

FÄLTSTATION FÖR LÅNGTIDS- PROVNING I ÄLVMILJÖ

RAPPORT 2016:252



BETONGTEKNISKT PROGRAM
VATTENKRAFT



Fältstation för långtidsprovning i älvmiljö

Lägesrapport 2016

MIKAEL OXFALL

ISBN 978-91-7673-252-6 | © 2016 ENERGIFORSK

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

Förord

Kunskap om hur material och tekniska lösningar inom betongområdet åldras på lång sikt är starkt efterfrågad, men tar tid att bygga upp. Vattenfall R&D har med hjälp av resurser från Betongtekniskt program vattenkraft byggt upp en fältstation för verklig långtidsexponering i älvmiljö vid Dalälvens strand.

Tre tester pågår för närvarande i fältstationen kring pågjutning, fogband respektive alkali-kiselsyrareaktionen, AKR. Testerna påbörjades för två till tre år sedan och denna rapport utgör en lägesrapport, resultat väntas komma först efter 5-10 års exponering.

Projektet har genomförts av Mikael Oxfall från Vattenfall R&D inom Energiforsk Betongtekniskt program vattenkraft. Programmets intressenter är Fortum Generation AB, Jämtkraft AB, Jönköping Energi AB, Karlstads Energi AB, Skellefteå Kraft AB, Sollefteåforsens AB, Statkraft Sverige AB, Sydkraft Hydropower, Vattenfall AB Vattenkraft, Vattenfall Indalsälven AB.

Sammanfattning

I och med uppstart av fältstationen som arena för långtidsprovning av material och tekniska lösningar relevanta för vattenkraften har flera avvikelser uppkommit gällande allt från rutiner till tekniska komplikationer i projekt och för själva stationen. Konsekvensen av uppkomna problem har primärt medfört vissa förseningar i projekt.

Totalt pågick tre projekt vid fältstationen vid slutet av 2015, Pågjutningsprojekt, Fogbandsprojekt och AKR-projekt. Samtliga projekt är i ett tidigt skede varav inga analyser vad gäller långtidseffekter är möjliga vid denna lägesrapport. Långtidsexponering kräver minst 5-10 års exponering.

Pågjutningsprojektet är inne på det tredje året av exponering och en andra provkropp för analys är planerad till Hösten 2016. Vid framtagning av provkropparna till projektet uppstod en avvikelse vad gäller betongkvalitet. I en förstudie provades ett recept med egenskaper enligt önskad specifikation. Vid senare skarp gjutning erhöles en avsevärt högre lufthalt, nära dubbelt den som eftersökts. Konsekvensen av icke önskad kvalitet på pågjutningen är inte helt kartlagd och en ny diskussion om projektet skall fortsätta eller ej kommer göras i samband med 2016 års mätningar.

Fogbandsprojektet har pågått sedan hösten 2014 och en första analys av de mindre provkropparna är planerade till hösten 2016, vilket motsvarar ett års exponering i inomhusmiljö samt ett år i älvsmiljö. Parallellt med studien vid fältstationen har en studie på samma sorts fogband gjorts av Swerea KIMAB "Provning och analys av nya och äldre fogband - Fogband bestående av PVC och/eller Elastomer". Resultat från deras studie kommer att användas som referens. Den första stora provkroppen vilka, fram till och med 2016, legat i Dalälven under två år, kommer först tas upp efter fem års exponering (2019), såvida inga tydliga förändringar har skett av de mindre provkropparna med avseende på bl.a. försprödning.

AKR-projektet har pågått sedan hösten 2014 och provkropparna har genomgått en initial studie i vilken åtta provkroppar har testats i enlighet med RILEM AAR-3/ASTM C1293 och resterande 32 har exponerats i 20 °C och ett RF över 90 procent. Hälften av provkropparna bestod av 35 % reaktiv ballast (kvartsit) och resterande var av icke reaktiv ballast från Gävle trakten. Efter det första året har sedan 24 av dessa provkroppar, uppdelat på grupper om åtta, påbörjat exponering i; 20 °C nedsänkta i vatten; utomhusklimat och ett RF över 90 procent; naturlig vattentemperatur nedsänkt vid fältstationen. Övriga 16 provkroppar är fortsatt exponerade för ursprungliga förhållanden, åtta enligt RILEM AAR-3/ASTM C1293 och åtta i 20 °C och ett RF över 90 procent. Mätningarna kommer att fortsätta med halvårsintervall tills dess att tydliga trender kan påvisas. I dagsläget kan endast konstateras att den reaktiva ballasten, bestående av 35 procent kvartsit från Jämtland, medför en AKR reaktion och en expansion över de gränsvärden som nämns i ASTM 1293.

