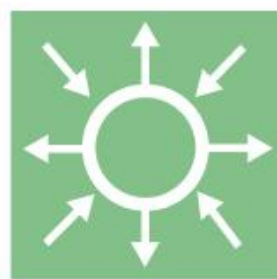
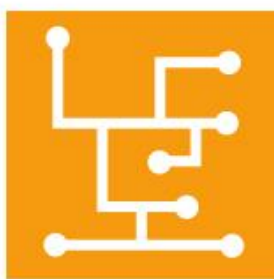




Projektering av fältstation för långtids- exponering av betongprover i älvmiljö

Tester i nordiska förhållanden

Elforsk rapport 10:73



Mikael Persson, Martin Rosenqvist, Bojan Stojanović

Maj 2010

ELFORSK

Förord

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

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

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

Programmet administreras med hjälp av en styrgrupp med följande ledamöter:

Malte Cederström, Vattenfall AB Vattenkraft

Johanna Feldtman, E.ON Vattenkraft Sverige AB

Martin Hansson, Statkraft Sverige AB

Erik Nordström, Vattenfall AB Vattenkraft

Markus Eriksson, Skellefteåkraft

Karin Persson, Fortum

Stefan Norberg, Fortum

Gunnar Sjödin, Vattenregleringsföretagen

Marcus Hautakoski, Vattenregleringsföretagen

Cristian Andersson, Elforsk AB

Stockholm augusti 2010



Cristian Andersson

Elforsk AB

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

Sammanfattning

Vattenkraftsanläggningarna i Sverige är i regel utsatta för stora temperaturvariationer, låga temperaturer, höga fuktnivåer samt höga hydrostatiska tryck. Vissa konstruktionsdelar skadas i dessa förhållanden och reparationer behöver utföras, mer eller mindre, kontinuerligt. Kunskapen om åldring och livslängd på byggnadsverk och dess ingående material samt komponenter är således av stor signifikans. Många tester gällande nya reparationsmetoder och material utförs i laboratorium. Problemet med detta är att steget kan vara långt till de verkliga förhållandena. En metod för att göra ett närmande till verkligheten är att utföra provningar på en fältstation som exponerar provkroppar för snarlika verkliga förhållanden.

I en tidigare utförd förstudie [3], utreddes behovet samt nyttan med uppförandet av en fältstation för långtidsexponering av betongprover i älvmiljö, under nordiska förhållanden. Denna förstudie mynnade ut i ett projekteringsprojekt vars resultat presenterats i denna rapport.

I denna studie har den tekniska utformningen, ett lämpligt geografiskt läge samt förslag på provningar och provkroppar tagits fram. Vidare har praktiska aspekter vid installation, drift, samt underhåll diskuterats. Ett möjligt mätsystem har även tagits fram och presenteras med en tillhörande kostnadsuppskattning.

Slutsatsen från en jämförelse mellan tre tänkbara konstruktionslösningar; platta, brygga och ponton, gav resultatet att den mest lämpade lösningen består av en betongponton med provkroppar hängande från dess sidor. Fördelarna med valet av betongponton är att uppförandet av fältstationen kommer att ske raskt, samt att den omkringliggande miljön påverkas i väldigt liten utsträckning, då inga ingrepp i älven eller närliggande mark behöver göras. Pontonen kommer dessutom, till skillnad från de andra förslagen, att följa vattennivån i älven och till viss del även isens rörelser. Detta medför en mindre risk för skador på stationen samt att vattennivån kring provkropparna kommer att ligga konstant.

I rapporten studeras två tänkbara geografiska placeringar i Älvkarleby. I samråd med Älvkarlebys vattenkraftverk framgick att ena placeringen, vid Kungsåderdammen (Lilla fallet), var att föredra. Beslutet fattades främst ur en säkerhetsaspekt från kraftverkets sida.

En kvalificerad kostnadsuppskattning av uppförandet av fältstationen inklusive ett mätsystem, resulterade i ca 600 kkr. De största posterna i denna kalkyl ligger på mätutrustningen samt själva pontonen med tillhörande frakt och sjösättning.

Rapporten innefattar dessutom nio projektförslag där användandet av en fältstation är av stor betydelse.

Summary

Hydroelectric power plants in Sweden are normally exposed to large temperature variations, low temperatures, high moisture levels and high hydrostatic pressure. Some structural elements are damaged during these conditions, whereby repairs are needed, more or less, continuously. Knowledge about aging and the life span of a structure and its materials and components, is therefore of great importance. Regarding materials and repair methods, these are predominately evaluated through laboratory testing, especially when it comes to durability and performance-over-time. One of the main issues with this type of laboratory evaluation is that the testing and gained results are a tentative resemblance of a real scenario. The laboratory results are transformed to a real case based on empirical experience. An approach and test method, which bridges the gap, is the use of a field exposure test site. By exposing test specimens (in this way) will obtain results that have a far greater resemblance of a real degradation scenario.

In a previous study [3], the needs and benefits of establishing and using a field exposure test site (station), for long-term exposure of concrete specimens in a fresh water environment, are presented. The study resulted in a design project, whom which the results are presented in this report.

In this study the technical design, appropriate location and proposal of tests and test specimens (of the field exposure test station), are presented. Moreover, the practical aspects of: installation, operation and maintenance are discussed, which forms the basis of the final design proposal. The design of an appropriate measurement system is also presented, along with an associated cost estimate.

A comparison of three possible station designs (plate, pier or pontoon) revealed that the most suitable solution consists of a concrete pontoon, with test specimens applied on its sides. Its advantages are that the construction and assembly (of the field exposure station) can be done quickly, and that the surrounding environment will only be affected to a very small extent, since no direct interference with the river or nearby soil is needed. The pontoon will also, unlike the other proposals, follow the water level in the river and to some extent its ice movements. This brings that the water level around the specimens will remain constant and the risk of damage, due to ice – during the winter, is lowered.

In the report, two possible locations (for the positioning of the field exposure station) in Älvkarleby are studied. A consultation with the Älvkarleby hydroelectric power plant revealed that one particular location, at the Royal venous Pond (Kungsåderdammen – Lilla fallet), was preferred. The choice was taken primarily from a security point of view.

A qualified cost estimate of the field station upbringing, including a measuring system, resulted in about 600 kkr. The predominant cost entries are the measuring system, pontoon and its cargo and launching.

The report also includes nine projects proposed in which the use of a field exposure station is of great importance.

Innehåll

1	Inledning	1
1.1	Bakgrund	2
1.2	Syfte och mål	3
2	Nedbrytning av reparationer samt fogband i älvmiljö	4
2.1	Nedbrytningsmekanismer samt jämförelser mellan laboratorium och verklig exponeringsmiljö	4
2.1.1	Nedbrytningsmekanismer	4
2.1.2	Jämförelser mellan laboratorium och verklig miljö.....	6
2.2	Förekommande reparationsmetoder	6
2.2.1	Injektering	6
2.2.2	Ytskydd	7
2.2.3	Pågjutning	7
2.2.4	Dilatationsfogar	8
2.3	Förslag på forskningsprojekt.....	8
3	Utformning av fältstation	9
3.1	Faktorer som påverkar fältstationsutformningen	9
3.1.1	Vattenföring	10
3.1.2	Bottenförhållanden	10
3.1.3	Isföring	10
3.1.4	Vattennivåer	11
3.1.5	Tillgänglighet och framkomlighet	11
3.2	Alternativa fältstationsutformningar.....	11
3.2.1	Platta på botten.....	12
3.2.2	Brygga	12
3.2.3	Ponton	13
3.2.4	För- och nackdelar med konstruktionslösningarna.....	14
3.3	Val av konstruktionslösning	16
3.3.1	Kontakt med berörda myndigheter.....	16
3.3.2	Förslag ett på placering – Utmed Älvkarlebylaboratoriet	17
3.3.3	Förslag två på placering – Intill Kungsåderdammen	17
3.3.4	Val av placering.....	18
4	Teknisk beskrivning av fältstationen och dess provkroppar	19
4.1	Fältstationens utformning.....	19
4.1.1	Inverkan på miljö/älv	20
4.1.2	Livslängd på fältstation.....	20
4.1.3	Flexibilitet – utbyggnad/flytt/borttagning	20
4.2	Provkropparnas utformning	20
4.2.1	Provkropparnas inverkan på konstruktion	21
4.3	Mätsystems utformning	21
4.4	Anläggningskostnader.....	23
4.5	Driftskostnader	24
5	Slutsats	25
6	Referenser	26

Bilagor

1. Projektförslag: Fältexponering av fogband och dess reparationer.
2. Projektförslag: Fukttransport i betong med pågjutning.
3. Projektförslag: Fukttransport i ensidigt uppvärmd betong med pågjutning på motsatt sida.
4. Projektförslag: Erosion av undervattensgjuten betong.
5. Projektförslag: Exponering av provkroppar med låg samt mellanreaktiv ballast (AKR).
6. Projektförslag: Exponering av provkroppar med injekterade sprickor.
7. Projektförslag: Åldring av injekteringsbetong i älvmiljö – reparationsmaterial för dammbyggnadsverk.
8. Projektförslag: Fältexponering av infästningar och mekaniska konstruktioner i betong.
9. Projektförslag: Långtidseffekter av återställning efter provtagning i betongkonstruktioner.

1 Inledning

Vattenkraftsanläggningarna i Sverige är i regel utsatta för stora temperaturvariationer, låga temperaturer, höga fuktnivåer samt höga hydrostatiska tryck. I vissa konstruktionsdelar samverkar dessa faktorer, vilket kan resultera i frostangrepp, erosion, urlakning samt stora spänningar och deformationer i de material som ingår i konstruktionen. Inom tid kan även spänningarna och deformationerna leda till sprickbildning i konstruktionen som ytterligare banar väg för vattenläckage, samt exempelvis urlakning av cementpasta. Förutom själva betongmaterialet förekommer även åldring av ingående komponenter som t.ex. fogband. Kunskapen om åldring och livslängd på byggnadsverk och dess ingående material samt komponenter är av stor signifikans.

Generellt sett uppskattas livslängden på vattenkraftbranschens betonganläggningar av "bedömare" till mellan 50 - 160 år [1]. Detta innebär att en signifikant andel av den nationella betongdammspopulationen börjar nå eller befinner sig i detta livslängdsintervall, vilket innebär att betydande reparations- och uppgraderingsinsatser kommer att krävas framöver.

Det utvecklas och produceras ständigt nya eller uppgraderade material, komponenter och system. Erfarenheterna vad det gäller produkternas livslängd och deras prestanda över tid i utsatta miljöer är vanligtvis sparsam. 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 flera av dessa anläggningar gammal och kan i vissa fall ha nedsatt hållfasthet och låg frostbeständighet. Därför kan exempelvis en pågjutning eller en påbyggnad av nytt materialskikt på anläggningarnas gamla betong leda till skador och otillfredsställande funktion. Skadorna kan orsakas av bland annat att fukttillståndet i den gamla betongen förändras vilket kan leda till frostsador eller att de olika materialskiktens fukt- och temperaturrelater kan medföra slitningar och sprickbildningar i den gamla betongen. Det finns även andra typer av skador.

I dagsläget är de generella bakomliggande nedbrytningsmekanismerna av dammkonstruktioner kända. Det har dock visat sig vara svårt att teoretiskt beskriva dessa händelseförlopp samt förutsäga konstruktionens nedbrytningsprocess. Fältexponering är ett bra komplement till teoretiska analyser och laboratorieprovningar. Fältstationer kan även användas för kalibrering av analys- och provningsmetoder. Genom att till exempel 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 situationen förbättras eller förvärras.

1.1 Bakgrund

I en tidigare utförd förstudie [3] utreddes behovet samt nyttan med uppförandet av en fältstation för långtidsexponering av betongprover i älvmiljö under nordiska förhållanden. Denna förstudie mynnade ut i ett projekteringsprojekt vars resultat presenterats i denna rapport.

Den projekterade fältstationens funktion är främst tänkt att vara avsedd för utvärdering av material, komponenter och system med inriktning mot svenska vattenkraftsanläggningar, där bland annat utvärdering av reparationsmetoder samt fogar är av stor betydelse.

Det har många gånger visat sig att gapet mellan teoretiska beräkningar (inklusive efterföljande laborativa provningar) och verkligheten har varit alltför stort. De reparationsmetoder och material som har använts har inte alltid fungerat på ett tillfredsställande sätt. Kunskapen om långtidsverkan och synergieffekter, det vill säga då flera samtidigt verkande nedbrytningsmekanismer tillsammans ger en större inverkan än vid en summering av dem en och en, har varit och är fortfarande bristfällig.

En fältstation för långtidsprovning skulle medföra fördelar i form av bättre förståelse för det klimat som råder och dess inverkan på val av reparationsmetod och material. Istället för att i verkligheten endast kunna konstatera att en reparation har fallerat är det möjligt att med hjälp av kontinuerligt genomförda mätningar, i kombination med teoretiska modeller, påvisa orsaken. Detta bör leda till bättre kunskap om verkligheten och förhoppningsvis på sikt leda till exempelvis förbättrade reparationer av konstruktioner inom vattenkraften.

Följande slutsatser, vad det gäller nyttan av en fältstation anpassad för vattenkraftsanläggningar, drogs enligt förstudien [3]:

- Ett bra hjälpmedel för utvärdering av reparationsmetoder avsedda för vattenkraften.
- Ger möjlighet att utföra långtidsexponering av reparationer under verkliga förhållanden.
- Ger möjlighet att undersöka samverkan av flera nedbrytningsmekanismer, synergieffekter.
- Ger möjlighet att kalibrera och verifiera provningsmetoder och analysmetoder.

Sveriges Tekniska Forskningsinstitut, SP, har två fältstationer i drift sedan 1990-talet. Den ena fältstationen, utmed riksväg 40 mellan Borås och Göteborg, är till för att mäta kloridinträngning och armeringskorrosion i betong i en trafiknära miljö. Fältstationen består av ett antal betongkroppar som ligger utmed vägen. Den andra fältstationen, i Träslövsläge, har syftet att mäta kloridinträngning och armeringskorrosion i betong i marin miljö.

Fältstationen ligger i Träslövsläges hamn och består av betongpontonerna med provkroppar av betong hängandes längs långsidorna. Båda fältstationerna har bidragit till framsteg i betongkonstruktioners beständighets- och livslängdsforskning.

