkan mellan dessa produkter och det gamla materialet samt deras långtidsinverkan på det gamla materialet i den utsatta miljön okänd. Vattenkraftsanläggningar består till stor del av betong som är utsatt för det hårda nordiska klimatet. Betongen är i många av dessa anläggningar gammal och har nedsatt hållfasthet och frostbeständighet. Därför kan pågjutning eller påbyggnad av nytt materialskikt på anläggningarnas gamla betong leda till skador. Skadorna kan orsakas bl. a. av att fukttillståndet i den gamla betongen förändras vilket kan leda till frostskaador eller att de olika materialskiktens fukt- och temperaturrörelser kan medföra slitningar och sprickbildningar i den gamla betongen. Det finns även andra typer av skador.

Som antytts ovan är det svårt att med hjälp av enbart teoretiska analyser och laborieprovningsmetoder bedöma en reparerad konstruktion och ett reparationsmaterials livslängd i hård miljö. Fältexponering är ett bra komplement till teoretiska analyser och provningsmetoder. Fältstationer kan även användas för kalibrering av analys- och provningsmetoder. Genom att prova ett reparationssystem i en fältstation kan man studera dess beteende i den "miljö" som den skall användas. Man kan även studera reparationssystemets inverkan på underlaget och avgöra om läget förbättras eller förvärras.

Erfarenheterna och resultat med att prova material i fältstationer är goda. Som exempel kan fältstationerna Träslövsläge och Riksväg 40 nämnas. I den första studerade man kloridinträngning och armeringskorrosion i marin miljö

och i den andra studerade man samma faktorer i en vägmiljö. Även Vattenfall Research and Development har goda erfarenheter beträffande fältexponering av fiberarmerad betong.

1.2 Syfte

Detta projekts syfte är att genom en förstudie undersöka:

- om en fältstation är ett bra hjälpmedel för utvärdering av reparationsmetoder avsedda för vattenkraften
- hur och var den skall upprättas
- hur skall den bedrivas
- inventera existerande stationer och belysa den nytta de har haft
- utföra en kostnadsuppskattning

1.3 Mål

Ge beslutsunderlag inför en eventuell investering i en fältstation för provning av reparationssystem och material för kraftindustrin.

2 Nedbrytning av reparationer i vattenkraftsmiljö

2.1 Inledning

En stor del av vattenkraftens underhållsarbete består av reparationer av betongkonstruktioner som på något sätt är skadade. En relativ stor del av skadorna uppstår på vattenförande/dämmande konstruktioner såsom skibord, intag, utlopp och murar av olika slag. De bakomliggande orsakerna till dessa skador är många gånger urlakning, frostnedbrytning och erosion, eller någon form av kombination av de tre. Nedbrytningen startar vanligtvis på betongkonstruktionens yta för att med tiden propagera inåt i konstruktionen. Oavsett de bakomliggande orsakerna till skada måste konstruktionen repareras för att säkerställa dess funktion.

Ett korrekt materialval i kombination med ett korrekt reparationsutförande kan resultera i att anläggningsägaren kan reducera eventuell avställningstid, minska underhållskostnader och samtidigt öka den tekniska livslängden hos den reparerade konstruktionen. Idag finns det ett stort urval av reparationsmaterial på markanden vilket många gånger gör materialvalet svårt. De olika materialleverantörerna är uppenbart part i målet när det kommer till materialval, vilket ytterligare försvårar detta val. Materialegenskaperna hos dessa reparationsmaterial är vanligtvis, men inte alltid, testade genom ett antal standardiserade metoder i laboratoriemiljö. Detta innebär att det är svårt att prediktera hur ett givet material kommer att fungera i den miljö där det är tänkt att det ska användas. Vidare är det också tänkbart att standardiserade provningar utförda på ett "homogent" reparationsmaterial inte nödvändigtvis säger hur det sammansatta systemet, d.v.s. reparationsmaterial och konstruktionsbetong, kommer att fungera i en given miljö.

2.2 Kortfattad beskrivning av vattenkraftsmiljö

Oavsett typ av konstruktion och oberoende av vilket eller vilka byggnadsmaterial som konstruktionen är uppbyggd av så påverkas konstruktionen av den omgivande miljön. En och samma vattenkraftskonstruktion kan verka i ett antal olika miljöer. Beroende på konstruktionens eller konstruktionsdelens funktion, orientering och materialsammansättning påverkas den olika av de nedbrytningsmekanismer som verkar i den aktuella miljön. De yttre faktorerna som orsakar nedbrytning av vattenkraftens betongkonstruktioner beror i första hand på närvaron/frånvaron av vatten men också beroende på storleken och varaktigheten på säsongernas temperaturförändringar.

Närvaro av vatten (hög relativ fuktighet, hög fuktkvot) är en förutsättning för ett antal fysikaliska, kemiska (t ex AKR) och elektrokemiska (armeringskorrosion) nedbrytningsmekanismer ska kunna verka [1], [2]. De för vattenkraften, mer eller mindre, relevanta skadeorsakerna för betong och den av betong kringgjutna armeringen är allmänt kända och beskrivs utförligt av bl a Fagerlund och Nilsson [1], [2]. Dessa skademekanismer och korresponderande fuktintervall redovisas i **Tabell 2.1**.

Tabell 2.1 Olika RF och exempel på korresponderande nedbrytningsmekanismer som på något sätt kan ses som vattenkraftsnära. Nivåer och skademekanismer är tagna från [1].