Summary

Long term exposure of concrete and building components has been initiated at a station for long term exposure. Since the launch of the station has several deviations occurred, both with regards to ongoing projects as well as the station and routines. The consequences from these deviations have however mainly resulted in delays in projects.

Three projects were active, as on 2015, at the station for long term exposure; Moisture effects in overlay concrete, aging of joints in concrete, potential low and medium ASR in environments relevant for hydro power stations. The three projects are all in an early state with an environmental exposal of only a couple of years, thus no analysis of the obtained results is included in this report. The long term exposure tests require at least a minimum of 5-10 years.

The project that studies the concretes overlay moisture conditions has been active for three years and is the oldest project at the station. The second analysis of specimens from the study is planned to be executed during autumn 2016. During the initial phase of the project did several deviations occur regarding the quality of the concrete specimens. The quality achieved in a pre-study compiled with the desired requirements but the same quality was not achieved for the test specimens. The deviation could be linked to an air entrainment in the concrete that was twice as high as planned. All consequences from the faulty specimens have not yet been evaluated and a new decision regarding the future of the project is expected based on the results from the second analysed specimen that is planned for in 2016.

The work regarding aging of joints in concrete started in 2014 and the first analysis of smaller test specimens is planned for autumn of 2016, which represent one year exposure indoors and one year at the station. A second study with regards to aging of joints has been executed by Swerea KIMAB which focused on PVC and Elastomer joints. The results from that study will be used as comparison because similar joints have been used in both studies. As a second part of the project at the station for long term exposure has larger specimens been installed. The specimens were installed in 2014 and the first destructive testing of the specimens will be done earliest 2019, if not the results from the smaller specimens show an indication of aging of the joints.

The ASR study started with an initial step in 2014 where a total of eight specimens were exposed in accordance to the accelerated methods RILEM AAR-3/ASTM 1293. At the same time was 32 similar specimens exposed in a lower temperature, 20 °C and a relative humidity over 90 %. Half of the specimens in the accelerated method as well as those in 20 °C were prepared with 35 % reactive aggregates (Calcite) and the remaining specimens had non-reactive aggregates. Twenty-four of the 32 specimens that was exposed in 20 °C were reorganised and exposed for three new conditions after one year. The new conditions were: outdoor temperature and an RH over 90 %, submerged in the river at the station for field studies and submerged in 20 °C water. The remaining 16 specimens were kept in their initial conditions. Continuous measurements have been done during the first year of exposure and measurements will continue every six-month until clear trends can be observed. The results from the initial part of the study only shows that the specimens that contain reactive aggregates and was exposed in accordance to the accelerated method show a clear expansion that exceeded the limits stated for identification of reactive aggregate as presented in ASTM 1293.

Innehåll

1	Inledning	9
1.1	Bakgrund	9
1.2	Syfte och mål	10
2	Fältstationen	11
3	Pågående projekt	15
3.1	Fukttransport i betong med pågjutning	15
3.1.1	Avvikelse och förändringar av projektbeskrivning	16
3.1.2	Provkroppar	17
3.1.3	Kontinuerlig mätning: Resultat	19
3.1.4	Provtillfälle 1: Ett års exponering.	21
3.1.5	Fortsatt provning	23
3.2	Fältexponering av fogband	23
3.2.1	Avvikelse och förändringar av projektbeskrivning	25
3.2.2	Provkroppar och genomförande	26
3.2.3	Utförda analyser	36
3.2.4	Fortsatt provning	36
3.3	Exponering av provkroppar med låg samt mellanreaktiv ballast (AKR)	37
3.3.1	Avvikelse och förändringar i projektbeskrivning	38
3.3.2	Metod och provkroppar	39
3.3.3	Resultat etapp 1: ett års exponering	45
3.3.4	Fortsatt provning	51