Resultaten från dessa två fältstationer har bland annat medfört att tidigare befintliga teoretiska modeller har kunnat förbättras och på ett bättre sätt spegla verkligheten. Även nya normer och standarder för betongindustrin har kunnat utarbetas med resultaten från dessa två fältstationer.

Inom ramen för denna rapport har en litteraturstudie utförts, av CBI:s bibliotekarie Tuula Ojala, för att utreda om det finns rapporterade erfarenheter från andra liknande fältstationer. Målet med studien var att först och främst undersöka om det finns eller har funnits fältstationer knutna till vattenkraftsindustrin, där kommersiell finansierad forskning/testning har bedrivits/bedrivs (på nationellt eller internationellt basis). Upprinnelsen till studien baserar sig på frågeställningen om fältstationens potential för kommersiellt nyttjande. Undersökningen gav dock ingen information angående detta. Förutom ovanstående undersökning skickades samma förfrågan ut till medlemmar inom organisationen ICOLD, med resultat enligt föregående. Inom ramen för denna rapport är denna frågeställning således obesvarad.

1.2 Syfte och mål

Studiens syfte är att utreda samt projektera ett lämpligt koncept vad gäller en fältstation för långtidsexponering av betongprover i älvmiljö. Inom detta ingår att utreda samt projektera:

- Teknisk utformning samt geografisk placering av fältstationen och dess provkroppar.
- Praktiska aspekter vid installation, drift och underhåll av fältstationen och dess provkroppar.
- Ett mätsystem som skall sampla samt logga väl valda klimat- och materialparametrar i exponeringsmiljön.
- Fastställa/uppskatta kostnad för utförande och drift av ovanstående.

Målet är att projekteringen skall ligga till grund för en implementering av denna fältstation.

2 Nedbrytning av reparationer samt fogband i älvmiljö

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 dessa 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. Ytterligare en signifikant skada samt underhållsarbete är reparation av dilatationsfogar. Att reparera läckande dilatationsfogar i dammkonstruktioner har i praktiken visat sig vara komplicerat [1] [4]. Reparationsinsatserna kan leda till otillfredsställande resultat med upprepade läckage samt tätningsinsatser som följd [1] [4].

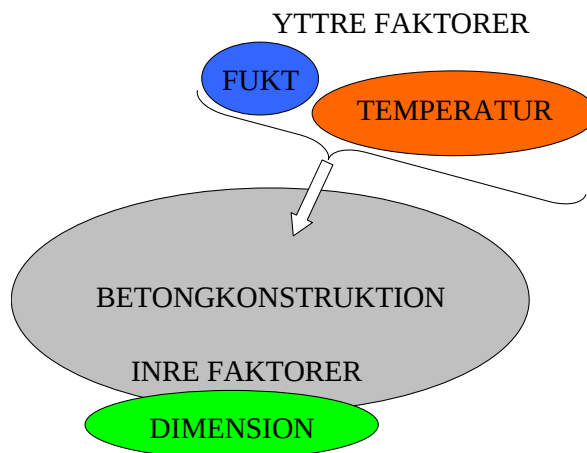
Ett korrekt materialval i kombination med ett korrekt reparationsutförande kan resultera i att anläggningsägaren kan reducera eventuell avställningstid, minska underhållskostnader och samtidigt öka den tekniska livslängden hos den reparerade konstruktionen. Idag finns det ett stort urval av reparationsmaterial på marknaden, vilket många gånger gör materialvalet svårt. De olika materialleverantörerna är uppenbart part i målet när det kommer till materialval, vilket ytterligare försvårar valet. Materialegenskaperna hos dessa material är vanligtvis, men inte alltid, testade genom ett antal standardiserade metoder i laboriemiljö. 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, det vill säga reparationsmaterial och befintlig betong, kommer att fungera i en given miljö.

2.1 Nedbrytningsmekanismer samt jämförelser mellan laboratorium och verklig exponeringsmiljö

2.1.1 Nedbrytningsmekanismer

Vattenkraftens betongkonstruktioner är generellt sett utsatta för mekaniska laster (vattentryck, vind-, snö- och islast) och fysikaliska angrepp dominerade av frostsprängning och urlakning [3]. Men även erosion, kemiska och elektrokemiska angrepp (exempelvis alkaliskreaktioner) och armeringskorrosion förekommer [3].

Nedbrytning av vattenkraftens betongkonstruktioner styrs i huvudsak av tre element, se Figur 2.1.



Figur 2.1. Nedbrytning av en betongkonstruktion beror på yttre och inre faktorer. Bildkälla: Hejll et.al [3].

I princip är fukt och temperatur (yttre faktorer) de erforderliga grundelement som krävs för att den ovanstående fysikaliska eller kemiska nedbrytningsprocessen skall initieras och fortgå. Konstruktionens/materialets inre faktorer avgör nedbrytningsprocessens respons av de yttre faktorerna. Dimension styr bland annat processens hastighet och de eventuella inre tvång som uppstår och som medför mekanisk/fysikalisk nedbrytning av konstruktionen. Som exempel kan nämnas urlakning i en uppsprucken betongkonstruktion. För att detta skall uppstå måste konstruktionen först spricka, till exempel genom temperaturgradient, vilket är mer sannolikt för grövre konstruktioner. För att urlakningsprocessen skall initieras och fortgå måste vatten transporteras i sprickorna. Tiden och inre spänningar är beroende på konstruktionens dimensioner och är därför svåra att realisera i en laboratoriemiljö.

Ett annat exempel är åldring/nedbrytning av PVC-fogband i dammkonstruktioner. Där föreligger migrering/urlakning av mjukgörare (vilket förspödar och volymförändrar PVC-materialet) som den primära nedbrytningsmekanismen. Ytterligare medför kombinationen av fukt/vatten och betongens höga pH-värde (basisk miljö) att en alkalisk hydrolys (kemisk nedbrytning) av mjukgöraren kan äga rum. Mjukgöraren/ftalaten bryts och de mindre molekylerna avges ännu lättare från polymeren.

Provning av nedbrytningsprocesser måste därför ske i fältmässiga yttre förhållanden och dimensioner på provkroppar måste vara proportionella mot verkligheten.

2.1.2 Jämförelser mellan laboratorium och verklig miljö

Provning i laboratorium är både effektivt, rationellt och ekonomiskt. Samtidigt finns möjligheten att styra de ingående parametrarna. Om det är möjligt att hitta ett samband mellan laboratorieprovning och verkligheten ökar laboratorieprovningens trovärdighet och användbarhet. Om möjlighet erhålls till fältprovning ökar sannolikheten att hitta samband som kan gestalta sig som empiriska eller analytiska modeller.

Nedbrytning av betongkonstruktioner kan även 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 laboratoriemiljö åstadkomma nedbrytning orsakad av synergieffekter.

2.2 Förekommande reparationsmetoder

Detta avsnitt presenterar en exemplifierande summering av ett antal förekommande reparationsmetoder på vattenkraftens betongkonstruktioner, vilka är av intresse att testa i en långtidsexponering.

2.2.1 Injektering

Injekteringen syftar till att fylla sprickor och hålrum i konstruktioner. Denna reparationsmetod kan i vissa fall användas som en hållfasthetsåterställande insats av krackelerade konstruktioner. Injektering används för att undvika, för konstruktionen, nedbrytande konsekvenser som kan härledas till hålrum och sprickor i betongen. Injektering kan användas för att:

- Minska konstruktionens permeabilitet och därmed minska urlakning av cementpasta. En minskad permeabilitet ger också en större motståndskraft gentemot frostattacker och kemiska angrepp.
- Minska eller eliminera inträngning av, för betong och/eller armering, aggressiva ämnen såsom klorider, koldioxid och vatten (se ovan).
- Återställa konstruktionens stabilitet/bärighet genom att återställa betongens hållfasthet. En återställd 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 hållfasthetsåterställande avseenden.

Av intresse är att kunna studera hur långtidsexponering av injekterade eller reparerade provkroppar åldras i fält, samt att studera hur provkroppar av ren injekteringsbetong beter sig.

2.2.2 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 ytskyddsmaterial in i två kategorier, nämligen impregnering och ytbeläggning. För en utvärdering av ytskyddsmaterialens långtidsfunktion i fält är följande frågor av intresse:

- Osäkerhet rörande produkternas deklarerade egenskaper (laboratoriemiljö jämfört med fältmiljö).
- Ifall icke diffusionsöppna, tunna, produkter leder till fuktanrikning som ökar sannolikheten för frostangrepp.
- De flesta produkter kräver vid applicering att betongen har låg relativ fuktighet (ju lägre desto bättre).

2.2.3 Pågjutning

För utvärdering av pågjutningars långtidsfunktion i fält är följande frågor av intresse:

- 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 därmed ge upphov till icke önskvärda fuktnivåer i underliggande betong och/eller pågjutningen.
- Vissa sammansättningar av pågjutningsmaterial kräver stor noggrannhet i för- och efterarbete för att önskad effekt ska uppnås.

För vissa typer av reparationsmetoder finns en stor osäkerhet i förhållandet mellan ekonomi och teknisk livslängd. I takt med en ökad kunskap om reparationsmetodik och materialteknik har alternativa "pågjutningsmetoder" börjat användas. Några av dessa metoder är:

- Den nygamla metoden injekteringsbetong (prepack-metoden).
- Pågjutningar med vidhäftningsbrytande skikt.

2.2.4 Dilatationsfogar

Ett signifikant område är reparationer av skadade dilatationsfogar. Att reparera läckande dilatationsfogar i dammkonstruktioner har i praktiken visat sig vara väldigt komplicerat [1] [4]. Reparationsinsatserna kan leda till otillfredsställande resultat med upprepade läckage samt tätningsinsatser som följd [1] [4].

I en tidigare genomförd studie [1] sammanfattas ett antal förekommande reparationsmetoder som kan vara av intresse att studera med avseende på åldring av dilatationsfogar.

2.3 Förslag på forskningsprojekt

I bilagor i slutet av rapporten presenteras nio förslag på forskningsprojekt som är lämpliga att förlägga till en fältstation för långtidsexponering. Projektförslagen täcker följande områden:

1. Projektförslag: Fältexponering av fogband och dess reparationer.
2. Projektförslag: Fukttransport i betong med pågjutning.
3. Projektförslag: Fukttransport i ensidigt uppvärmd betong med pågjutning på motsatt sida.
4. Projektförslag: Erosion av undervattensgjuten betong.
5. Projektförslag: Exponering av provkroppar med låg samt mellanreaktiv ballast (AKR).
6. Projektförslag: Exponering av provkroppar med injekterade sprickor.
7. Projektförslag: Åldring av injekteringsbetong i älvmiljö – reparationsmaterial för dammbyggnadsverk.
8. Projektförslag: Fältexponering av infästningar och mekaniska konstruktioner i betong.
9. Projektförslag: Långtidseffekter av återställning efter provtagning i betongkonstruktioner.

3 Utformning av fältstation

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 en fältstation har är storleksinverkan, tid- och synergieffekter som enbart kan åstadkommas genom exponering i verklig miljö och genom registrering av yttre och inre faktorer.

Vidare kommer fältexponeringsstationen att kunna erbjuda anläggningsägare och materialtillverkare möjligheten att på ett objektivet sätt prova både enskilda (reparations)material och sammansatta material (reparationsmaterial och konstruktionsbetong) i en relevant miljö för vattenkraftens ändamål.

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

Nackdelen med en placering av fältstationen i Älvkarleby är att många anläggningar i norra Sverige har än kallare och längre vintrar.

3.1 Faktorer som påverkar fältstationsutformningen

Vilken teknisk lösning som ska väljas för utformningen av fältstationen kommer att baseras på ett antal olika parametrar med varierande grad av inverkan på kostnader och funktionalitet för fältstationen. Det är därför av vikt att utreda de parametrar som kan anses ha stor inverkan på valet av teknisk lösning, samt vilka för- och nackdelar de olika tekniska lösningarna medför. En enkel uppdelning är att dels titta på de parametrar som inverkar på fältstationen i sin helhet och dels titta på de parametrar som kan variera med valet av konstruktion till fältstationen. En utvärdering av olika konstruktionslösningar utifrån tidigare nämnda parametrar kommer att ligga till grund för det slutliga valet av konstruktionslösning.

Oavsett val av konstruktionslösning till fältstationen kommer den att exponeras för rådande förhållanden i vattenmagasinet uppströms Älvkarleby vattenkraftverk. Vattenmagasinet, som är på 150 hektar och innehåller 1,5 miljoner kubikmeter vatten, består av förutom den ursprungliga älvfåran också av översvämmad före detta skogsmark. Till följd av vattenmagasinets egenskaper varierar förutsättningarna gällande vattenföring, isföring och bottenförhållanden utmed den nuvarande älvkanten. Regleringen av vatten-

magasinet påverkar dessutom vattennivån och eventuell tillgänglighet av fältstationen. Nämnda parametrar förklaras närmare i kommande avsnitt.

3.1.1 Vattenföring

Strömmande vatten är en viktig faktor att ta hänsyn till för att återskapa en miljö likt den som råder för betong i en vattenkraftverkskonstruktion. Beroende på vattenflödet innebär en placering i strömmande vatten att fältstationen troligtvis kommer att utsättas för en kraft som vill trycka konstruktionen medströms. En placering av fältstationen invid strandkanten innebär däremot vanligtvis en lägre strömningshastighet på vattnet än om placeringen görs längre ut från strandkanten. Detta får alltså en direkt effekt på vilka krafter det strömmande vattnet kommer att utsätta fältstationen för. Fältstationen måste dimensioneras för att kunna motstå denna kraft med god marginal. Medelvattenföringen i Dalälven vid Älvkarleby vattenkraftverk är 324 m³/s och utbyggnadsvattenföringen är 700 m³/s.

Vid avsaknad av naturligt strömmande vatten kan ett artificiellt strömmande vatten skapas, exempelvis genom applicering av vattenjet eller motsvarande.

3.1.2 Bottenförhållanden

Hur botten ser ut vid den tilltänkta platsen för fältstationen är avgörande för komplexiteten vid anläggningsarbetet. Detta med tanke på hur långt från strandkanten det är praktiskt möjligt att förlägga fältstationen och hur omfattande ett eventuellt grundläggningsarbete blir rörande borttagande av bottenmaterial eller iläggande av fyllningsmaterial. Även eventuell risk för erosion av bottenmaterial måste tas i beaktning, samt naturlig återfyllning av borttaget bottenmaterial. De faktorer som har störst inverkan på vilka förutsättningar botten medger är djup, lutning och materialsammansättning.