"Fuktintervall"	Nedbrytande mekanismer
1. Hygroskopiska området (RF $\leq$ 98 %)	Armeringskorrosion, urlakning
2. Kapillära området (RF 98-100 %)	AKR och urlakning
3. Överkapillära området (RF 100 %)	Inre frostangrepp och urlakning

En stor andel av Sveriges Vattenkraftanläggningar är belägna på platser som har kalla vintrar och relativt varma somrar. Vidare så har det uppströms dämnda vattnet en relativt konstant temperatur. Perioder med hög respektive låg medeltemperatur, samt fluktrationer mellan dessa kan orsaka mindre önskvärda situationer för betong. Under perioder med låga temperaturer kan det i betongen absorberade vattnet frysa och därmed orsaka en expansion. Under varma perioder expandera betong pga av den termiska expansionskoefficienten. Sker en volymförändring (expansionen) i samband med tvång kan icke önskvärda (drag) spänningar byggas upp i betongen. För en konstruktion som är reparerad genom pågjutning kan dessa spänningar, i extrema fall, leda till att det uppstår en nedsatt vidhäftningshållfasthet, alternativt brott i fogen. Vidare, kan stora termiska och fuktrelaterade rörelser orsaka sprickbildning på pågjutningen och även hos underlaget.

Rörelse i kombination med tvång leder till spänningsutveckling. Det finns ett antal olika bakomliggande orsaker som kan resultera i icke önskvärda rörelser. Vattnet påverkar betong oavsett om det är stillastående, strömmande och/eller om det ger upphov till höga hydrostatiska tryck. Årstidernas temperaturvariationer kan vara stora ($> 30\text{ }^{\circ}\text{C}$ är inte ovanligt).

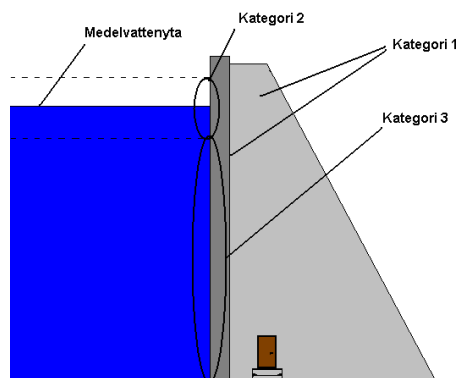
Olika betongkonstruktioner, eller olika konstruktionsdelar tillhörande samma konstruktion, kan befinna sig i olika miljöer. Ett sätt att dela in konstruktioner eller konstruktionstyper är:

- 1) Konstruktioner som sällan kommer i direkt kontakt med vatten. Exempel på konstruktionsdelar /konstruktionsdelar är sådana som inte står i direkt kontakt med vatten, men som kan utsättas för regn, och temperaturförändringar.

- 2) konstruktioner som alltid är i direktkontakt med vatten kan vara lägre belägna delar på vattenledande/-dämmande betongkonstruktioner såsom dammar, murar och pelare.
- 3) konstruktioner som delvis (eller växelvis) kommer i direktkontakt med vatten kan också vara betongdamm, murar och pelare fast då delar av konstruktionen som är belägna högre i förhållande till de föregående (2).

Inomhusmiljöer är ofta "kontrollerade" och har svagt till försumbart varierande RH och temperatur. I den bemärkelsen är "inomhusmiljöer" många gånger en ofarlig miljö för cementbaserade material, därför exkluderas denna miljö här. Det bör noteras att VRD utreder just nu klimatet hos inspektionsgångarna hos några dammar. Ovanstående påstående kommer att delvis verifieras med hjälp av utredningens resultat.

En betongdamm, eller annan liknande konstruktion, verkar i en speciell och för vattenkraften karaktäristisk omgivning. Där kombinationen av alla tre miljöer går att finna, se Figur 2.1. Bl a av den anledningen är det svårt att med tillräcklig säkerhet teoretiskt beräkna temperatur- och fuktfördelningar i betongkroppen. Dessa kategorier kan också beskrivas som exponeringsklasser, vilka går att finna i EN 206-1 eller i Svenska betongföreningens vägledning till densamma [3].



Figur 2.1 Skiss av en lamelldamm med exempel på olika typer av miljöer som verkar på samma konstruktion

De säsongsinducerade temperaturförändringarna resulterar i att betongkonstruktionen utsätts för termiska rörelser/volymförändringar. I kombination med tvång kan volymförändring leda till sådana spänningskoncentrationer att betongens draghållfasthet uppnås, och i extrema fall överskrids. Vidare kan låga temperaturer i kombination med hög fukthalt i materialet leda till ytavskalning och inre frostsador. Urlakning är ett annat fenomen som uppkommer hos vattenkraftskonstruktioner som är utsatta för vattentryck och låga temperaturer.

Det torde finnas en viss sannolikhet att betongdamm, från olika "epoker" har helt olika förutsättningar vad det gäller beständighetsfrågor. Man kan också

inse att sådana variationer i betongens/konstruktionens materialsammansättning, produktionsteknik och ålder kommer att, på något sätt, påverka samverkan vid en eventuell pågjutning. Ett exempel på där variationer i materialsammansättningar spelar en betydande roll är när det kommer till betongens förmåga att absorbera vatten. Därmed påverkas också motståndet mot de nedbrytande mekanismer som kopplas till vattenabsorption.



Figur 2.2 Sprickbildning och urlakning hos en gammal dammkonstruktion.

2.3 Förekommande reparationsmetoder

2.3.1 Injektering

Med injektering menas här när en betongkonstruktion injekteras med ett visst material i syfte att:

- Skydda konstruktionen (betongen) mot inträngning aggressiva ämnen
- Vattentäta betongen/konstruktionen
- Att höja hållfastheten i konstruktionen

I princip så kan ett injekteringsbruk bestå av oorganiska (cementbaserade) eller organiska (polymerbaserade) bindemedel.