1 Inledning

Hur en konstruktion åldras över tid beror på dess komponenters sammansättning, hur konstruktionsdelar har varit dimensionerade och i vilken miljö komponenterna exponeras. För att kunna göra en god prediktion av en ny komponents livslängd eller för att kunna bedöma en gammal komponents kvarvarande livslängd behövs goda kunskaper om vilka processer som påverkar konstruktionen. Dessa processer kan vara allt från de laster som verkar på en konstruktion, hur en detaljlösning verkligen fungerar i praktiken samt vilka nedbrytningsprocesser som verkar på de ingående materialen samt eventuella synergieffekter.

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 bedöms livslängden på vattenkraftsbranschens betonganläggningar till mellan 50- 160 år¹. 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.

Vid dimensionering av en konstruktion utgår man vanligen från normer och standarder vilka baseras på erfarenheter och vetenskapliga upptäckter. I de flesta fallen ger denna approach en god grund för att en konstruktion skall klara den avsedda livslängden. Det finns däremot ett antal frågor som inte till en tillfredställande nivå kan bestämmas med de modeller och provningsmetoder (oftast accelererade) som står till buds. Med anledning av detta uppförde Vattenfall AB, på uppdrag av Energiforsk, 2013 en fältstation för långtidsprovning av betongkomponenter eller konstruktionsdetaljer i älv-miljö. Investeringen grundades på två tidigare förstudier^{2,3}. Fältstationen placerades i Dalälven vid Vattenfall laboratoriet i Älvkarleby.

1.1 BAKGRUND

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

¹ Bernstone, C (1998), Kunskapsåterföring på betongområdet från amerikanska REMR-programmet, Elforsk-rapport 09:72

² Hejll, A., Hassanzadeh, M., Sandström, T. (2009), Station för fältexponering av material och reparationssystem för betongkonstruktioner - Förstudie, Elforsk-rapport 09:72

³ Persson, M., Rosenqvist, M., Stojanović, B. (2010). Projektering av fältstation för långtids-exponering av betongprover i älvmiljö – Tester i Nordiska förhållanden, Elforsk-rapport 10:73.

fogar är av betydelse. Samtliga projekt vid fältstationen är avsedda för långtidsprovning då ett tidspann på minst 5-10 år är nödvändigt.

Arbetet med fältstationen vid laboratoriet i Älvkarleby har utförts av ett flertal personer. Arbetet har omfattat projektering, projektförslag, förstudier, genomförande. Aktiva med arbetet vid Vattenfall kring Fältstationen, och de pågående projekten, sedan iden om en fältstation först presenterades är:

Arvid Hejll	Manouchehr Hassanzadeh
Bojan Stojanovic	Martin Rosenqvist
Daniel Hallberg	Mikael Oxfall
Kristina Lundin	Thomas Sandström
Lars-Elof Bryne	

Sedan fältstationen togs i drift har tre projekt startats:

- Fukttransport i betong med pågjutning: Start 2013-10-14
- Fältexponering av fogband: Start 2014-12-18
- Exponering av provkroppar med låg samt medelreaktiv ballast, AKR: Start 2014-11-19