Bottenförhållandena utanför Älvkarlebylaboratoriet är väldigt varierande beroende på om den nuvarande strandkanten är en del av den gamla älvfåran eller översvämmad skogsmark. I det första fallet är det djupt och stenigt, medan i det andra fallet är det grunt och slammigt på botten. Exakt placering av fältstationen är direkt avgörande för att kunna precisera rådande bottenförhållanden.

Intill Kungsåderdammen består botten till viss del av översvämmad mark och är således relativt grund och slamaktig. Även här är exakt placering av fältstationen avgörande för att precisera bottenförhållandena med avseende på djup och bottenens materialsammansättning.

3.1.3 Isföring

Vintertid kommer fältstationen med all sannolikhet att omgärdas av is, såvida inga åtgärder för att undvika detta vidtas. Under islossningen på vårkanten kommer vanligtvis en blandning av mindre och större isflak drivandes i älvens flödesriktning. En del av dessa isflak kommer troligtvis att kollidera med fältstationen och/eller lägga sig mot den och ytterligare bidra till den tryckande kraft som det strömmande vattnet redan utsätter fältstationen för.

Isföringen måste således beaktas vid dimensionering av eventuella förankringsanordningar för fältstationen.

3.1.4 Vattennivåer

En vattendom anger ett övre och ett undre gränsvärde för hur mycket det är tillåtet för ett vattenkraftverk att reglera vattennivån i ett magasin. Det övre värdet benämns dämningssgräns och det undre värdet sänkningsgräns. Vattennivån i magasinet ska alltid befinna sig mellan dessa två gränser. Dessutom regleras enligt vattendomen det minsta respektive högsta tillåtna vattenflödet i älven.

För vattenmagasinet uppströms Älvkarleby vattenkraftverk ligger den relativa sänkningsgränsen på nivå +21,80 m och dämningssgränsen på nivå +22,50 m. Detta medför att vattennivån normalt kan variera 0,7 meter beroende på driften av kraftverket och de årliga variationerna av vattenflödet i älven.

3.1.5 Tillgänglighet och framkomlighet

Under byggskedet är det viktigt att fältstationens placering, eller tillfälliga monteringsplats, underlättar byggandet vad gäller framkomligheten för dels materialleveranser och dels den utförande personalen. Likaså är det önskvärt att byggnationen kan genomföras med minimal påverkan på omgivande miljö.

Med ett perspektiv utifrån driftskedet bör fältstationens placering underlätta den kontinuerliga driften bestående av installation av mätutrustning, renhållning av fältstationen, rutinmässiga inspektioner av provkroppar och utrustning samt övrigt underhållsarbete. Vid iläggande och borttagande av provkroppar till fältstationen måste lyftanordning i form av kranbil kunna nå samtliga provplatser från en eller flera uppställningsplatser.

Utmed älvkanten vid Älvkarlebylaboratoriet står det idag en lång rad med träd som bara bitvis skulle tillåta en lyftkran att komma emellan. Den vägburna tillgängligheten utmed älvkanten anses däremot god då det på ett avstånd 10-20 meter från älvkanten finns asfalterad väg. Intill Kungsåderdammen bör tillgängligheten och framkomligheten klassas som god eftersom det går en väg ovanpå dammen och någon trädlinje inte avskiljer vägen från älven.

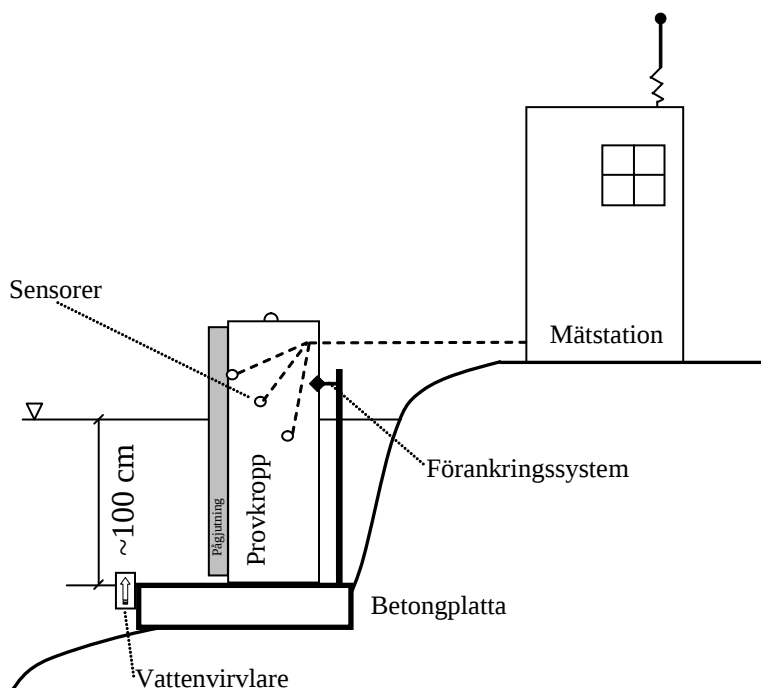
3.2 Alternativa fältstationsutformningar

Tre principlösningar för den fysiska utformningen av fältstationen har utarbetats och bedömts vara fullt rimliga att bygga. Det första förslaget av de tre principlösningarna består av en betongplatta på älvbotten, vilken provkropparna sedan ställs på. Det andra förslaget på lösning består av en brygga där ett betongdäck vilar på en pålad konstruktion. Provkropparna hängs sedan utmed sidan av bryggan. Det tredje förslaget på en lösning är att fästa provkropparna utmed sidorna på flytande pontoner.

3.2.1 Platta på botten

I förstudien "Station för provning, exponering och mätning av reparationssystem och material – Förstudie", se [3], presenterades ett förslag på en principiell konstruktion med betongplatta på botten. Betongplattan som provkropparna ska ställas på skulle anläggas nära strandkanten på cirka en meters djup och förses med ett förankringssystem i vilket provkropparna kan fästas, Figur 3.1. Betongplattan kan antingen vara gjuten på plats eller prefabricerad, för att sedermera lyftas på plats.

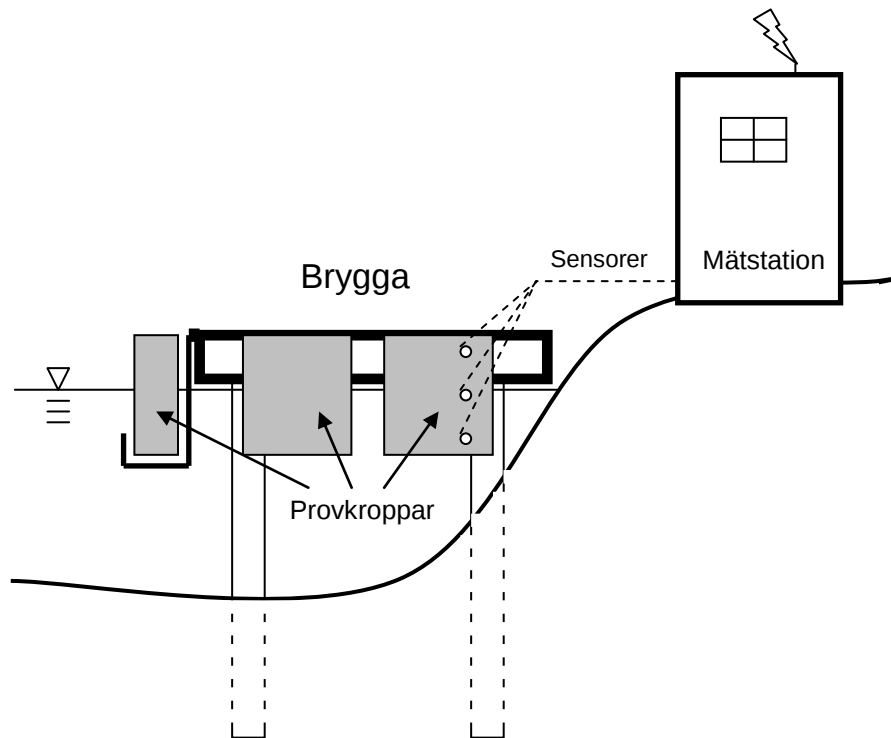
Beroende på hur botten och de aktuella strömningsförhållandena, vid den valda platsen, ser ut kan olika grundläggningsarbeten behöva utföras såsom stabilisering, utgrävning eller återfyllning. Omfattningen och behovet av grundläggningsarbetet styrs av den slutliga projekteringen.



Figur 3.1. Schematisk bild av fältstation uppford med platta på botten. Bildkälla: Hejll et.al [3].

3.2.2 Brygga

Det andra förslaget består i att uppföra en brygga längs älvkanten på vilken det är möjligt att fästa eller hänga provkroppar utmed långsidorna. För att uppnå tillräcklig stabilitet och styrka på bryggan bör däckets bestå av stål eller armerad betong. En brygga kan kräva olika sorters grundläggningsarbete beroende på om konstruktionen ska bäras upp av betongfundament, pålar eller med hjälp av annan lösning. Oavsett val av lösning kan inte omfattningen på grundläggningsarbetet specificeras förrän vid den slutliga projekteringen. För principskiss på bryggan, Figur 3.2.

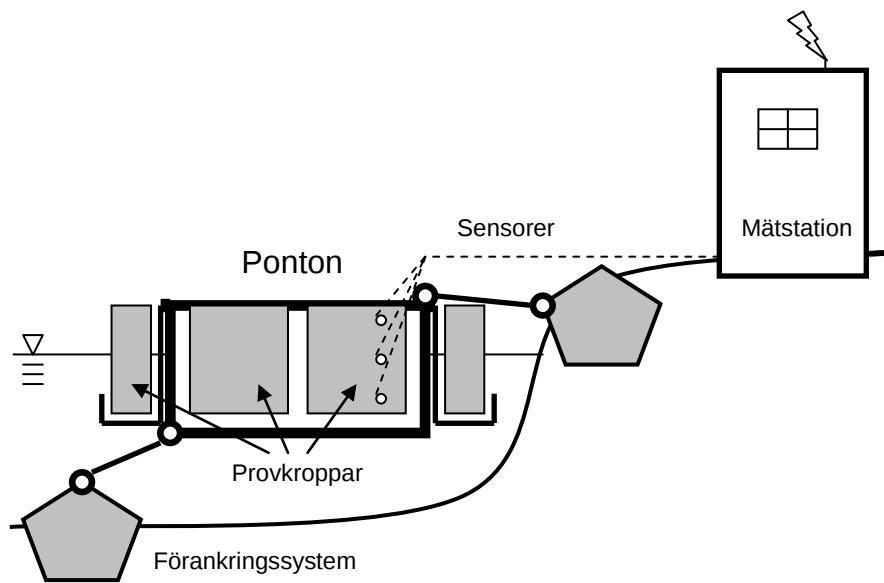


Figur 3.2. Schematisk bild av fältstation uppförd med brygga.

3.2.3 Ponton

Det tredje förslaget baseras på användandet av ponton som förläggs till älvkanten. Pontonen förses med fästianordningar som möjliggör en placering av provkroppar utmed pontonens sidor. Pontonkonstruktioner lämpade för fältstationsändamål kan till exempel baseras på flytelement med ovanliggande stålkonstruktion eller gjuten betonglåda med ett innanmäte av cellplast. För principskiss på pontonen, se Figur 3.3.

Pontonlösningen kommer troligtvis inte kräva något omfattande grundläggningsarbete. Däremot tillkommer krav på en fullgod förankring av pontonen, bestående av land- samt bottenbaserade betongfundament. Exakt omfattning av förankringsalternativ specificeras inte förrän vid en slutgiltig projektering.



Figur 3.3. Schematisk bild av fältstation uppförd med ponton.

3.2.4 För- och nackdelar med konstruktionslösningarna

Oavsett vilken konstruktionslösning som väljs medför de tre ovan nämnda alternativen olika för- och nackdelar. Den kanske viktigaste aspekten att ta hänsyn till är ifall den fältprovning av provkropparna som önskas är möjlig att genomföra med vald konstruktionslösning. Fältstationen bör även uppvisa en viss grad av flexibilitet när det gäller eventuell utbyggnad, omlokalisering eller avveckling av konstruktionen. Det finns också en ekonomisk aspekt att ta hänsyn till vid valet av konstruktionslösning och den grundar sig dels på den omedelbara kostnaden för byggnation och dels för kostnad av drift och underhåll under fältstationens livslängd. Ytterligare en viktig aspekt är fältstationens inverkan på miljön och vilka ingrepp i och vid älven de olika konstruktionerna skulle medföra.

I Tabell 3.1 kommer de tre principiella konstruktionslösningarna att utvärderas genom att ange de olika förslagens respektive för- och nackdelar utifrån ett flertal punkter som är relevanta för framför allt dess projektering, funktion och drift.

Tabell 3.1. Utvärdering av principlösningarnas för- och nackdelar.