Injektering förknippas ofta med tätning och/eller förstärkning av jord eller berg, t.ex. vid markstabilisering och bergtätning vid tunneldrivning.

I, bland annat, Sverige så har utvecklingen spridit sig från förstärkningar av uppspruckna berg till urlakade/spruckna betongkroppar. Vad gäller injektering av betongkroppar så används metoden oftast i syfte att föryngra, täta, återställa eller förstärka olika typer av konstruktioner.

Injekteringen syftar till att fylla sprickor och hålrum i konstruktionen. Injektering kan också i vissa fall användas i hållfasthetshöjande avseenden. Injektering används för att undvika, för konstruktionen, nedbrytande konsekvenser som kan härledas från hålrum och sprickor i betongen. Injektering kan användas för att:

- Minska konstruktionens permeabilitet och därmed minska urlakningen av cementpasta. En minskad permeabilitet ger också 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 konstruktionens stabilitet/bärighet genom att öka betongens hållfasthet. En ökad hållfasthet minskar sannolikheten för brott vid ogynnsamma lastfall, slag och/eller kollision.

Injektering är en metod som kan användas för reparationsarbeten av vattenkraftens konstruktioner i tätande, föryngrande och hållfasthetshöjande avseenden.

Injekteringsbruk tillförs genom borrarade hål in i konstruktionen via övertryck, storleken på tryckets bestäms bl.a. beroende på konstruktionens permeabilitet, injekteringsbrukets fysiska egenskaper, och till viss del syftet med injekteringen.

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

2.3.2 Ytskydd

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 bindemedel eller så kan ytskyddet bestå av ena eller båda av de två bindemedlen.

Nedbrytande konsekvenser från en mängd olika skadeorsaker kan, med hjälp av riktigt val av ytskydd, minskas eller elimineras. För vattenkraftens konstruktioner kan ytskydd vara en, i vissa fall, bra lösning, eller alternativt ett bra komplement till annan reparationsåtgärd¹.

Ytbeläggningar syftar till att täta (täcka) sprickor och porer vid konstruktionens yta. Ytbeläggningar kan också i vissa fall användas i syfte att öka konstruktionens motståndskraft mot mekanisk åverkan. Ytbeläggningar 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)

Impregnering syftar till att täta konstruktionens yta. Tätskiktet kan anläggas med eller utan diffusionsspärr beroende på produkt. Impregneringsprodukter kan användas för att:

- Minska konstruktionens permeabilitet och därmed minska urlakningen av cementpasta. En ökad täthet ger också konstruktionen en större motståndskraft mot frostattacker och kemiska angrepp.

Några fördelar:

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

Några nackdelar:

- Osäkerhet vad det gäller produkternas deklarerade egenskaper (laboratoriemiljö jämfört med fältemiljö)
- Icke diffusionsöppna, tunna, produkter ökar sannolikheten för frostangrepp

¹ Injektering och/eller pågjutningar

- I vissa fall kan det råda en viss tveksamhet rörande arbetsmiljön vid applicering en del produkter
- De flesta produkterna kräver att betongen har låg relativ fuktighet (ju lägre desto bättre)

2.3.3 Pågjutning

Pågjutning kan delas in i två grupper, tunna och grova pågjutningar. Tunna pågjutningar begränsas till en största tjocklek på cirka 5 cm. Grova pågjutningar har således en minsta tjocklek på cirka 5 cm och det finns ingen egentlig gräns för maximal tjocklek.

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

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 avverkas och ytan pågjuts med en ny betong (se definition nedan). Pågjutningen skall kunna motstå belastningarna och angreppen, pågjutningen måste samtidigt samverka med, och skydda, den underliggande betongen under lång tid.

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 bärrighet/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 öka en konstruktions bärrighet/stabilitet

Några fördelar:

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

Några nackdelar:

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

I takt med den ökade kunskapen om reparationsmetodik och materialteknik så har alternativa "pågjutningsmetoder" börjat användas. Några av dessa metoder nämns nedan.

- Nygamla metoden Injekteringsbetong (pre-pack-metoden)
- Pågjutningar med vidhäftningsbrytande skikt
- Kolfiberförstärkning (polymerförstärkta plattor som limmas på konstruktionen)

2.4 Nedbrytningsmekanismer

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

2.4.1 Frostangrepp

Förekomst av frysbart vatten i kombination med låga temperaturer kan leda till för betongen skadliga (expansiva) frostangrepp. Frostangreppets principiella verkningssätt och konsekvenser är "allmänt" kända och beskrivs bl a i [2], [4], [5], [6]. Nedbrytning pga. av frysning har självklart en stark koppling till fukttinnehållet i betongen. De, i sammanhanget, kritiska fuktnivåerna uppnås nästan uteslutande i situationer där konstruktionen stått i direkt kontakt med vatten under en relativt lång tid.

2.4.2 Urlakning

Urlakning ökar generellt sett med ett ökat fukttinnehåll i betongen, enligt Ekström [5] sker urlakning på följande sätt:

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

2.4.3 Erosion

Erosion på betongdammkonstruktioner förorsakas av tre samverkande mekanismer:

- Frostangrepp
- Urlakning
- Mekanisk erosion

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

2.4.4 Armeringskorrosion

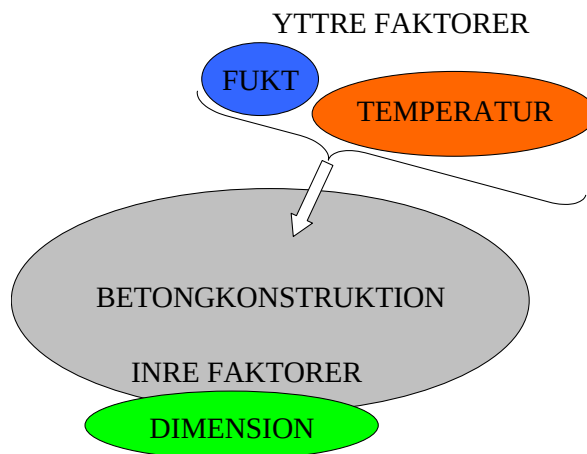
Armeringskorrosion är en av de absolut vanligaste bakomliggande orsakerna till skador på betongkonstruktioner och fenomenet har undersökts av ett flertal forskare, se t ex [7]. Sannolikheten att armeringskorrosion ska inträffa/verka i de miljöer som existerar inom Vattenkraftindustrin kan emellertid anses vara låg. En främsta anledningarna är en kombination av avsaknaden av klorider i älvvattnet och det relativt långsamma karbonatiseringsförloppet. Enligt en norsk fältstudie [8] så verkar den i sammanhanget annars så betydande och oundvikliga karbonatiseringen av betongen ske mycket långsamt på vattenkraftverken i studien. En tänkbar orsak till den långsamma karbonatiseringen kan vara att vattenkraftverken vanligtvis är belägna på sådana platser där det sker minimalt med, för betong, nedbrytande utsläpp. Detta skulle därför också kunna bidra till armeringskorrosionens sällsynthet. Slutligen, den betong som har använts för att bygga upp vattenkraftens infrastruktur (benämns som Vattenbyggnadsbetong i [9]) är i allmänhet betydligt tätare (tryckhållfastheter upp till 70 MPa är inte ovanliga) än den betong som används vid byggandet av annan infrastruktur.

2.4.5 Alkalikiselreaktioner (AKR)

AKR (Alkalikiselreaktioner) inträffar när betongen innehåller undermålig ballast, så kallad reaktiv ballast, samtidigt att det cementbaserade materialet har ett tillräckligt högt fuktinnehåll. Ett exempel på reaktiv ballast är t ex amorf kvarts. Den amorfa kvartsen reagerar med vatten under volymförändring (expansion). Den allmänna uppfattningen inom branschen är att denna typ av nedbrytning är ovanlig i Sverige men betydligt vanligare i Norge. En tidigare utförd studie pekar emellertid på att det finns ett antal betongkonstruktioner inom vattenkraftindustrin som består av betong som innehåller reaktiv ballast [10]. Det bör dock påpekas att konsekvensen av AKR många gånger blir relativt omfattande med ett komplicerat reparationsarbete som följd.

3 Jämförelser mellan laboratorium och verklig miljö

Nedbrytning av en betongkonstruktion styrs av tre element.



Figur 3.1 Nedbrytning av en betongkonstruktion beror på yttre och inre faktorer

Fukt och temperatur är erforderliga element för att en fysikalisk eller kemisk nedbrytningsprocess skall initieras och fortgå. Dimension styr bl.a. processens hastighet och de eventuella inre tvång som uppstår som ger mekanisk/fysikalisk nedbrytning av konstruktionen. Som exempel kan nämnas urlakning i en uppsprucken betongkonstruktion. För att detta skall uppstå måste konstruktionen först spricka, t.ex. genom temperaturgradient vilket är mer sannolikt för grova konstruktioner. För att urlakningsprocessen skall initieras och fortgå måste vatten transporteras i sprickorna.

Tiden och inre spänningar är beroende på konstruktionens dimensioner och därför svårt att realisera i en laboratoriemiljö. Provning av nedbrytningsprocesser måste därför ske i fältmässiga yttre förhållanden och dimensioner på provkroppar måste vara överensstämmande med verkligheten.

Nedan anges de elementära parametrar, och dess effekter på nedbrytningsprocessen, som är svåra att modellera i laborationsprovning.

3.1 Skaleffekter och storleksinverkan

Vid laborationsförsök och vid löpande kvalitetskontroller är det av naturliga skäl ofta mindre provkroppar som provas. Syftet är att det skall bli en rimlig ekonomi att utföra provningen eller kontrollen. När man har små provkroppar är spänningsfält och töjningsfält annorlunda jämfört med storskaliga provkroppar och verkliga konstruktioner. Detta kan påverka sprickbildningen i

konstruktionen och påverka t.ex. fukttransport och urlakning. Andra exempel ges i nedanstående stycken.

Konstruktionens styvhet styr de spänningar som kan uppkomma i konstruktionen speciellt i sammansatta konstruktioner. En konstruktions styvhet styrs inte enbart av materialets E-modul utan även av konstruktionens dimensioner.

3.1.1 Pågjutningar

Vid t.ex. pågjutningar är den totala rörelsedifferensen mellan materialen avgörande. Underlaget och det pågjutna materialet kommer att röra sig olika, beroende på krympning i pågjutningsmaterialet men också pga. temperaturrörelser. Spänningsfälten mellan det pågjutna materialet och underlaget beror till väldigt stor del av hur stor yta som har begjutits. Pågjutning i större skala skulle ge möjlighet att bestämma beteendet hos ett pågjutningssystem när det utsätts för en verklig spännings- och töjningsförhållande. Resultaten kan även användas för att utveckla mer realistiska provnings- och kontrollmetoder.

3.1.2 Fogrörelser

Fogrörelser är resultanten av konstruktionsdetaljens deformationer orsakad av belastning samt fukt- och temperaturändringar. Resultantens storlek styrs av konstruktionens dimensioner. Det är svårt att åstadkomma de deformationer som uppstår i verkligheten i en laboratoriemiljö.

3.1.3 Injektering

Att prova injektering i är tillika som ovanstående beroende på konstruktionen globala rörelser. Utan en fältexponeringsstation är det oerhört svårt att prova hur injekteringsarbeten i en konstruktion kommer att fungera med avseende på de påfrestningar en injekteringsfog kan bli utsatt för i en verklig miljö.