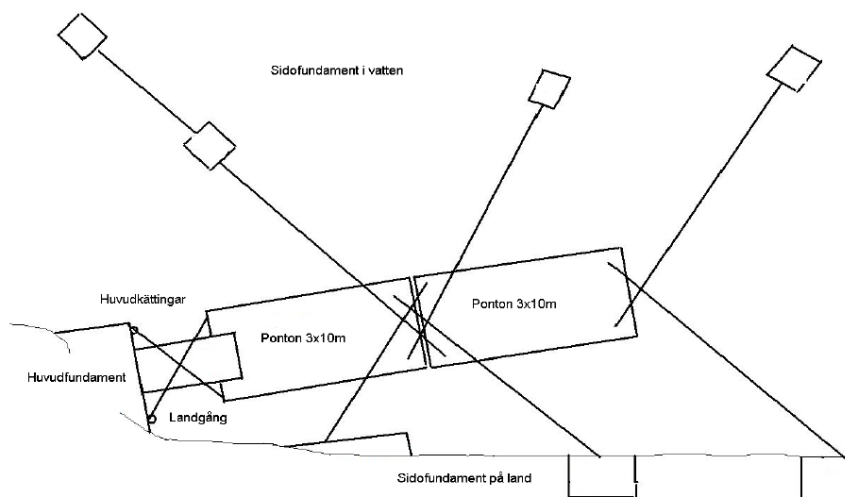
1.2 SYFTE OCH MÅL

Rapportens syfte är att fungera som en lägesrapport för de olika försök som pågår på fältstationen.

Rapporten kommer att beskriva projekten i korthet samt presentera erfarenheter, avvikelser och detaljer från framtagandet av provkroppar och metod, erfarenheter från installationen, erhållna resultat fram till och med 2015 samt plan för framtid.

2 Fältstationen

Uppförandet av fältstationen vid laboratoriet i Älvkarleby startade september 2011 då de landfundament som skall hålla konstruktionen på plats göts. Fältstationen består av två stycken betongpontoner, vardera tio meter långa och tre meter bred. Sjösättningen av fältstationen gjorde under december 2011. Fältstationen är försedd med system för att fästa provkroppar längs med pontonernas långsidor samt är utrustad med en datainsamlingsstation samt utrustning för insamling av relevant klimatdata. I Fig. 2.1 visas fältstationens förankringssystem samt dess orientering i älven där vattnet strömmar från vänster till höger (söder till norr). Figur 2.2 visar fältstationen sedd från land 2015, inklusive infästning för provkroppar, säkerhetsutrustning, datainsamlingscentral, samt provkroppar från pågående försök.



Figur 2-1 Fältstationens utformning, förankringssystem och orientering. Flödesriktningen för Dalälven är från vänster till höger.



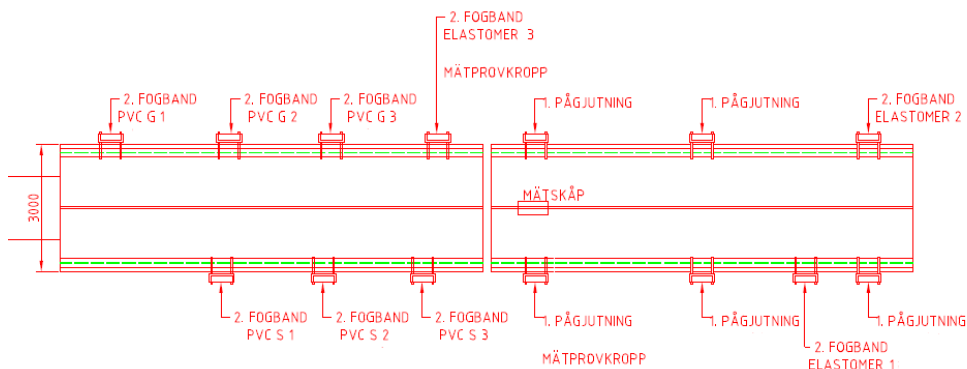
Figur 2-2 Fältstationen vid Älvkarleby laboratoriet Mars 2016.

Under den första vintern inträffade flera incidenter med avseende på islasternas inverkan på pontonerna. Vid reglering av vattenytans nivå medförde denna uppsprickning och återfrysning av isen. Fenomenet resulterade i en ackumulering av is mellan land och ponton med resultat att en kedja till huvudfundamentet gick av. Händelsen medförde inte någon risk för att fältstationen skulle lossna och följa med strömmen då den är dimensionerad att med endast en kedja till huvudfundamentet klara den vid dimensionering högsta tänkbara lasten. Utöver detta var övriga land och sjöfundament fortsatt i gott skick. Händelsen medförde dock kunskap om de laster som senare kunde förväntas påverka provkropparna. Med anledning av detta införskaffades två vattenströmbildare, Kasco De-icer, vilka installerades på stationen med syfte att minska istillväxten och islasterna. Isreduktionen skulle uppstå genom att skapa en större vattenström mellan land och ponton. Systemet kunde först testas ett år senare vid nästa vinter. Det bedömdes under den andra vintern att ytterligare en vattenströmbildare behövdes och isförsvagning vid huvudfundamentet prioriterades. En tredje vattenströmbildare installerades under 2013. I och med uppdateringarna av stationen bedömdes att de första provkropparna kunde installeras först under 2013.