	Brygga	Ponton	Platta på botten
Botten- och markarbete	Kräver eventuell muddring, bottenförstärkning, pålning	Förankring/förtöjning	Kräver muddring och eventuell bottenförstärkning
Konstruktions-tekniska risker	Risk för varierande sättning	Kan slita sig vid isgång. Kan skadas vid låga vattennivåer	Underminering/erosion Kan dras med vid kraftig isgång
Byggskede	Kräver bottenarbete, flertal arbetsmoment på plats, lång byggtid	Sjösättning, förankringsarbeten, modulbaserat, kort byggtid	Kräver bottenarbete, kan utföras som platsbyggd eller prefab, lång byggtid
Placering	Fixerad placering	Flexibel placering	Fixerad placering
Vattennivå	Varierande vattennivå på provkropp, ej känslig för extremt låga vattennivåer	Konstant nivå på provkropp, kan vara känslig för extremt låga	Varierande vattennivå på provkropp, ej känslig för extremt låga vattennivåer
Miljöpåverkan	Ingrepp på landskapet, risk för temporär spridning av bottensediment under byggskede, ringa långtidspåverkan	Ingrepp på landskapet, ringa långtidspåverkan	Ingrepp på landskapet, risk för temporär spridning av bottensediment under byggskede, ringa långtidspåverkan
Risk för skadegörelse	Mätutrustning och provkroppar kan nås genom att gå ut på bryggan. Stor risk	Att nå pontonen kräver en viss ansträngning. Väl på pontonen blir mätutr. och provkroppar utsatta. Måttlig risk	Vid platta på botten sticker bara delar av provkroppar med monterad mätutrustning upp över vattenytan. Liten risk
Ispåverkan	Känslig för reglering av vattennivån vid is, risk för skador vid islossning p.g.a. styv konstruktion	Följer rörelser i istäcket, känslig vid islossning i strömmande vatten	Känslig för reglering av vattenytan vid istäcke, risk för skador vid islossningen p.g.a. styv konstruktion
Robusthet	Kräver en kraftig konstruktion för att klassas som robust	Blir robust på grund av sin flexibilitet att följa vattnet	Kräver en kraftig konstruktion för att klassas som robust
Relativ kostnad	Dyrast	Billigast	Medel
Utbyggnad	Kräver förnyad projektering med bottenarbeten som följd	Enkel att bygga ut genom komplettering med pontoner	Kräver förnyad projektering med efterföljande bottenarbeten
Avveckling	Rivningsarbeten under vatten, rivningsmassor att ta hand om	Enkel att avveckla genom att lyfta bort igen	Rivningsarbeten under vatten, rivningsmassor att ta hand om

3.3 Val av konstruktionslösning

Efter utvärdering av de olika alternativen på konstruktionslösning med hjälp av Tabell 3.1 föll valet på den flytande pontonen. Den främsta anledningen till valet var den erfarenhet som finns i dagsläget med flytande pontoner. SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut har goda erfarenheter av sin fältstation uppförd med betongpontoner utanför Träslövsläge på västkusten. Detta borde innebära att samma lösning skulle vara möjlig att tillämpa i Älvkarleby också. En ponton med ungefärlig storlek på 15 - 20 meters längd och 2 - 3 meters bredd borde ge tillräcklig kapacitet till provningen, se Figur 3.4.



Figur 3.4. Principbilder av betongponton till fältstationen [2].

Den största fördelen med valet av betongponton är att uppförandet av fältstationen kommer att gå snabbt, samt att omkringliggande miljö kommer att påverkas i väldigt liten utsträckning, då inga ingrepp i älven eller närliggande mark behöver göras. Pontonen kommer sedan, till skillnad från de andra förslagen, att följa med ändringarna av vattennivån och även till viss del när isen rör sig. Pontonen är primärt tänkt att placeras parallellt med älvkanten för att minska de krafter av strömning och is som verkar på den.

En viktig aspekt att ta hänsyn till är förtöjning/förankring av pontonen. Denna förtöjning måste vara så pass kraftig att den både kan motstå den kontinuerliga strömningen i älven och de krafter som uppstår till följd av isen vintertid och framförallt under våren vid islossningen. För säkerhets skull bör det finnas dubbla uppsättningar av förtöjning/förankring med full bärförmåga för att säkerställa att betongpontonen inte kan slita sig utan förvarning. Fallerar det ena systemet ska det andra systemet kunna fungera fram tills att det första systemet är återställt.

3.3.1 Kontakt med berörda myndigheter

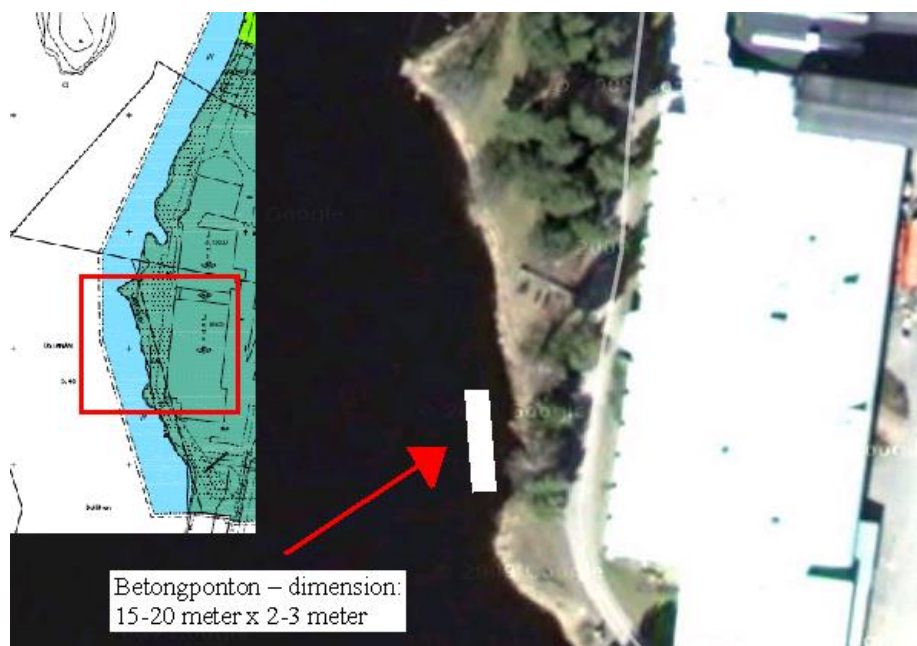
I ett tidigt skede av projekteringen av fältstationen upprättades kontakt med Bygg- och miljönämnden i Älvkarleby kommun för att inhämta nämndens syn på projektets utformning. Gensvaret blev positivt, men konstruktionen bedömdes vara av sådan omfattning att den kom till att falla under bygglovspliktig verksamhet. Även Länsstyrelsen i Uppsala län kontaktades för

synpunkter på projektet. Omfattningen av fältstationen bedömdes kräva att en anmälan om vattenverksamhet skall upprättas.

3.3.2 Förslag ett på placering – Utmed Älvkarlebylaboratoriet

En placering av fältstationen utmed älvkanten utanför Älvkarlebylaboratoriet innebär att vattendjupet är tillräckligt stort för att fältstationen ska klara av förändringarna av vattennivån i magasinet till följd av regleringen. Placeringen innebär att fältstationen kommer att omges av strömmande vatten året runt. Vintertid kommer fältstationen dessutom att omges av is, vilket medför en realistisk påfrestning med avseende på frostangrepp. En placering utanför Älvkarlebylaboratoriet innebär dessutom att fältstationen kommer att befinna sig inom inhägnat område och risk för sabotage av provkroppar och mätningssutrustning minimeras. Under moment för i- och urlastning av provkroppar kan betongpontonen nås med hjälp av kranbil.

Efter preliminära observationer av vattenströmning och vattendjup är den optimala placeringen av fältstationen någonstans utanför Hall 73. Betongpontonen bör placeras parallellt med älvkanten för att minska inverkan av strömmande vatten och isgång, se Figur 3.5.



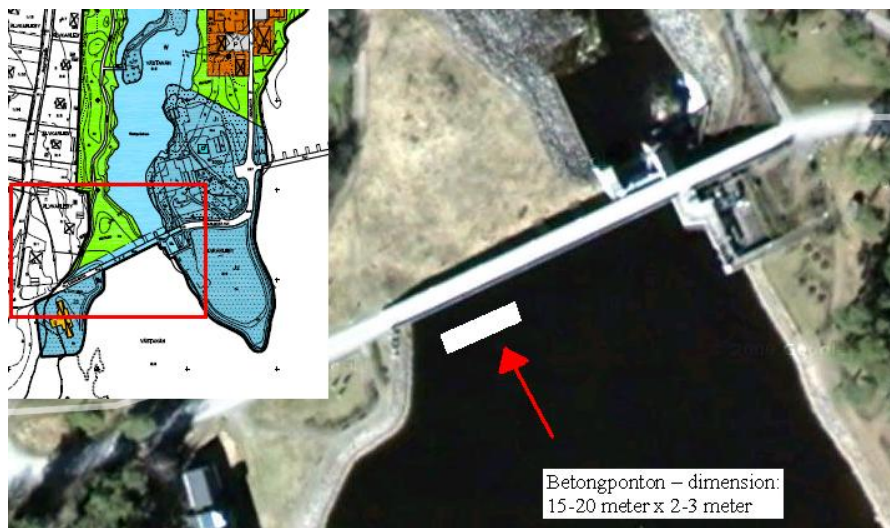
Figur 3.5. Principiell skiss med placering av betongponton utmed älvkanten.

3.3.3 Förslag två på placering – Intill Kungsåderdammen

Ett andra förslag på placering av fältstationen är utmed dammkroppen vid Lilla fallet, det vill säga Kungsåderdammen. Inga exakta mätningar av vattendjupet har gjorts, men botten kan inte siktas från dammbyggnaden.

Tillräckligt stort djup behövs för att pontonen ska kunna följa med i ändringarna av vattennivån i regleringsmagasinet, utan att ställa sig på botten. Avsaknaden av strömmande vatten måste kompenseras artificiellt. Den artificiella vattenströmmen får dock inte medföra att eventuell isbildning på provkropparna förhindras. Placeringen vid Kungsåderdammen innebär att fältstationen fortfarande är lättillgänglig från Älvkarlebylaboratoriet. Under moment för i- och urlastning av provkroppar kan fältstationen enkelt nås med kranbil.

Placeringen utmed en gång-, cykel- och bilväg innebär risk för att fältstationen kan uppfattas som "badbrygga" och nyttjas för detta ändamål sommartid. Dessutom riskerar känslig mätutrustning och provkroppar att skadas avsiktligt eller oavsiktligt då fältstationen är relativt lätt att nå för utomstående. Betongpontonen bör antingen placeras vinkelrätt från dammbyggnaden eller parallellt med dammbyggnaden på ett avstånd att det inte går att klättra ner på den från dammbyggnaden, se Figur 3.6.



Figur 3.6. Principiell skiss med placering av betongponton vid Lilla fallet.

3.3.4 Val av placering

En principiell beskrivning av fältstationen och dess forskningssyften, samt en presentation av möjliga och tänkbara placeringar i Dalälven skickades till Älvkarleby kraftverk för utlåtande. Kraftverkets bedömning låg i att en placering intill Kungsåderdammen var att rekommendera. Detta utlåtande baserades på att en placering intill Kungsåderdammen eliminerade risken för att pontonen skulle kunna slita sig och hamna i inloppskanalen till kraftverket.

4 Teknisk beskrivning av fältstationen och dess provkroppar

4.1 Fältstationens utformning

Fältstationen kommer att bestå av en eller flera pontoner där provkropparna fästs på pontonens sidor. Pontonens uppbyggnad kan enkelt beskrivas som en cellplastkärna med omgärdad av armerad betong. Stationen skall utformas på sådant sätt att den minst möjliggör provning av följande reparationsåtgärder:

- Pågjutningar
- Fogar
- Injekteringar

Vidare kommer stationen utformas så att den möjliggör platsgjutning, undervattensgjutning och applicering av sprutbetong. Beträffande nedbrytningsmekanismer utformas stationen på ett sådant sätt att följande fenomen kan studeras:

- Frostangrepp
- Temperaturinverkan
- Fuktinverkan
- Urlakning
- Erosion

Utformningen av stationen skall möjliggöra att följande miljökrav kan uppnås:

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

Hur utformningen av provkropparnas fästanordning skall se ut i detalj är fortfarande inte helt fastställt, utan kommer att ske i samråd med verkstaden vid Älvkarlebylaboratoriet vid Vattenfall Research & Development AB i samband med dess tillverkning. Fästanordningarna kommer att utformas så att grundprovkroppar med dimension 1,0 x 1,0 x 0,5 meter kan användas.

4.1.1 Inverkan på miljö/älv

Fältstationens inverkan på den närliggande miljön torde vara minimal. Det finns dock en del frågor som måste utredas vidare för att förhindra eventuell miljöpåverkan.

Det första problemet som kan inträffa är under sjösättningen av pontonen och dess förankring. Under detta skede finns det risk att en mängd bottensediment virvlas upp och vattnet blir grumligt. Om vattnet blir för grumligt kan det finnas risk att det kommer in i laxtrappan, vilken är placerad vid kungsåderdammen. Detta borde inte vara ett problem men det bör utredas innan produktionsstart.

Det andra scenariot som kan påverka miljön är då undervattensgjutningar genomförs. Om dessa gjutningar blir för omfattande finns risk att material som vaskas ur följer med strömmen ner i laxtrappan, och eventuellt påverkar fiskarna. Även detta torde inte vara ett stort problem då eventuella gjutningar kommer att vara så pass små att det material som försvinner kommer vara så urvattnat att det inte kommer att påverka miljön i älven. En utredning bör dock göras för att säkerställa att undervattensgjutningar inte kommer att påverka miljön i älven och främst med avseende på laxtrappan.

4.1.2 Livslängd på fältstation

Fältstationens livslängd är i högsta grad beroende av pontonens tekniska egenskaper. Då fältstationen skall vara placerad i Dalälven är risken för korrosionsskador på grund av klorider minimal. Karbonatisering, frostsador samt urlakning är dock reella hot, vilka pontonen måste vara skyddade mot. Det största hotet mot pontonen är dock gissningsvis isrörelser, samt islossning. I samband med en beställning bör pontonens egenskaper diskuteras med tillverkaren för att undvika skador på stationen.

4.1.3 Flexibilitet – utbyggnad/flytt/borttagning

I och med valet av ponton blir fältstationen flexibel. Vid behov av utbyggnad går det antingen att koppla ihop flera pontoner alternativt placera dem sida vid sida. Det som krävs för en omlokalisering av fältstationen är en båt för att bogsera den till önskad plats. Arbetet är relativt okomplicerat så länge vattnet inte är strömmande. Det som försvårar en flytt är bottenförankringarna. Även en avveckling av stationen är relativt okomplicerad eftersom pontonerna kan lyftas upp och fraktas bort med lastbil. Även här är det förankringssystemen som kan försvåra arbetet.

4.2 Provkropparnas utformning

Grundprovkropparna som stationen är utformad för har en dimension på 1,0 x 1,0 x 0,5 meter. Det skall dock vara möjligt att både prova större och mindre provkroppar. Det skall dessutom vara möjligt att prova pågjutningar av olika slag.

4.2.1 Provkropparnas inverkan på konstruktion

I och med provkropparnas utformning och storlek kommer dessa att belasta pontonen hårt. Det är därför viktigt att utformningen av provkropparnas fästanordningar konstrueras så att pontonen klarar att ta upp dessa laster utan att skadas. För att få pontonen stabil bör även de provplatser där inga försök pågår vara belastade med dummys. Genom att låta stationen vara fullbelastad hela tiden kommer även vattenytan ligga konstant på provkropparna.