3.1.4 Tidsfaktorn

Stora grova provkroppar är tröga. Det tar lång tid innan jämviktsförhållande uppnås. T.ex. tar det lång tid innan de transinta processerna går över att bli till stationära. Det är svårt att i en laboratoriemiljö efterlikna de transinta processerna som uppstår i verkligheten.

3.2 Tidseffekter

Långtidsförsök som skall efterlikna de verkliga miljöbelastningar är kostsamma och utrymmeskrävande om de utförs i laboratoriemiljö. En fältexponeringsstation är lämplig för att utföra långtidstester. Tidigare erfarenheter från långtidsförsök i fält ger god förståelse hur nedbrytningsprocesser påverkar betongkonstruktioner under verkliga förhållanden. Se kapitel 4.

3.3 Synergieffekter

Nedbrytning av betongkonstruktioner kan ske under inverkan av samverkande mekanismer. Att studera hur en konstruktion bryts ner är komplicerat då många mekanismer påverkar och beror på varandra. Ofta är det svårt att identifiera den dominerande mekanismen eller ordningsföljden på mekanismernas inverkan. Av dessa anledningar är det svårt att i laborationsmiljö åstadkomma nedbrytning orsakad av synergieffekter.

De mekanismer som samverkar vid nedbrytning kan vara en kombination av följande mekanismer:

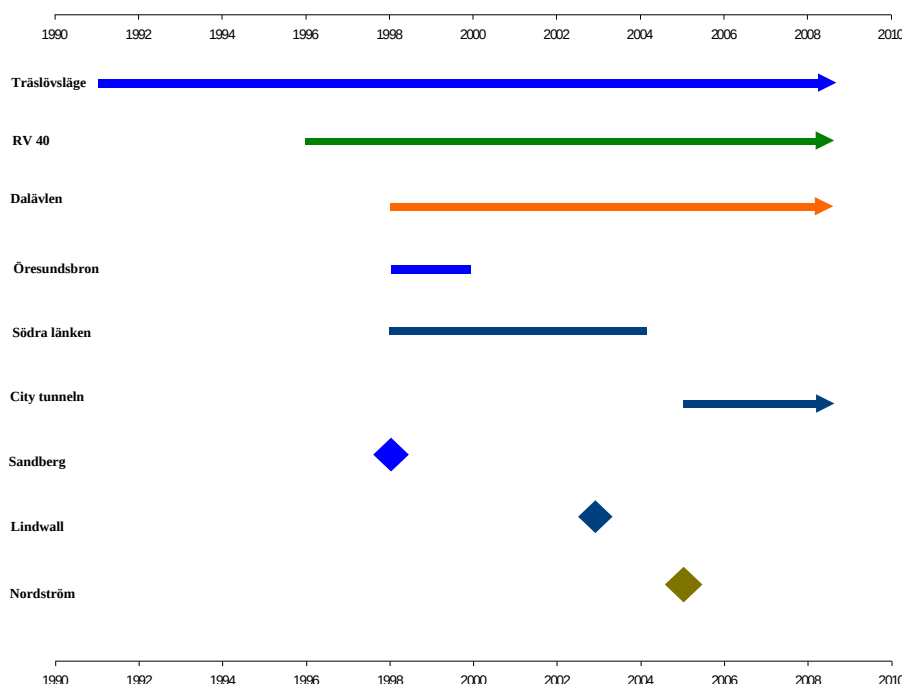
- Frost
- Belastning
- Tvång
- Urlakning
- Erosion

3.4 Kalibrering och verifiering av provningsmetoder

Provning i laboratorium är både effektivt, rationellt och ekonomiskt. Samtidigt har man möjlighet att styra de ingående parametrarna. Om man kan hitta ett samband mellan laboratorieprovning och verkligheten ökar laboratorieprovningens trovärdighet och användarbarhet. Om man har möjlighet till fältprovning ökar möjligheten att hitta sambanden som kan vara empiriska eller analytiska modeller.

4 Existerande fältstationer

I Figur 4.1 visas hur befintliga stationer är kopplade till viktiga anläggningsprojekt i Sverige och avhandlingsarbeten om nedbrytning och beständighet på betongkonstruktioner och betongreparationer. Träslövsläge har betytt mycket för normer och krav vid byggandet av bl.a. Öresundsbron och även södra länken i Stockholm och citytunneln i Malmö. Avhandlingen av Sandberg 1998, [13], är direkt knuten till resultat från exponeringsstationen i Träslövsläge. Lindwall 2003, [14], bygger sin avhandling från resultat från Träslövsläge samt RV 40. Nordström 2005, [15], har långtidsexponerat prover i Dalälven samt vid RV 40 och Eugeniattunneln. Figuren visar att exponeringsstationer har gett viktiga resultat för forskning samt gett viktig kunskap som varit avgörande för kravsättning vid viktiga anläggningsarbeten i Sverige. Figuren visar också att verksamheten vid exponeringsstationerna fortgår under en lång tid.



Figur 4.1 Befintliga exponeringsstationer kopplade till anläggningsbyggen och doktorsavhandlingar.

4.1 Träslövsläge

Fältstationen i Träslövsläge etablerades 1991. Målet med fältstationen var att studera kloridinträngning i betong och armeringskorrosion i marinmiljö. Fält-

stationen var utformad som en brygga, Figur 4.1, och var placerad i Träslövsläge, i närheten av Varberg. Havsvattnet har relativt hög salthalt. Provkropparna utformades som betongplattor, Figur 4.2, som hängdes på bryggan. Betongplattorna togs upp enligt en förutbestämd provtagningsplan för olika typer av undersökningar. Kärnor borrades ut på plats för bestämning av bl.a. fukt- och kloridprofiler. Utöver dessa mätningar loggades platsens fukt- och temperaturförhållanden. Betongplattorna tillverkades med olika betongsammansättningar.