Under perioden 2013-2014 påbörjades tre fältexponeringsförsök vid fältstationen i Älvkarleby. Samtliga tre projekt baserades på projektförslag tidigare presenterat i projekteringsrapporten för fältstationen⁴. De tre projekten presenteras var och en för sig i kapitel 3, med undersektioner. Bakgrund och beskrivningarna baseras på projektförslagen.

Figur 2.3 illustrerar fältstationsns layout inklusive placering av provkropparna till projekt fogband och pågjutning.

⁴ Persson, M., Rosenqvist, M., Stojanović, B. (2010). Projektering av fältstation för långtids-exponering av betongprover i älvmiljö – Tester i Nordiska förhållanden, Elforsk rapport 10:73.



Figur 2-3 Layout fältstation, huvudfundamentet är placerat till vänster i figuren och stationens totala längd är 20 meter (2*10 m).

För att kontrollera det omkringliggande klimatet monterades två termoelement på fältstationen. Termoelementen användes för att mäta temperaturvariationerna i luften någon meter upp från vattenytan samt nära vattenytan, Fig. 2.4. Utöver termoelement finns RH givare och pH givare att tillgå vid behov.



Fig. 2.4 Uppställning för temperaturmätning vid fältstationen.

Samtliga temperaturmätningar var medeltemperatur för varje halv timme. I Fig. 2.5 presenteras den uppmätta temperaturen mellan november 2014 till december 2015. Det första årets klimat mättes ej på grund av problem med mätutrustning.

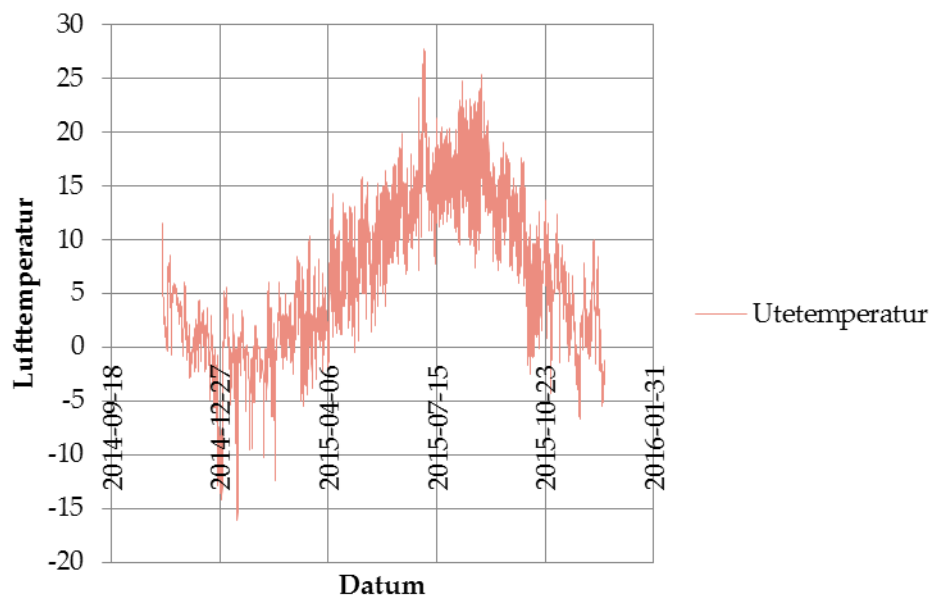


Fig. 2.5 Lufttemperatur vid fältstationen mellan november 2014 och december 2015. Varje mätning motsvarar medeltemperaturen under en halvtimme.

3 Pågående projekt

Detta kapitel innehåller en genomgång av de projekt som var aktiva på fältstationen i slutet av 2015. För varje projekt beskrivs bakgrund, ursprunglig projektbeskrivning, avvikelser och avsteg från ursprunglig projektbeskrivning, preliminära resultat och fortsatta studier. Bakgrund och projektbeskrivningen baseras på vardera projektförslag.