4.3 Mätsystems utformning

För att kartlägga provkropparnas åldring, som en effekt av exponerings-/nedbrytningsmiljö, måste provkroppens yttre och inre miljö samt materialparametrar loggas under exponeringstiden. Detta, i kombination med materialanalyser, möjliggör för en kvantifiering av nedbrytningen, som en verkan av dess exponering. Dessutom möjliggör detta en koppling mellan nedbrytningsagenterna i exponeringsmiljön och materialets (provkroppens) nedbrytningsmekanismer, med andra ord dose-response. Kontinuerlig loggning sker av externa klimatparametrar samt provkroppens exponeringsbeteende.

Nedan presenteras ett förslag till mätsystems uppbyggnad för en fältstation bestående av en ponton. Uppbyggnaden och dess kostnad baseras på loggning av klimatparametrar samt 6 st provkroppar (se Tabell 4.1). Uppbyggnaden samt de uppskattade kostnaderna är framtagna av mättekniker på Vattenfall Research and Development (VRD) – Älvkarleby.

Fixerade klimatmätningar:

Lufttemperatur (PT-100): 1st

Lufttemperatur vid vattenyta (PT-100): 1st

Vattentemperatur (PT-100): 1 st

RF i luft (vaisala): 1st

RF i luft vid vattenyta (vaisala): 1 st

pH i vatten: 1 st

UV-instrålning (UV A) horisontal global UV-instrålning: 1 st

Summa kanaler: 7 st

Provkroppsmätningar:

Per provkropp: Pågjutning

Temperatur (termoelement typ-T): 9 st

Töjning (trådgivare): 6 st

Per provkropp: Rörelsefogar

Temperatur (termoelement typ-T): 9 st

Töjning (trådgivare): 6 st

Summa kanaler för pågjutning eller rörelsefogar: 6 st provkroppar

Temperatur: 54

Töjning: 36

Tabell 4.1. Uppskattade kostnader för mätutrustning till fältstationen.

6 st provkroppar

antal	benämning	kostnad per styck [kr]	summa kostnad [kr]	
1	CR1000 ¹ logger	18000	18000	
3	MUX ²	8111	24333	
1	modem	3000	3000	
1	program	4000	4000	
2	RF	2500	5000	Fixerad hårdvara samt
3	PT-100	2500	7500	Klimatmätningar
1	pH ³	5000	5000	
1	UV instrålning ⁴	12000	12000	
1	dator	5000	5000	
1	skåp för logger med värme	6500	6500	
	Delsumma		90333	
36	töjningsgivare till provkroppar ⁵	1200	43200	
135	termoelement till provkroppar	100	13500	
288	termoelement till fast kablage	100	28800	Provkroppsgivare samt
90	kabel till provkroppar	35	3150	kablage
192	kabel till fast kablage	35	6720	
6	kopplingslådor vid provkroppar	1500	9000	
1	Installationsmaterial	15000	15000	
	Delsumma		119370	
32	Inkoppling av provkroppsgivare	750	24000	
16	Inkoppling av kopplingslådor	750	12000	
24	design, programmering och verifiering	750	18000	Arbete
	Delsumma		54000	
1	övrigt	20000	20000	Oförutsagda kostnader
	TOTALT		283703	

Ovanstående fotnoter exemplifierar vissa av komponenterna i Tabell 4.1.

¹ <http://www.campbellsci.com/cr1000>² <http://www.campbellsci.com/am16-32b>³ http://www.mitec.se/sv/produkter_matgivare_ph_konduktivitet.html⁴ <http://www.solarlight.com/products/pma2111.html>⁵ <http://www.kyowa-ei.co.jp/english/products/gages/pdf/kmc.pdf>

Kompletterande lägesgivare (LVDT) kan i vissa projekt vara aktuellt men ingår ej i ovan beskriven mätsystemsuppbyggnad. Kostnad för LVDT är ca 5 kkr per givare.

4.4 Anläggningskostnader

Kostnaden för fältstationen kan delas in i tre delar, ponton, mätutrustning samt fästanordning för provkroppar. Kostnaden för en ponton med dimensionen 20 x 3 x 1 meter ligger i storleksordningen 250 kkr, inklusive transport och etablering. Kostnaden är dock beroende på vilka möjligheter det finns att sjösätta pontonen. Om stora markarbeten föreligger sjösättningen kan kostnaden stiga. Eventuellt markarbete kan behövas främst för att stabilisera strandkanten så att lastbil och/eller kranbil kommer tillräckligt nära vattnet. Markförhållandena måste utredas grundligt för att ett pris skall kunna sättas på ett eventuellt arbete.

Den andra tunga posten gällande kostnaden för fältstationen är mätutrustningen. Kostnaden är i högsta grad beroende på vilken mängd mätningar som önskas utföras. Kostnaden för ett mätsystem enligt beskrivningen i kap 4.1 ligger i storleksordningen 285 kkr. I kostnaden ingår hårdvara, provkroppsgivare, arbete samt en post med oförberedda utgifter.

En uppskattad kostnad för provkropparnas fästanordning ligger mellan 50 och 75 kkr. Kostnadsuppskattningen har gjorts i samråd med verkstaden vid Älvkarlebylaboratoriet.

Sammanfattning:

Ponton:	ca 250 kkr
Mätutrustning:	ca 285 kkr
Fästanordning:	ca 50-75 kkr
Summa:	ca 600 kkr

Utöver dessa materiella kostnader tillkommer det avgift för bygglov samt anmälan om vattenverksamhet. Bygglovet kostar ca 10 kkr och kostnaden för anmälan om vattenverksamhet kostar 1200 kr. Kostnaden för bygglovet är endast en uppskattad summa gjord av personal på Älvkarleby kommun.

Den totala summan för erforderliga tillstånd, samt ponton, mätutrustning, och fästanordningar beräknas landa på strax över 600 kkr.

4.5 Driftskostnader

Fältstationen har kostnader oavsett om den är i drift eller ej. Driftkostnader utöver kostnader som är direkt kopplade till provning finansieras av Elforsk. Kostnader som faller under denna kategori är:

- Kalibrering av sensorer och datautrustning.
- Renhållning av plattan.
- Övrigt underhåll.

Den totala driftkostnaden uppskattas till 100 kkr per år där av merparten av kostnaden är för kalibrering av givare och utrustning. En del av denna kostnad debiteras projekt enligt nedanstående, resterande bör förslagsvis finansieras av kraftbolagen via Elforsk.

Driftkostnader under provning kalkyleras inför varje nystartat projekt och betalas fullt ut av uppdragsgivaren. Driftkostnaden som läggs på varje uppstartat projekt uppgår till 10 % av den enskilda projektstorleken som en engångskostnad vid tillfället för uppstarten.

5 Slutsats

Studien har beskrivit hur en fältstation, med tillhörande mätutrustning kan: utformas, fungera samt placeras. I rapporten har även ett par problemområden vid svenska vattenkraftkonstruktioner, gällande nedbrytning, belysts. Som bilagor till rapporten presenteras nio projektförslag. Samtliga förutsätter en fältstation för att möjliggöra fullgoda åldringsstudier.

En jämförelse mellan olika tekniska lösningar presenteras också i studien. Jämförelsen visar att den mest lämpade konstruktionsutformningen, för en fältstation i älvmiljö, är en betongponton. Den främsta anledningen är pontonens flexibilitet och förmåga att följa älvens nivåförändringar.

Dessutom har placeringen av fältstationen utretts. Denna påvisar två möjliga placeringar. Med avseende på säkerhet, från Älvkarlebys Vattenkraftverks sida, ansågs att en placering intill Kungsåderdammen var den lämpligaste platsen. Dess nackdel är avsaknaden av naturligt strömmande vatten. Detta går dock att kompenseras genom ett artificiellt flöde, exempelvis via användandet av en vattenjet.

Stationens uppförande kräver dock några kompletterande detaljstudier. Dessa kompletterande studier att utreda är:

- Exakta bottenförhållanden vid Kungsåderdammen.
- Behovet av markförstärkning vid sjösättningsplats.
- Möjligheter och plats gällande i och urlastning av provkroppar.
- Provkropparnas fästanordning i pontonen.

Rapporten visar att det är fullt möjligt att etablera en fältstation som uppfyller de krav på exponering som är intressant ur ett nordiskt vattenkraftverks perspektiv. Kostnaden för stationen inklusive mätutrustning och etablering är, enligt de beräkningar som presenteras i rapporten, ca 600 kkr.

6 Referenser

- [1] Bernstone, C. (1998), *Kunskapsåterföring på betongområdet från det amerikanska REMR-programmet*, Elforsk rapport 98:33.
- [2] Båtbryggan AB, produktblad över betongpontoner, hämtad 2009.
- [3] Hejll, A., Hassanzadeh, M., Sandström, T. (2009), *Station för fältexponering av material och reparationssystem för betongkonstruktioner – Förstudie*, Elforsk rapport 09:72.
- [4] Thorsell, P-E. (2004), *Fogar och fogreparationer*, Elforsk rapport 04:23.

Bilagor

I följande avsnitt, enligt nedanstående lista, presenteras nio tänkbara forskningsprojekt som är lämpliga att förlägga till fältstationen för långtidsexponering.

1. Projektförslag: Fältexponering av fogband och dess reparationer.
2. Projektförslag: Fukttransport i betong med pågjutning.
3. Projektförslag: Fukttransport i ensidigt uppvärmd betong med pågjutning på motsatt sida.
4. Projektförslag: Erosion av undervattensgjuten betong.
5. Projektförslag: Exponering av provkroppar med låg samt mellanreaktiv ballast (AKR).
6. Projektförslag: Exponering av provkroppar med injekterade sprickor.
7. Projektförslag: Åldring av injekteringsbetong i älvmiljö – reparationsmaterial för dammbyggnadsverk.
8. Projektförslag: Fältexponering av infästningar och mekaniska konstruktioner i betong.
9. Projektförslag: Långtidseffekter av återställning efter provtagning i betongkonstruktioner.

1. Fältexponering av fogband och dess reparationer

Bakgrund:

I tidigare studier har: Fogar och fogreparationer⁶, Reparationer av dilatationsfogar i dammkonstruktioner⁷, och Projektering av fältstation för långtidsexponering av betongprover i älvmiljö – Tester i Nordiska förhållanden⁸ studerats/utretts, vilket ligger till grund för detta projekt förslag.

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

- Dålig betong i fogområdet pga. gjutningsförfarandet. Betongen vid fogbandet blir stenfattigt och får ett högre vattencementtal (vct) på grund av vattenseparation och eller bruksseparation. Detta medför att betongen får en: lägre hållfasthet, högre porositet samt permeabilitet, ökad urlakning och försämrad frostbeständighet. Förutom ovanstående gjutningsproblem, kan hålrum i anslutning till fogandet uppstå pga. undermåligt komprimerad/vibrerad betong.
- Nedbrytning av betongen i fogområdet pga. kallt klimat som utsätter betongen för frostangrepp (isnötning samt frostsprängning). Graden samt fortskridningen och fortlöpningstiden av detta skade- eller åldringsscenario, är troligtvis beroende av gjutningsförfarandet i enlighet med ovanstående punkt.
- Brist i konstruktions- och arbetsutförande vad gäller installation av fogbanden.
- Åldring av PVC-banden i dammkonstruktionen pga. urlakning samt alkalisk hydrolys av mjukgöraren (vilket försprödar PVC-banden).

Att reparera läckande dilatationsfogar i dammkonstruktioner har i praktiken visat sig vara komplicerat. Reparationsinsatserna kan leda till otillfredsställande resultat med upprepade läckage samt tätningsinsatser som följd. Problematiken ligger primärt i att dammkonstruktionen delvis ligger under vatten (som utövar ett hydrostatiskt tryck på konstruktionen) samt att den tätande fogutformningen är ingjuten i konstruktionen, vilket ytterligare

⁶ Thorsell, P-E. (2004). Fogar och fogreparationer. Elforsk rapport 04:23.

⁷ Stojanović, B. (2010). Reparationer av dilatationsfogar i dammkonstruktioner – En sammanställning av kunskaper och insatser. Elforsk rapport XX:XX, (ännu ej publicerad).

⁸ Persson, M., Rosenqvist, M., Stojanović, B. (2010). Projektering av fältstation för långtids-exponering av betongprover i älvmiljö – Tester i Nordiska förhållanden. Elforsk rapport XX:XX, (ännu ej publicerad).

försvårar dess åtkomlighet (därav även inspektion). Däröver försvåras situationen ytterligare av att fogarna/fogtätningen kan bestå av komplicerade geometrier. På grund av ovanstående problematik/komplexitet, har det varit av betydelse att i tidigare studier sammanställa kunskaper samt erfarenheter angående åldring och reparationer av fogar för att kunna bistå reparationsinsatserna. Dessa exemplifieras i rapporterna av Thorsell⁹ och Stojanović¹⁰.

Reparationer som fallerat har i allmänhet uppvisat en trend i att en relativt kort tid efter utförd reparationsinsats, uppstår nya läckage. Dessa problem kan indikera att den använda reparationsmetoden (i det specifika fallet) inte var lämplig, vilket kan innebära att den troliga skadeorsaken beror på metodval och arbetsutförande. Gällande reparationers prestanda över tid samt dess åldring, återfinnes ingen information.

Syfte och Mål:

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

Projektbeskrivning:

Provning/exponering via en fältstation ger ökad möjlighet att studera skademekanismer och dess effekter samt möjligheter att verifiera och utveckla provnings- och analysmetoder, och inte minst utvärdera reparationsmaterial och reparationssystem. Den primära nyttan med exponering via en fältstation är storleksinverkan samt tid- och synergieffekter som enbart kan åstadkommas genom exponering i verklig miljö och genom registrering av yttre och inre faktorer.

För att kunna studera samt utvärdera åldring och prestandaförsämring av dilatationsfogar (PVC- och plåtbånd) och dess reparationer, föreslås att betongprovkroppar av varierad betongkvalitet (med inhysta fogband) exponeras i älvmiljö via en fältexponeringsstation (se Figur B. 1). Detta skall simulera åldring av fogen i fält pga. varierad betongkvalitet samt nedbrytning med avseende på kallt klimat (enligt ovanstående). Provkropparna skall dessutom utsättas för dilatation (rörelse) vilket skall återspeglar dess verkliga funktion.

⁹ Thorsell, P-E. (2004). Fogar och fogreparationer. Elforsk rapport 04:23.