Resultaten har använts inom olika sammanhang. Utöver de vanliga norm- och standardarbeten har resultaten använts för att ta fram nya, samt förbättra gamla, teorier som beskriver kloridtransport i betong. Vidare har resultaten använts för att beskriva fuktförhållandena i en betongkonstruktion i marinmiljö.

Göran Fagerlund² har använt resultaten från Träslövsläge för bl. a. bestämning av det täckande betongskiktet samt framställning av det betongrecept som användes vid byggandet av Öresundsförbindelsen.

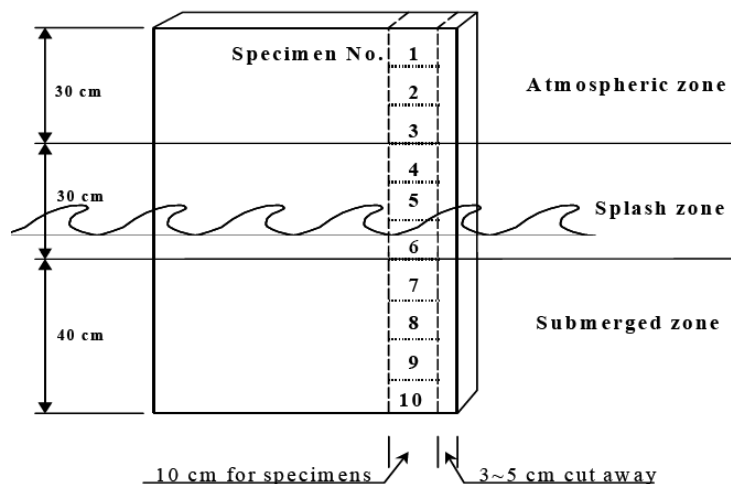
Resultaten har även använts i några avhandlingar, bl.a. i Paul Sandbergs avhandling 1998, [13]. Paul Sandberg var den person som ligger bakom tillkomsten av fältstationen.

Fältstationen är fortfarande i drift. Den data som tas fram från stationen är mycket värdefull för förståelse av kloridtransport- och korrosionsmekanismer samt förbättring och kalibrering av analysmetoder, [12].



Figur 4.2 Fältstation i Träslövsläge.

² Intervju med Göran Fagerlund 2007-03-21.



Figur 4.3 Betongplattor för exponering i marin miljö.

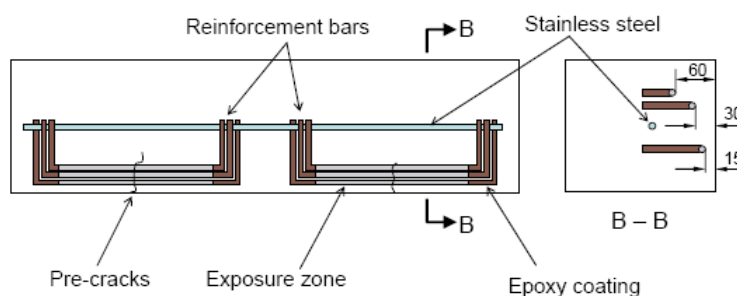
4.2 Kloridinträngning Riksväg 40

Fältstationen på riksväg 40 mellan Borås och Göteborg etablerades 1996. Fältstationens syfte är att kontrollera kloridinträngning i betongkonstruktioner från vägtrafik. Områdets längd där material kan installeras är 200 meter och bredden är ett par meter. Materialproverna installeras i en stålkonstruktion. Fukt, temperatur och avstånd till vägsaltning och trafik ger en exponeringsklass XD3/XF4 enligt standard EN 206-1. Mellan trafiken och fältstationen avgränsar ett stålräcke trafiken för komma in i provningsområdet vid en eventuell avkörning.

Olika typer av provkroppar har använts. Ett exempel framgår av Figur 4.4. Fältstationen har använts för att bl. a. studera kloridinträngning och armeringskorrosion i betongkonstruktioner i vägmiljö. Resultaten har, på samma sätt som resultaten från Träslövsläge, använts för att ta fram nya normer och standarder, verifiera olika mätmetoder, modeller och teorier samt lett till olika avhandlingar, Lindvall 2003, [14]. Se även [11].



Figur 4.4. Fältprovning vid riksväg 40. Betongproverna skyddas av ett stål-räcke. Från



Figur 4.5. Armerad betongbalk för exponering i Riksväg 40

4.3 Dalälven, Älvkarleby

Även inom vattenkraftindustrin har långtidsexponering visat sig behövas. Erik Nordström har i sitt avhandlingarbete om sprutbetong långtidsexponerat provkroppar vid RV 40, i dalälven i Älvkarleby och Eugeniätunneln i Stockholm, [15]. Många viktiga slutsatser har dragits från dessa långtidsexponeringar. Exponeringen i dalälven har uppföljts av två Elforskprojekt de senaste åren där prover från provkropparna har analyserats. Undersökningarna har lett fram till viktiga slutsatser när det gäller långtidsegenskaper på armerad sprutbetong.

5 Utformning av fältstation

5.1 Inledning

Syftet med en fältexponeringsstation är att kunna erbjuda anläggningsägarna och materialtillverkare möjligheten att på ett objektivet sätt prova både enskilda (reparations)material och sammansatta material (reparationsmaterial och konstruktionsbetong) i en miljö som är relevant för vattenkraftens ändamål.