3.1 FUKTTRANSPORT I BETONG MED PÅGJUTNING

Bakgrund:

I en tidigare genomförd studie⁵ 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 studie⁶ 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 bärlighet/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 examensarbete⁷ påvisades det, utan att utreda de exakta orsakerna, att fukttinnehållet 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 fukttinnehåll och fukttransport under inverkan av temperaturväxlingar mellan plusgrader och minusgrader kommer att undersökas i ett doktorandprojekt delvis finansierat av Elforsk.

⁵ Björkenstam, E. (1999). Inventering av betongreparationer utförda på svenska vattenkraftanläggningar, Elforsk-rapport 99:28.

⁶ Sandström, T. (2008). Skador och reparationsmetoder, Elforsk-rapport 08:65.

⁷ Persson, M., Rosenqvist, M. (2009). Frostsprängning i betongdammar – Inverkan av frostsprängning till uppkomna skador vid vattenlinjen hos betong i vattenkraftverk. Examensarbete – Civ 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 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. Provningsenheten 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 borrkärnor att kunna tas ut från provkropparna för att prova de mekaniska egenskaperna och mäta fukttäthet 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 fukttäthet och fukttransport.

3.1.1 Avvikelse och förändringar av projektbeskrivning

Med avseende på fältstationens fysiska begränsningar och då den kontinuerliga provningen kräver att en provkropp togs upp för oförstörande provning kunde enbart en typ av pågjutning studeras inom ramen för projektet. Under förarbetet valdes vidare att inte mäta den relativa fuktigheten i betong kontinuerligt. Detta valdes då det bedömdes svårt att med säkerhet säkerställa att inget läckage av vatten in till givaren skulle förekomma. Det bedömdes att enbart vattenmättnadsgradsmätningar över konstruktionens djup var tillräcklig för att kunna bedöma eventuella variationer i konstruktionen över tid. Vidare var inga oförstörande provningsmetoder identifierade och bedömda som lämpliga att göra i samband med att projektet startades. Kompletterande oförstörande provningar kan adderas med tiden.

Under förstudien togs ett recept fram som skulle motsvara en faktisk lagning som gjorts vid en av de Svenska vattenkraftanläggningarna. Förstudien visade på goda resultat och tillfredställande vidhäftning till försöksprovkropparna, god tryckhållfasthet och god överensstämmelse med verklig konstruktion. Vid tillverkning av de faktiska provkropparna uppkom dock en avvikelse då den uppmätta lufthalten var nära dubbelt så stor som önskat. Utförarna valde dock att fortsätta och färdigställa provkropparna. Vid tryckhållfasthetsprovningsenheten efter 28 dagar senare erhöles enbart halva den hållfasthet som var önskad, ca 20 MPa kontra 46 MPa i enlighet med

förstudien. Det valdes dock att fortsätta med ursprunglig plan. Den stora reduktionen av tryckhållfasthet bedömds komma från den höga luftinblandningen. Tre månader efter gjutning installerades provkropparna på fältstationen. Exakt vilken inverkan detta har på projektet huvudsyfte är inte fastställt men provning fortgår men omprövas vid varje provningstillfälle.

3.1.2 Provkroppar

Provkropparnas utformning

Provkropparna utformades efter rekommendationerna i Elforsk-rapport 10:73⁸, men med något modifierade mått. Provkropparnas storlek är, 1,0x0,5x0,15 m³.

Provkropparna består av befintliga betongskivor som förvarats inomhus, periodvis under vatten, under de senaste 15-20 åren. Provprokropparna var initialt konstruerad för en pågjutning och var förberedda med en yta likt en yta efter vattenbilning, frilagd ren ballast. Varje betongskiva förbereddes med form för en pågjutning som skulle vara ca 50 mm tjock, se Fig. 3.1.