¹⁰ Stojanović, B. (2010). Reparationer av dilatationsfogar i dammkonstruktioner – En sammanställning av kunskaper och insatser. Elforsk rapport XX:XX, (ännu ej publicerad).

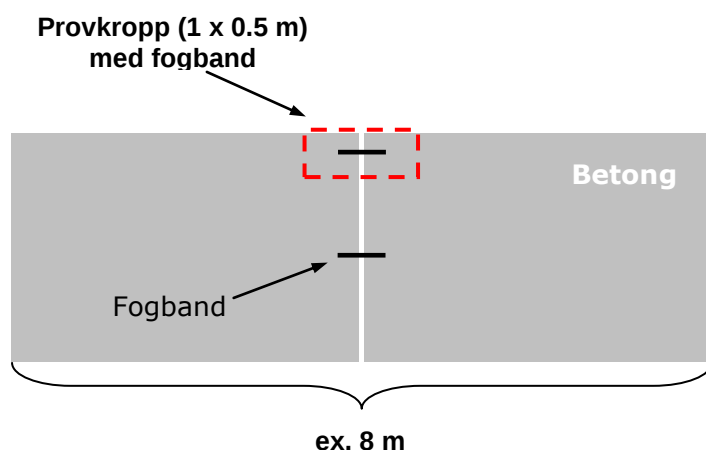
Av ytterligare intresse är att utvärdera:

- Försprödningen av PVC-fogbanden i fält, orsakad av urlakningen/nedbrytningen av materialets mjukgörare, samt dess inverkan på funktion med avseende på varierad årstemperatur och rörelse.
- Försprödning, åldrig och beständighet av fogbandsskarvar i fält orsakad av urlakningen/nedbrytningen av materialets mjukgörare samt varierande årstemperatur och rörelse.
- Försprödning, åldrig och beständighet av fogbandsskarvar i fält med avseende på varierat arbetsutförande.

Här ges även möjlighet till att kombinera certifieringstester (av PVC-fogband) med fältexponeringar, för att kunna transformera labbresultat till ett simulerat driftfall och/eller vice versa. Dessutom ges möjligheter till att gjuta in i förväg försprödade fogband och exponera dessa för att studera dess långtidsprestanda i fält. Tanken är att studera beständigheten hos åldrade fogband i fält med avseende på varierad årstemperatur och rörelse.

Förutom själva fogåldringen skall även olika reparationsmetoder utvärderas (i enlighet med ovanstående och Elforskrapport (pågående) – Reparationer av dilatationsfogar i dammkonstruktioner) med Avseende på den varierande betongkvaliteten hos de olika provkropparna.

En projekterad detaljutformning av provkroppar, fältstation och mätsystem är presenterad i Elforskrapport (pågående) – Projektering av fältstation för långtidsexponering av betongprover i älvmiljö under Nordiska förhållanden.



Figur B. 1. En schematisk exemplifiering av ett fogband i en dammkonstruktion som är satt i relation till en provkropp. Observera att figuren ej är skalenligt ritad.

Kvantifieringen av fogåldringen består i att:

- Fogområdet i provkroppen utsätts för ensidigt vattentryck i labb för att utvärdera dess täthet.
- Betongen analyseras med avseende på sprickbildning och urlakning: visuellt, via provtryckning, via pH-mätningar.
- Fogen/fogskarven avlägsnas och analyseras i labb med avseende på draghållfasthet och elasticitet.
- Klimatparametrar samt provkroppens temperatur och RF loggas under fältexponeringen.

2. Fukttransport i betong med pågjutning

Bakgrund:

I en tidigare genomförd studie¹¹ har det konstaterats att de vanligaste konstruktionsdelarna som har behövts repareras är bland annat utskovspartierna med angränsande konstruktionsdelar. Dessa konstruktionsdelar står ofta i vatten med direkt kontakt med omgivande klimat. De skador som har föranlett reparationerna artar sig ofta som gradvis avskalning av betong, som har släppt på grund av frysning, urlakning och/eller erosion/nötning. Likaså kan brister i utförandet leda till sprickbildning som öppnar upp konstruktionen för olika skademekanismer. Sprickbildning kan med fördel åtgärdas med injektering medan större skador åtgärdas genom att dålig betong avverkas med exempelvis vattenbilning och därefter ersätts med ett nytt pågjutet betongskikt.

I en annan studie¹² definieras en pågjutning av att den nya beläggningen har en tjocklek större än 5 mm. Grovt sett kan pågjutningar delas in i två grupper. Den första gruppen består av tunna pågjutningar med bruk medan den andra gruppen består av grövre pågjutningar med betong. Pågjutningen ska samtidigt samverka med, och skydda, den underliggande betongen under lång tid. De vanligaste materialen (i ordningsföljd) vid pågjutningsarbeten är konventionell betong, sprutbetong med eller utan fibrer, samt lagningsbruk.

De fördelar som kan uppnås med en pågjutning är ett återställande av konstruktionens bärighet/stabilitet, minskad permeabilitet för konstruktionen samt förbättrat inträngningsmotstånd mot för betong skadliga ämnen. En nackdel att nämna är att ej önskvärda fuktnivåer kan uppnås i antingen den gamla betongen eller i pågjutningen till följd av skillnader i materialens permeabilitet och/eller porositet.

I ett examensarbete¹³ påvisades det, utan att utreda de exakta orsakerna, att fukttinnehållet i betong i kontakt med vatten vid upprepade frys- och tiningencykler ökade jämfört med betong som inte utsattes för fryscykler. Detta är negativt sett ur ett frostbeständighetsperspektiv. Många konstruktionsdelar tillhörande ett vattenkraftverk utsätts för upprepade fryscykler under en svensk vinter.

Betongens beteende med avseende på fukttinnehåll och fukttransport under inverkan av temperaturväxlingar mellan plusgrader och minusgrader kommer att undersökas i ett doktorandprojekt delvis finansierat av Elforsk.

¹¹ Björkenstam, E. (1999). Inventering av betongreparationer utförda på svenska vattenkraftanläggningar. Elforsk rapport 99:28.

¹² Sandström, T. (2008). Skador och reparationsmetoder. Elforsk rapport 08:65.

¹³ Persson, M., Rosenqvist, M. (2009). Frostsprängning i betongdammar – Inverkan av frostsprängning till uppkomna skador vid vattenlinjen hos betong i vattenkraftverk. Examensarbete – Civil Ing., LTH, Avd. Byggnadsmaterial, TVBM-5074.

Syfte och Mål:

Syftet med projektet är att studera hur en pågjutning inverkar på fukttillstånd och fukttransporter i bakomliggande betongen vid olika val av metod, betongkvalitet, varierat arbetsutförande eller en kombination av samtliga. Målet är att projektet ska leda till ökad kunskap om hur en betongkonstruktion uppför sig efter en reparation, samt om det finns reparationsmetoder sett ur ett beständighetsperspektiv som är bättre eller sämre när det gäller eventuella kritiska fuktnivåer i antingen den nya pågjutningen eller den bakomliggande betongen. Denna kunskap ska förhoppningsvis kunna leda till bättre motiverade val eller utformningar av framtida reparationer.

Projektbeskrivning:

Genom att exponera provkroppar med olika pågjutningar i en fältstation i älvmiljö ges en ökad möjlighet att studera den beständighetsproblematik som finns inom vattenkraften med avseende på reparationer. Möjligheten att utveckla nya provnings- och analysmetoder kommer också att ges.

Viktigast av allt är att olika reparationsmetoder med avseende på pågjutningar kommer att kunna provas under naturliga förhållanden med årligt varierande temperaturer och fuktnivåer, samt att effekter av naturliga synergier kan studeras. Provningsmetoder kommer att utvärderas över tiden genom att kontinuerligt mäta temperatur, relativ fuktighet och rörelser i betongen. Den kontinuerliga mätningen kommer att kompletteras med oförstörande provningsmetoder för att kartlägga eventuella inre förändringar av provkroppens hållfasthet. Vid behov kommer även borrhärdor att kunna tas ut från provkropparna för att prova de mekaniska egenskaperna och mäta fukttillstånd i betongen över tiden.

Provkropparna kan komma att utsättas för en- eller dubbelsidig vattenkontakt, beroende på vilken konstruktionsdel i en vattenkraftanläggning som skall undersökas med avseende på fukttillstånd och fukttransport.

3. Fukttransport i ensidigt uppvärmd betong med pågjutning på motsatt sida

Bakgrund:

I en tidigare genomförd studie¹⁴, har det konstaterats att bland de vanligaste betongkonstruktionsdelarna som har varit i behov av reparation, är belägna på vattenkraftsanläggningens ytor som angränsar mot vattenvägar. Den ena sidan av dessa konstruktionsdelar står ofta i direkt kontakt med rådande utomhusklimat året om medan den andra sidan präglas av ett jämnare och relativt konstant inomhusklimat året om. De skador som har föranlett reparationerna artar sig ofta som gradvis avskalning av betong då betongen har utsatts för frysning, urlakning och/eller erosion/nötning. Likaså kan brister i utförandet leda till sprickbildning som öppnar upp konstruktionen för olika skademekanismer. Sprickbildning kan med fördel åtgärdas med injektering medan större skador åtgärdas genom att dålig betong avverkas med exempelvis vattenbilning och därefter ersätts med ett nytt pågjutet betongskikt.

I en annan studie¹⁵ definieras en pågjutning av att den nya beläggningen har en tjocklek större än 5 mm. Grovt sett kan pågjutningar delas in i två grupper. Den första gruppen består av tunna pågjutningar med bruk medan den andra gruppen består av grövre pågjutningar med betong. Pågjutningen ska samtidigt samverka med, och skydda, den underliggande betongen under lång tid. De vanligaste materialen (i ordningsföljd) vid pågjutningsarbeten är konventionell betong, sprutbetong med eller utan fibrer, samt lagningsbruk.

De fördelar som kan uppnås med en pågjutning är ett återställande av konstruktionens bärighet/stabilitet, minskad permeabilitet för konstruktionen samt förbättrat inträngningsmotstånd mot för betong skadliga ämnen. En nackdel att nämna är att ej önskvärda fuktnivåer kan uppnås i antingen den gamla betongen eller i pågjutningen till följd av skillnader i materialens permeabilitet och/eller porositet.

I ett examensarbete¹⁶ påvisades det, utan att utreda de exakta orsakerna, att fuktinnehållet i betong i kontakt med vatten vid upprepade frys- och tiningscyklar ökade jämfört med betong som inte utsattes för fryscyklar. Detta är negativt sett ur ett frostbeständighetsperspektiv. Många konstruktionsdelar tillhörande ett vattenkraftverk utsätts för upprepade fryscyklar under en svensk vinter.

Betongens beteende med avseende på fuktinnehåll och fukttransport under inverkan av temperaturväxlingar mellan plusgrader och minusgrader kommer att undersökas i ett doktorandprojekt delvis finansierat av Elforsk.

¹⁴ Björkenstam, E. (1999). Inventering av betongreparationer utförda på svenska vattenkraftsanläggningar. Elforsk rapport 99:28.

¹⁵ Sandström, T. (2008). Skador och reparationsmetoder. Elforsk rapport 08:65.

¹⁶ Persson, M., Rosenqvist, M. (2009). Frostsprängning i betongdammar – Inverkan av frostsprängning till uppkomna skador vid vattenlinjen hos betong i vattenkraftverk. Examensarbete – Civil Ing., LTH, Avd. Byggnadsmaterial, TVBM-5074.

Syfte och Mål:

Syftet med projektet är att studera hur en påggjutning inverkar på fukttillstånd och fukttransporter i bakomliggande betongen vid olika materialval och tjocklekar på påggjutningen, den bakomliggande betongkvaliteten samt olika gjutmetoder eller en kombination av samtliga. Målet är att projektet ska leda till ökad kunskap om hur en betongkonstruktion med utomhusklimat på ena sidan och inomhusklimat på andra sidan uppför sig efter en reparation, samt om det finns reparationsmetoder sett ur ett beständighetsperspektiv som är bättre eller sämre när det gäller eventuella kritiska fuktnivåer i antingen den nya påggjutningen eller den bakomliggande betongen. Denna kunskap ska förhoppningsvis kunna leda till bättre motiverade val eller utformningar av framtida reparationer.

Projektbeskrivning:

Genom att exponera provkroppar med olika påggjutningar i en fältstation i älvmiljö ges en ökad möjlighet att studera den beständighetsproblematik som finns inom vattenkraften med avseende på reparationer. Möjligheten att utveckla nya provnings- och analysmetoder kommer också att ges.

Viktigast av allt är att olika reparationsmetoder med avseende på påggjutningar kommer att kunna provas under naturliga förhållanden med årligt varierande temperaturer och fuktnivåer, samt att effekter av naturliga synergier kan studeras. Provningsmetoder kommer att utvärderas över tiden genom att kontinuerligt mäta temperatur, relativ fuktighet och rörelser i betongen. Den kontinuerliga mätningen kommer att kompletteras med oförstörande provningsmetoder för att kartlägga eventuella inre förändringar av provkroppens hållfasthet. Vid behov kommer även borrhälsar att kunna tas ut från provkropparna för att prova de mekaniska egenskaperna och mäta fukttillstånd i betongen över tiden.

Provkropparna kommer att utsättas för enkelsidig vattenkontakt då motsatt sida kommer att vara konditionerad till ett normalt inomhusklimat rådande konstruktionsdel i en kraftstation som ska undersökas med avseende på fukttillstånd och fukttransport.

4. Erosion av undervattensgjuten betong

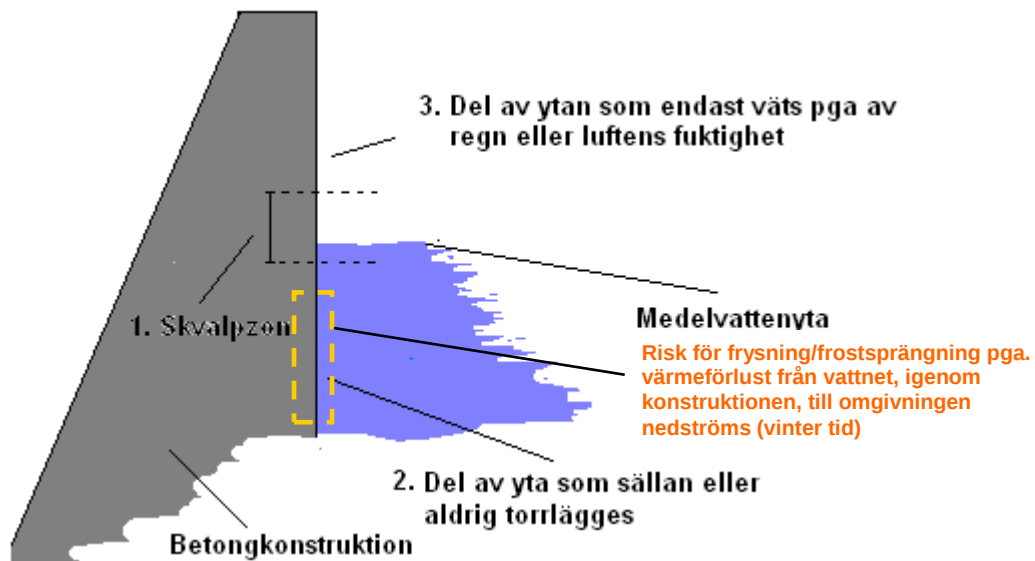
Bakgrund:

I tidigare studie¹⁷ har undervattensgjuten betong studerats/utretts, som ligger till grund för detta projekt förslag.