5.2 Placering

Älvkarlebys geografiska läge inbjuder till uppbyggnaden av en fältstation för provning av material ämnade för vattenkraftens behov, detta främst på grund av närheten till Dalälven och närhet till betonglaboratorium. Vidare är temperaturvariationerna under året också relativt stora vilket i sammanhanget är positivt då de material som provas/undersökas kommer att kunna utsättas för urlakning, frostangrepp och erosion. Detta i kombination med resurserna som finns hos VRD i form av utrustning och kompetens gör att placeringen av en eventuell fältstation i Älvkarleby är möjlig.

En viss nackdel existerar med placering i Älvkarleby är att många anläggningar i norra Sverige har kallare vinterklimat än Älvkarleby.

5.3 Krav på utformning

Stationen skall utformas på sådant sätt att den minst möjliggör provning av följande reparationsåtgärder:

- Pågjutningar
- Fogar
- Injekteringar

Vidare bör stationen utformas den möjliggör platsgjutning, undervattensgjutning och applicering av sprutbetong.

Beträffande nedbrytningsmekanismer bör stationen utformas på ett sådant sätt att följande fenomen kan studeras;

- Frostangrepp
- Temperaturinverkan
- Fuktinverkan
- Urlakning
- Erosion

Utformningen av stationen skall möjliggöra att följande miljökrav kan uppfyllas:

- Fuktig miljö
- Fritt vatten trots kallgrader
- Strömmande vatten trots kallgrader
- Fruset vatten vid kallgrader

Vidare skall stationen vara utformad för provning och hantering av provkroppar med minsta mått enligt nedan:

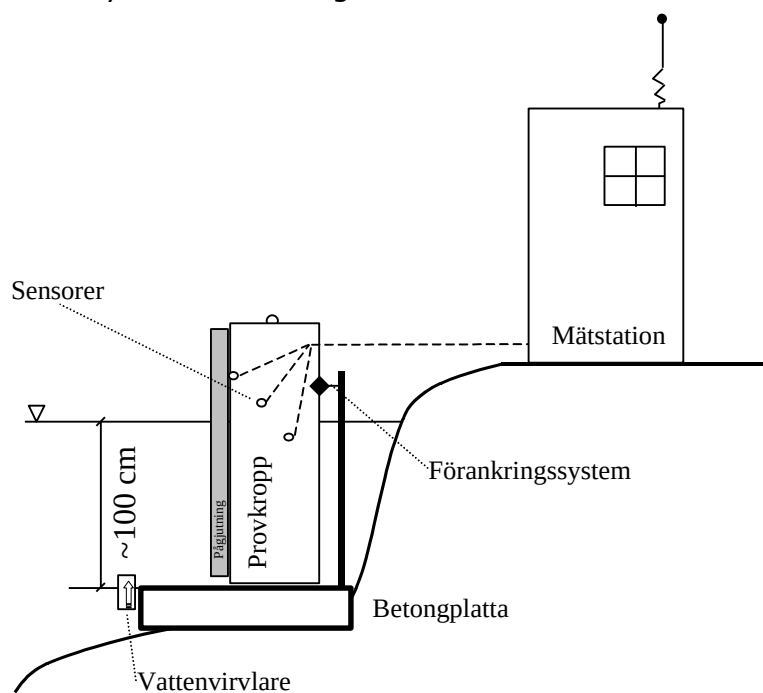
100 cm lång

50 cm tjock

100 cm bred

Provkroppar med dessa dimensioner är svårhanterliga pga. dess tyngd därför krävs det någon typ av lyftanordning. Hur hantering skall ske i detalj vid stationen är inte utrett.

5.3.1 Fysisk utformning av stationen



Figur 5.1 Schematisk bild av hur stationen skall vara uppbyggd.

Enklaste möjliga lösning på stationen är beskriven i detta stycke. En betongplatta anläggs på botten på ca 1 meters djup så nära strandkanten som möjligt. Utgrävning och återfyllning kan behövas. Plattans bredd måste minst rymma en provkropp på en meters bredd. Längden på plattan anpassas för att rymma tillräckligt med provkroppar för att uppfylla behovet för provning. Detta beror till stor del hur stort intresse för provningen som finns. I inner-

kant på plattan finns ett förankringssystem för att fästa provkroppen med en wire eller annan anslutningslösning. Marken på stranden behöver vara tillräckligt stabil för att en mobil eller fast kran skall kunna anläggas. Innanför denna anläggs en mätstationen.

För att uppnå de miljöer som beskrivs ovan kan vattenvirvlar installeras för att hålla isfritt. Även strömmande vatten kan konstrueras med en vattenpump. För att åstadkomma fruset vatten vid minusgrader skall materialprover vara möjliga att placera i vatten utan strömning eller påverkan från vattenvirvlar. Detta åstadkoms enklast genom att applicera provkroppen innanför väggar förslagsvis med stål som omgärdar provkroppen på lämpligt avstånd.

5.3.2 Fysisk utformning av mätstation

På land i anslutning till provkropparna skall en mätstation uppföras. Inneklimatet föreslås vara temperaturoberoende så mätutrustningen inte skall påverkas av förändringar av utomhusklimatet. Det skall finnas möjlighet att överföra mätdata från mätstationen till laboratoriet.

5.4 Parametrar som skall registreras

Följande parametrar föreslås kunna registreras kontinuerligt i stationen.

- Lufttemperatur
- Vattentemperatur
- Provkropparnas temperatur
- Relativ fuktighet i luft
- Relativ fuktighet i material
- Töjningar och deformationer i material och fogar

5.5 Kostnader

Stationen har både kostnader för nyanskaffning och kostnader för drift. Dessa behandlas separat i nedanstående kapitel.