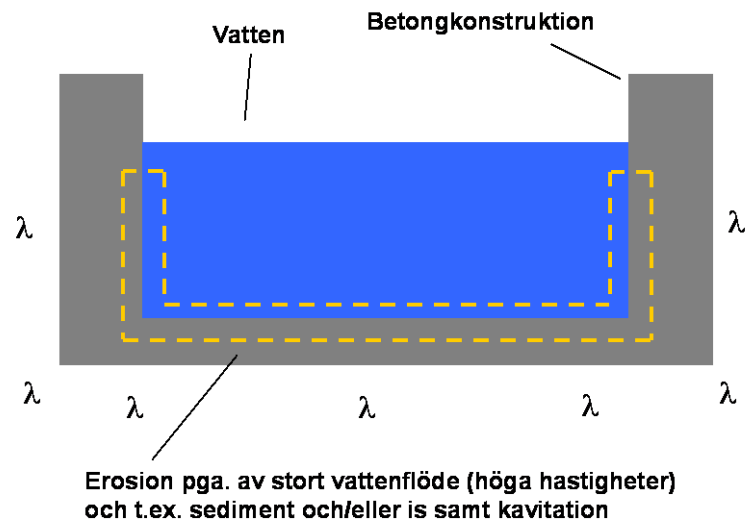
Betongbyggnadsverk som befinner sig i vatten utsätts till stor del för erosion (förutsatt att vattnet strömmar och bär med sig partiklar) dessutom så utsätts också dessa konstruktioner för urlakning, frostangrepp mm. Detta är av speciell signifikans för vattenkraftskonstruktioner som befinner sig i strömmande älvvatten samtidigt som de kan utsättas för frysning. Det strömmande vattnet i kombination med inhysta partiklar (vilka kan bestå av sediment och/eller is) utövar en eroderande effekt över tid, vilket i princip avskalar ytan hos betong från diverse konstruktioner. Denna effekt antas intensifiera om betongen även utsätts för urlakning samt frostsprängning. Dessutom kan konstruktionsdelar som befinner sig i, eller i anslutning till, snabbt strömmande vatten utsättas för kavitation. Skador orsakade av kavitation uppstår när kaviteter (hålrum vätskor i form av bubblor) imploderar. Effekten sägs bli densamma som tusentals spetsiga nålar som med stor kraft hamrar mot ytan varvid materialets brottgräns kan överskridas, detta kan på sikt leda till en synbar materialavgång som oftast visar sig som ett "månlandskap" i miniformat med en mängd små kratrar.

Med avseende på bl.a. ovanstående effekter krävs reparationer av betongen som står i kontakt med strömmande vatten. Uppkomsten av dessa typer av skador kan vara belägna både på upp- och nedströms sidan av dammen, samt på bottenplattor, pelare, kanal och dammväggar och även i energiomvandlare; se Figur B. 2 och Figur B. 3 (dessa exemplifierar de två primära fallen gällande nedbrytning av undervattensbetong (uv-betong) som använts som reparationsmaterial på dammkonstruktioner, kombinationen av båda kan ev. också förekomma). En central fråga i detta sammanhang är om att reparera skadorna orsakade av ovanstående mekanismer genom undervattensreparationer med uv-betong är kostnadseffektivt, i jämförelse med att torrlägga ett parti och gjuta konventionellt. I Sverige är det implicit Bronormen som reglerar när uv-betong får användas. Bronormen förordar primärt användning av betong innehållande Antiutvaskningsmedel (AUV) på frostfritt djup, då AUV-medel anses äventyra betongens beständighet mot frostangrepp.

¹⁷ Sandström, T. (2010). Undervattensgjuten betong. Elforsk rapport XX:XX (pågående).



Figur B. 2. En schematisk exemplifiering av uppströmssidan på en dammkonstruktion där risk för frysning/frostsprängning under vattenytan föreligger. Är det kostnadseffektivt/lämpligt att använda uv-betong som pågjutning/reparation i denna zon? Vad är dess livslängd?



Figur B. 3. En schematisk exemplifiering av en godtycklig kanal på upp- eller nedströmssidan av en damm, där erosion föreligger. Är det kostnadseffektivt/lämpligt att använda uv-betong som pågjutning/reparation i denna zon? Vad är dess livslängd?

Syfte och Mål:

Syftet med projektet är att studera beständigheten samt lämpligheten med att använda betong innehållande AUV-medel vid undervattensreparationer av vattenkraftskonstruktioner. Målet är att studien skall ge ökad kunskap gällande materialets beständighet med avseende på de av miljön påverkande nedbrytningsmekanismerna, samt denna metods lämplighet. Denna kunskap skall bistå valet/utformningen av framtida reparationsinsatser.

Projektbeskrivning:

Av intresse är att utreda beständigheten (enligt ovan) av betong innehållande AUV-medel eftersom denna metod har potential att möjliggöra en kostnadseffektivisering gällande reparationer av skador som är belägna undervatten, på frostfritt djup. För att kunna svara på frågan – om beständigheten hos betong innehållande AUV-medel är sådan att kostnadseffektivisering uteblir pga. en ökad frekvens av återkommande reparationsinsatser, jämfört med konventionell betong (en annan relevant fråga är – hur stor är risken för genomfrysning, se Figur B. 2), föreslås två delarbeten:

1. Vid någon i sammanhanget lämplig plats gjuts partier med betong innehållande AUV-medel samt parallellt med konventionell betong. Detta möjliggör för en relativ jämförelse av bäge samt i relation till varandra med avseende på exponering och åldring/livslängd. Det är viktigt att traditionell betong gjuts i torrhet och att betong innehållande AUV-medel gjuts undervatten.
2. Solida samt pågjutna provkroppar bestående av betong innehållande AUV-medel av varierad kvalitet exponeras i älvmiljö via en fältexponeringsstation. Detta skall simulera åldring i fält primärt med avseende på urlakning och vidhäftning (med avseende på vad bronormen förordar). Fältstationer erbjuder också möjligheter till detaljerad loggning av klimatparametrar samt provkroppens temperatur, relativa fuktighet (RF) och töjning, för att studera betongens beteende under inverkan av fältexponering. Åldringskvantifieringen kommer att bestå i att betongen testas och analyseras i labb. Dessutom kan fältstationen användas för att utvärdera frostbeständighet (med tanke på ev. risk för genomfrysning enligt Figur B. 2) genom att kombinera standardprovning (t.ex. Borås metoden) med fältexponeringar för att kunna transformera labbresultat till observationer gjorda i fältexponering.

Den primära nyttan med en fältstation är storleksinverkan samt tid- och synergieffekter som enbart kan åstadkommas genom exponering i verklig miljö och genom registrering av yttre och inre faktorer.

Vidare ger också provning/exponering via en fältstation (samt kombination av ovanstående) en ökad möjlighet att studera skademekanismer och dess effekter, samt möjligheter att verifiera och utveckla provnings- och analysmetoder. Slutligen är det också möjligt att utvärdera lämpligheten av de studerade reparationsmaterialen samt reparationssystemen.

5. Exponering av provkroppar med låg samt mellanreaktiv ballast (AKR)

Bakgrund:

Alkalikiselreaktioner (AKR) är en skademekanism som uppkommer då ballast innehållande alkalilöslig kiselsyra används. Ballasten reagerar med det alkalirika porvattnet vilket medför att en gel bildas invid ballastkornen. Gelen, kallad alkalikiselsyrage, sväller under reaktionen i samband med att den tar upp en stor mängd vatten. I vissa fall kan denna reaktion ge upphov till sprickbildning i konstruktioner, alternativt så kallad pop-outs. Höga relativa fuktnivåer krävs för att reaktionen skall starta, $\sim > 75\%$ RF, vilket medför att konstruktioner i eller i direkt anslutning till vattnet befinner sig i farozonen. Mineraler och bergarter som är potentiellt alkalikänsliga och förekommer i Sverige är bland annat: gnejs, granit, kvartsit samt flinta, för att nämna några.

Sverige är generellt sett förskonat från ballast som kan medföra AKR, men med vissa undantag. Geografiska regioner där reaktiva bergarter finnes är primärt i Skåne och den svenska fjällkedjan.

Misstankar finns att en andel av den svenska vattenkraftsanläggningspopulationen har gjutits med betong innehållande långsamreaktiv samt mellanreaktiv ballast, vilket ev. kan medföra konstruktionsskador i framtiden. Risken för att detta skall inträffa samt med vilket hastighet reaktionen sker vet dock ingen.

Syfte och Mål:

Studiens syfte är att undersöka hur omfattande AKR är inom populationen av svenska vattenkraftanläggningar, samt studera dess reaktionshastighet och skadegrad under exponering i älvmiljö. Dessutom skall AKR provkroppar påföras med olika pågjutningar och tätskikt för att studera om dessa hämmar eller intensifierar reaktionen. Målet med studien är att få en ökad kunskap av ovanstående, vilket skall bistå framtida insatser.

Projektbeskrivning:

Exponering av provkroppar på en fältstation i älvmiljö tillhandahåller goda förutsättningar för att studera samt kontinuerligt mäta AKR reaktioner och dess skadegrad under verkliga förhållanden. Resultatet från studien skall även transformeras till andra klimatförhållanden för att kunna uppskatta vilket tillstånd övriga svenska vattenkraftverk befinner sig i.

Provkropparna kommer att bestå av nygjutna block innehållande en känd mängd reaktiv ballast, samt block från befintliga anläggningar (i den mån detta går att införskaffa). Användningen av nya och gamla provkroppar möjliggör en jämförelse över tid med avseende på reaktionshastigheten. Block från befintliga anläggningar tas på olika nivåer runt vattenlinjen samt fördelaktigen från konstruktioner som skall rivas.

Den primära nyttan med att utföra en fältexponering är att åldringsscenariot återspeglar en verklig miljö, samtidigt som kontinuerliga mätvärden (klimatdata, provkroppstemperatur, -fukt och -rörelse) loggas. Däröver kan provkroppar tas till ett labb för ytterligare analys av AKR. Dessutom kan provkroppar med jämna mellanrum analyseras med oförstörande provning för att detektera en minskning av E-modulen över tid (ett mått på skadeutvecklingshastigheten). Utöver dessa tester kan provbitar skickas till t.ex. CBI för analys av återstående mängd av reaktivballast.

Provkroppar med pågjutningar eller ytskikt kommer även att studeras för att utvärdera om dessa förhindrar eller intensifierar AKR. Detta kan ev. ligga till grund för framtida insatser på konstruktioner som löper risk för stora AKR skador, eller konstruktioner som redan har befintliga skador (då för att reducera reaktionen).

6. Exponering av provkroppar med injekterade sprickor

Bakgrund:

Det är inte ovanligt att betongkonstruktioner spricker, och i många fall har det inte någon större inverkan på konstruktionens funktion. Det finns dock tillfällen då sprickor i konstruktionen medför att dess funktion försvinner. I vattenkraftanläggningar gäller detta specifikt konstruktionens täthet mot vatten. En spricka i en betongkonstruktion som har en skillnad i vattentryck på två sidor medför att ett läckage kommer att uppstå med efterföljande urlakning. En vanlig metod för att reparera sådana skador är att injektera sprickorna.

Kortfattat innebär injektering att ett injekteringsmedel trycks in och fyller sprickan vilket medför att konstruktionen åter blir tät. Injekteringsmedlet kan antingen vara polymer- eller cementbaserat. De polymerbaserade medlen har en bättre förmåga att tränga in i smala sprickor men medför dock att armeringen vid injekteringen inte passiviseras av den digniteten som vid cementbaserade produkter. Polymerbaserade medel är även avsevärt dyrare än cementbaserade samt att de kan innehålla miljöfarliga ämnen. Det cementbaserade medlets största fördel jämfört med polymerbaserat är att de har liknande egenskaper som konstruktionen som skall lagas. Dess största nackdel är att det har svårt att komma in i smala sprickor. Oavsett om ett polymer- eller cementbaserat medel används så kommer dess egenskaper inte vara exakt den samma som betongkonstruktionen. Detta kan medföra ett problem främst när det gäller åldrande samt nedbrytning.

Exakt vad som händer med injekterade konstruktioner efter lång tid är inte fastställt. Det är dock viktigt att få en fördjupad förståelse om detta för att framtida reparationer skall utföras så bra som möjligt.

Syfte och Mål:

Syftet med studien av injekterade sprickor i verklig miljö är att utreda vad som händer i ett långtidsperspektiv då olika injekteringsmedel används. Målet med studien är att få en ökad förståelse vad som händer kring sprickorna samt i injekteringsmedlet då de utsätts för bland annat urlakning och frost under en längre tid. Med den kunskapen kan man i framtiden förhoppningsvis få lättare att välja rätt medel vid en reparation.

Projektbeskrivning:

Exponering i älvmiljö ger ett verkligt förlopp på hur eventuell nedbrytning eller åldring ter sig i verkliga förhållanden. Fördelen med detta är att man lättare kan göra en utvärdering vilken beständighet olika injekteringsmedel har. När tester utförs i laboratorier är försöken oftast forcerade och det man primärt studerar är specifika mekanismer och inte helheten. I en fältstation får man både naturliga variationer i fukt och temperaturer samt synergieffekter och ett långsamt förlopp. Genom att kontinuerligt mäta temperaturer, RF och rörelser i provkropparna går det att studera

nedbrytningsprocessen över tiden och få en verklig hastighet på nedbrytningen.

Provningarna kommer att utföras på provkroppar med olika spricktyper, vilka kommer att lagas med olika injekteringsmedel. Provkropparna kommer både att studeras okulärt på plats samt med oförstörandeprovning för att detektera eventuella skador och dess utbredning. Vid givna tidpunkter kommer även borrhärdar från provkropparna tas för att kunna studera hur injekteringarna ser ut längre in i konstruktionen.

Då provkropparna inte kommer att utsättas för en skillnad i vattentryck kan försöket kompletteras med att provkropparna med jämna intervall placeras i en provrigg som anbringar ett ensidigt vattentryck över en yta av provkroppen. Genom att mäta vilken mängd vatten som strömmar igenom kan provkroppens täthet studeras över tiden.

7. Åldring av injekteringsbetong i älvmiljö – reparationsmaterial för dammbyggnadsverk

Bakgrund:

Injekteringsbetong är en beprövad metod för såväl nyproduktion som reparationer. Metoden utvecklades främst i sambandet med utbyggnaden av vattenkraften i USA. Med tiden spreds användningen till andra länder och tillämpningsområden som t.ex.: grundläggning, gjutning av pelare samt undervattensgjutningar¹⁸. Principen består i att en form fylls och packas med ballast, varvid packningen injekteras med ett lättflytande cementbruk. En av fördelarna med denna metod är att betongkroppens benägenhet att "globalt" krympa kan kraftigt reduceras p.g.a. kontakten mellan ballastkornen, vilket i sin tur leder till en minskad risk för sprickbildning. Metoden har även visat sig vara lämplig för reparationer tack vare de goda vidhäftningsegenskaperna, som också är en konsekvens av den reducerade krympningsbenägenheten samt högt tryck vid injektering. Även reparationer bestående av gjutning i trånga besvärliga former kan underlättas genom användningen av injekteringsbetong. Formen byggs samtidigt som sten successivt placeras. Dessutom underlättar metoden arbetsutförandet med avseende på framställning och transport, i jämförelse med konventionell färskbetong. Långa transporter av färskbetong kan i vissa fall kräva reaktionshämmande tillsatsmedel.

Nedbrytningsmekanismer som: erosion, urlakning och frostangrepp (som utsätter vattenkraftskonstruktioner för skador) är av speciell signifikans för konstruktioner som befinner sig i strömmande eller stilla älvvatten. Det strömmande vattnet i kombination med inhysta partiklar (som t.ex. sediment och/eller is och iskristaller) samt frysning utövar en eroderande effekt över tid, vilket i princip avskalar ytan på betongkonstruktioner. Denna effekt antas intensifiera om betongen däröver utsätts för urlakning samt frostangrepp. Dessutom kan konstruktionsdelar som befinner sig i, eller i anslutning till, snabbt strömmande vatten utsättas för kavitation. Med avseende på bland annat dessa effekter krävs reparationer av betongen/konstruktioner som står i kontakt med vatten. Uppkomsten av dessa typer av skador kan vara belägna både på upp- och nedströms sidan av dammen, samt på bottenplattor, pelare, kanal och dammväggar och även i energiomvandlare. Tidigare studier av Paulsson-Tralla¹⁹ och Sandström²⁰ belyser egenskaper hos injekteringsbetongen som kan öka dess motståndskraft gentemot de ovannämnda nedbrytningsmekanismerna. Av intresse är att studera/utreda lämplighet med att använda injekteringsbetong som reparationsmetod, samt materialets beständighet mot ovannämnda nedbrytningsmekanismer. Denna

¹⁸ Rebetdagen. (2009). Reparationer av marina konstruktioner – Häfte. Rebet, Stockholm 2009.

¹⁹ Paulsson-Tralla, J. (2009). Injekteringsbetong – Resultat från test av inverkan av stenstorlek och packningsgrad på krympning. Projektengagemang i Stockholm AB, Rapport XXXX, (ej publicerad) Stockholm 2009.

²⁰ Sandström, T. (2009). Injekteringsbetong – En litteraturstudie samt ett förslag på fortsatt arbete. Elforskrapport 09:89.

kan möjligtvis uppvisa god beständighet mot erosion pga. dess uppbyggnad med packad ballast. En reducerad mängd cement samt cementpastavolym ökar motståndskraften mot erosion, reducerar materialkostnader och miljöbelastning samt krympningsbenägenheten. En reducerad krympningsbenägenhet minskar risken för sprickbildning. En reducerad risk för sprickbildning ökar, i sin tur, beständigheten mot nedbrytningsmekanismer som: urlakning, frostangrepp och erosion.

En potentiell nackdel med injekteringsbetong är att mikrosprickor eventuellt kan bildas i zonen mellan ballasten och cementmatrisen under hydratation, vilket kan medföra en förhöjd risk för bl.a. frostsprängning. Detta belyser frågan ang. injekteringsbetongens beständighet i, eller i anslutning till, vatten. Ytterligare frågeställningar som behöver utredas rör utförandeprocessen i dessa situationer.

Syfte och Mål:

Syftet med projektet är att studera beständigheten samt lämpligheten med att använda injekteringsbetong vid reparationer i vattenytan samt undervatten. Målet är att studien skall ge ökad kunskap gällande materialets beständighet med avseende på de av miljön påverkande nedbrytningsmekanismerna, samt denna metods lämplighet. Denna kunskap skall bistå valet/utformningen av framtida reparationsinsatser.

Projektbeskrivning:

Av intresse är att utreda beständigheten (enligt ovan) av injekteringsbetong eftersom denna metod kan vara lämplig vid reparationer av skador som är belägna vid samt under vattenytan. För att kunna svara på frågan föreslås två delarbeten:

1. Vid någon i sammanhanget lämplig plats gjuts partier med injekteringsbetong samt parallellt med t.ex. uv-betong och konventionell torrlagd betonggjutning. Detta möjliggör för en relativ jämförelse av dessa samt i relation till varandra med avseende på exponering och åldring/livslängd.
2. Solida samt pågjutna provkroppar bestående av injekteringsbetong av varierad kvalitet exponeras i älvmiljö via en fältexponeringsstation. Detta skall simulera åldring i fält primärt pga. med avseende på urlakning, frostsprängning och vidhäftning. Fältstationer erbjuder också möjligheter till detaljerad loggning av klimatparametrar samt provkroppens temperatur, relativa fuktighet (RF) och töjning, för att studera betongens beteende under inverkan av fältexponering. Åldringskvantifieringen kommer att bestå i att betongen analyseras samt testas i labb. Dessutom kan fältstationen användas till att kombinera labbtester (t.ex. frostsprängning) med fältexponeringar för att kunna transformera labbresultat till observationer gjorda i fältexponering.

Den primära nyttan med en fältstation är storleksinverkan samt tid- och synergieffekter som enbart kan åstadkommas genom exponering i verklig miljö och genom registrering av yttre och inre faktorer.

Vidare ger också provning/exponering via en fältstation (samt kombination av ovanstående) en ökad möjlighet att studera skademekanismer och dess effekter, samt möjligheter att verifiera och utveckla provnings- och analysmetoder. Slutligen är det också möjligt att utvärdera lämpligheten av de studerade reparationsmaterialen samt reparationssystemen.

8. Fältexponering av infästningar och mekaniska konstruktioner i betong

Bakgrund:

De Svenska vattenkraftverken består inte enbart av betong utan det finns en hel del konstruktioner som är fästa i betongen. Några exempel på detta är stegar och annan service utrustning. Dessutom finns det reparationsmetoder som t.ex. geomembran (för att förhindra läckage igenom krackelerade dammväggar) som installeras med hjälp av profiler som förankras i dammens konstruktionsbetong. Det finns även en del gränsskikt mellan betongkonstruktionen och mekanisk utrustning där olika fästansordningar finns. Det är således konstruktioner samt utrustning som uppfyller säkerhets- och servicefunktioner (vilka har stor betydelse för driften) som har sådana infästningar. Hur dessa infästningar påverkas av nedbrytningsmekanismer över tid är inte känt, men viktigt att utreda. En viktig fråga att studera är vad händer med t.ex. en ingjuten bult eller en bult som fästs i ett borrhål, då den exponeras i älvmiljö under påverkan av urlakning och frost. Riskerar bultarna att förlorar sin förankring över tid och om så är fallet går detta att avvärja med en annan konstruktionsutformning eller förankrings metod.

Syfte och Mål:

Syftet med projektet är att studera åldringen av olika infästningar/infästningsmetoder i betong som exponeras i älvmiljö över tid. Målet är att studien skall ge ökad kunskap gällande infästningarnas beständighet med avseende på de av miljön påverkande nedbrytningsmekanismerna. Denna kunskap skall bistå valet/utformningen av framtida infästningar samt reparationer av dessa.

Projektbeskrivning:

Av intresse är att utreda/studera beständigheten/åldringen av olika infästningar/infästningsmetoder i betong (enligt ovan) som exponeras i älvmiljö över tid. För att kunna utreda/studera detta föreslås två delarbeten:

1. En undersökning baserad på litteraturstudier och samtal med dammägare och infästningstillverkare. Detta skall sammanställa och utreda befintlig kunskap samt erfarenhet kring betonginfästningars åldring och livslängd i älvmiljö.
2. Infästningar som förankras eller gjuts in i betongprovkroppar av varierande kvalitet, med eller utan belastning. Dessa exponeras i älvmiljö via en fältexponeringsstation som skall simulera åldring i fält, primärt med avseende på urlakning och frostsprängning samt ev. korrosion. Fältstationen erbjuder också möjlighet till detaljerad loggning av klimatparametrar samt provkroppens temperatur och relativa fuktighet (RF), för att studera betongen samt infästningens

beteende under inverkan av fältexponering och dess nedbrytningsmekanismer. Åldringskvantifieringen kommer att bestå i att infästningarnas draghållfasthet testas i labb, samt att provkroppens betong analyseras. Dessutom kan data från fältstationsexponeringen användas i kombination med labbexponeringstester för att transformera labbresultat till observationer gjorda i fält, t.ex. med avseende på infästningars frostbeständighet.

Den primära nyttan med en fältstation är storleksinverkan samt tid- och synergieffekter som enbart kan åstadkommas genom exponering i verklig miljö och genom registrering av yttre och inre faktorer.

Vidare ger också provning/exponering via en fältstation en ökad möjlighet att studera skademekanismer och dess effekter, samt möjligheter att verifiera och utveckla provnings- och analysmetoder. Slutligen är det också möjligt att utvärdera lämpligheten av olika infästningstyper.

9. Långtidseffekter av återställning efter provtagning i betongkonstruktioner

Bakgrund:

En konstruktion av betong bör ha stor förmåga att kunna motstå det klimat och den miljö som den har dimensionerats för om konstruktionen tillåts att vara intakt. Men en del konstruktioner utsätts för åverkan redan kort tid efter att de har uppförts. Denna åverkan består av provtagning för att dels verifiera ett korrekt utförande och dels för kontroll av att betongen har erhållit de mekaniska egenskaper den är avsedd att ha. Konstruktionen kan även vid senare tillfälle utsättas för åverkan genom provtagning för tillståndsbedömning eller kartering av observerade skador. Provtagningen i de olika fallen består oftast i uttag av borrhärlor på olika platser i konstruktionen. Den exakta placeringen av borrhärlorna brukar vara anpassad för att undvika att armeringen skadas. Borrhärlorna kan tas från både konstruktionsdelar i torrhet, men även från delar belägna under vatten och då exempelvis från en nyligen utförd undervattensgjutning. Efter utförd provning av konstruktionen brukar borrhärlan vanligtvis återställas med någon form av lagningsbruk som fyller upp hålet. Misstanke föreligger om att denna lagning kan bli innebära en lokal svaghet i en i övrigt fungerande konstruktion.

Lika viktigt som att projektera vilken betongkvalitet den ursprungliga konstruktionen ska bestå av är det att välja rätt lagningsbruk för ifyllnad av borrhål. Enbart rätt val av lagningsbruk är inte tillräckligt då även utförandet måste vägas in i utvärderingen av vald metod.

Ett sämre val av lagningsbruk eller en dåligt utförd ifyllning kan innebära att området kring borrhålet öppnas upp för framtida angrepp i form av sprickbildning, urlakning, frostsprängning, armeringskorrosion eller en kombination av två eller flera av de nämnda nedbrytningsmekanismerna.

Syfte och Mål:

Syftet med projektet är att studera hur lagningar av borrhål efter uttag av borrhärlor i vattenkraftsmiljö beter sig i ett långtidsperspektiv med avseende på åldring av lagningen, samt åldring av omgivande betong. Det bör utredas vilken inverkan valet av olika lagningsmetoder, lagningsbruk, kvalitet på utförande eller en kombination av samtliga har. Målet är att projektet ska leda till ökad kunskap om hur en lagning med omgivande betong uppför sig i ett långtidsperspektiv med avseende på beständighet. Denna kunskap ska förhoppningsvis kunna leda till bättre motiverade val av framtida metoder och material för lagning av borrhål efter provtagning i betongkonstruktioner.

Projektbeskrivning:

Genom att exponera provkroppar preparerade med lagningar efter borrhål vid en fältstation i älvmiljö ges en förbättrad möjlighet att studera de åldringsfenomen som kan uppstå i eller runtomkring lagningen. Möjligheten att utveckla nya provnings- och analysmetoder kommer också att ges.

Genom att preparera borrhål med olika lagningsbruk med varierande utförandekvalitet kan effekter i form av exempelvis varierande urlakning och frostbeständighet studeras. En utförd lagning kan också medföra sprickbildning till följd av krympning i materialet och denna sprickbildning blir en språngbräda in i konstruktion för exempelvis tidigare nämnda nedbrytningsmekanismer.

Provning av olika lagningar på en fältstation i älvmiljö kommer att medföra att provningen sker under naturliga förhållanden med årligt varierande temperaturer och fuktnivåer, samt att effekter av naturliga synergieffekter som inte kan återskapas i en artificiell miljö kan studeras. Provningen kommer att utvärderas över tiden genom att kontinuerligt mäta temperatur, relativ fuktighet och rörelser i betongen. Den kontinuerliga mätningen kommer att kompletteras med oförstörande provningsmetoder för att kartlägga eventuella inre förändringar av provkroppens hållfasthet. Vid behov kommer även borrhärnor att kunna tas ut från provkropparna för att prova de mekaniska egenskaperna och mäta fuktinnehållet i betongen över tiden.

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