5.5.1 Nyanskaffning

De frågor som måste besvaras för att utföra uppförandet av stationen är följande:

- Lokalisering av lämplig position vid Älvkarlebylaboratoriet som uppfyller kravet på tillgänglighet, framkomlighet, vattendjup, vattenflöde och godkännande från myndighet, bygglov mm.
- Dimensionering av plattans storlek och bärförmåga. Plattans storlek styrs av antal och storlek på provkroppar. Detta inkluderar även dimensionering av grundläggning.
- Dimensionering av mätstation, se Figur 5.1. Bestämning av storlek och uppvärmning.

- Anslutning av el- och vattennät.
- Utredning av arbetsmiljö under byggskedet och under driftstadiet.

För att kunna besvara dessa frågor behövs ytterligare detaljinformation om dimensionering.

Vi bedömer att minsta lämpliga dimension på plattan är 10x1,5x0,5 (lxbxh) m grundlagd på makadam. Kostnad för detta uppskattas till 150000 SEK.

Mätstationens införskaffande och uppförande:

Mätstationen	50000 SEK
Dataloggar	200000 SEK
Givare	50000 SEK

Detta uppförande gäller enklaste möjliga lösning för stationen.

Utöver detta tillkommer kostnader för underlag för byggande och besvara de frågor som är nämnda ovan; lokalisering, dimensionering, planering av mätstationen, arbetsmiljö etc. Gissningsvis kan kostnad för detta uppskattas till 300000 SEK. Detta arbete utförs bla. av VRD och andra konsulter med specialkunskaper, konstruktörer, arbetsmiljökonsulter mm.

Utöver detta tillkommer eventuellt kostnader för lyftanordning som idagsläget inte har uppskattas.

5.5.2 Driftkostnader

Stationen har kostnader oavsett om den är i drift eller ej:

- uppvärmning av mätstationen
- kalibrering av sensorer och datautrustning.
- Renhållning av plattan
- Övrigt underhåll

Detta uppskattas till en kostnad på 100000 SEK/år där merparten av kostnaden är kalibrering av givare och utrustning.

6 Nyttan med projektet

Denna förstudie har visat nyttan av tidigare uppförda fältstationer för betongkonstruktioner i Sverige med avseende på vetenskaplig forskning, underlag till nya krav och normer, dimensionering av beständiga konstruktioner och utformning av för samhället viktiga kommunikationsleder.

Vidare har vi visat att kraftindustrin varit intresserade av nyttan och resultaten från försök tidigare utförda vid de existerande stationerna.

Rapporten beskriver de skademekanismer och skadetyper som är relevanta för vattenkraftsanläggningar. En fältstation ger ökad möjlighet att studera skademekanismer och dess effekter och möjligheter att verifiera och utveckla provnings- och analysmetoder, och inte minst verifiera och utveckla nya reparationsmaterial och reparationssystem.

Den allra viktigaste nyttan med en fältstation är att man kan studera skal-, tid- och synergieffekter som enbart kan åstadkommas genom exponering i verklig miljö och genom registrering av yttre och inre faktorer.

7 Referenser

- [1] Fagerlund G. "Moisture design with regard to durability" Rapport TVBM-3130, Lund 2006
- [2] Nilsson L-O, "Fuktpåverkan på Material – Kritiska Fuktnivåer", SBUF, Formas, Stockholm 2006
- [3] Svenska Betongföreningen, "Vägledning för val av exponeringsklass enligt SS-EN 206-1", Stockholm, november 2002
- [4] Fagerlund G, "Leaching of Concrete – the leaching process. Extrapolation of deterioration. Effect on the structural stability", Report TVBM-3091, Lund 2000
- [5] Ekström T, "Leaching of Concrete – Experiments and Modelling", Report TVBM-3090, Lund 2001
- [6] Fagerlund G. "A service life model for internal frost damage in concrete", Rapport TVBM-3119, Lund 2006
- [7] Skoglund P. "Chloride transport and reinforcement corrosion in the vicinity of the transition zone between substrate and repair concrete", Licentiatavhandling, Kth, TRITA-BKN, Bulletin 89, Stockholm 2006
- [8] Svedsen V. K., Torblaa E. J. "Karbonatisering av betong, et problem på norsk dammer?", Publikasjono Nr v 19, Vassdragsdirektoriatet 1989
- [9] Fagerlund G, "Vattenbyggnadsbetong", Rapport, Cementa AB, Danderyd 1989
- [10] Grönholm, R., 2001, Reparationsmetoder vid alkalikiselsyraskador i betongdammar, Elforskrapport: 01:2, Artikelnummer: 1196
- [11] Luping, T., Utgenannt, P., 2007, Chloride Ingress and Reinforcement Corrosion in Concrete under De-Icing Highway Environment – A study after 10 years' field exposure, SP Report 2007:76, Building Technology and Mechanics, ISBN 978-91-85829-09-5, ISSN 0284-5172, SP Technical Research Institute of Sweden, Borås 2007
- [12] Luping, T., 2003, Chloride Ingress in Concrete Exposed to Marine Environment – Field data up to 10 years exposure,
- [13] Sandberg, P. 1998. Chloride initiated reinforcement corrosion in marine concrete. Lunds Tekniska Högskola, Avdelningen för Byggnadsmaterial, Rapport TVBM-1015.

- [14] Lindvall, A. 2003. Environmental actions on concrete exposed in marine and road environments and its response – Consequences for the initiation of chloride induced reinforcement corrosion. Chalmers Tekniska högskola, Avdelningen för byggnadsmaterial, Publikation P-03:2.
- [15] Nordström, E., 2005, Durability of sprayed concrete : steel fibre corrosion in cracks, Doktorsavhandling, Luleå Tekniska Universitet, 2005:02, ISSN:1402-1544

ELFORSK

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