Fig. 3.1 Provkropp i gjutform innan pågjutning

Pågjutning

Betongen som användes som pågjutning motsvarar en anläggningsbetong som har använts vid lagning av befintlig betong på vattenkraftstationer. I en förstudie testades det tilltänkta receptet vilket erhöll god överensstämmelse med referenser i verkligheten. Förstudien erhöll en pågjutning med en tryckhållfasthet på 46 MPa och en vidhäftning på 2,5-3 MPa. De krav som var satta för pågjutningens betong presenteras i tabell 3.1. Resultat från provgjutning presenteras i tabell 3.2 och resultat från provkroppspgjutning i tabell 3.3.

Tabell 3.1 Önskade egenskaper på pågjutningens betong

vct.max	0.54
Luft	5 %
Bindemedelshalt	360 kg/m ³
Sättnått	100-150 mm

Tabell 3.2 Erhållna egenskaper från förstudie

vct	0.54
Luft	4.3 %

⁸ Persson, M., Rosenqvist, M., Stojanović, B. (2010). Projektering av fältstation för långtids-exponering av betongprover i älvmiljö – Tester i Nordiska förhållanden, Elforsk-rapport 10:73.

Bindemedelshalt	360 kg/m ³
Sättnmätt	150 mm
Tryckhållfasthet 28 dygn	46.6 MPa

Tabell 3.1 Erhållna egenskaper från gjutning av provkroppar.

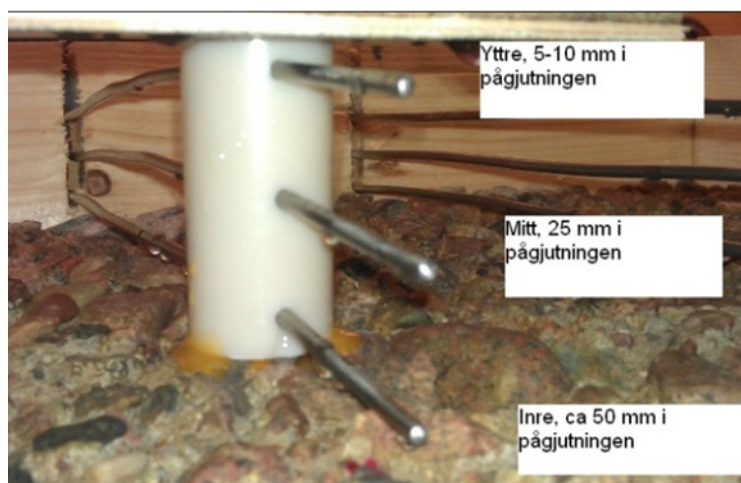
vct	0.43	0.46	0.49
Luft	7.1 %	9.9 %	9.1 %
Bindemedelshalt	360 kg/m ³	360 kg/m ³	360 kg/m ³
Sättnmätt	140 mm	120 mm	135 mm
Tryckhållfasthet 28 dygn	23.5 MPa	22 MPa	19 MPa

Avvikelsen från den planerade pågjutningen berodde på att man vid gjuttillfället valde att anpassa vattenmängden för att erhålla önskat sättnmätt, detta istället för flytmedel. Detta resulterade i att lufthalten blev högre än önskat vilket ledde till en kraftigt reducerad tryckhållfasthet i förhållande till förstudiens resultat, trots ett lägre vct. Effekterna från denna avvikelse torde bli att de mekaniska egenskaperna ej kommer motsvara verkliga förhållanden. Långtidseffekter kommer dock kunna studeras i enlighet med projektbeskrivningen med avseende på fuktförändringar i provkroppen över tid samt relativa förändringar i pågjutningen i förhållande till bakomliggande betong.

Kontinuerlig mätning

För att utvärdera klimatinitierade variationer i provkropparna med pågjutning, installerades totalt nio termoelement i en av de sex provkroppar som installerades på fältstationen. De nio termoelementen är placerade på olika höjd och djup i pågjutningen och medelvärde för varje halvtimme registreras. Termoelementen, TC typ T SS 310 med isolerad ledare, fästes i PVC rör som limmades på betongen, se Fig. 3.2. På grund av låg värmeledningsförmåga hos plast torde mätuppställningens utformning ej påverka mätresultaten.

Termoelementen placerades 250, 500 och 750 mm från provkroppens ovansida. I varje nivå placerades tre termoelement, där en givare var diktan med den pågjutna provkroppen, givare nr två var i pågjutningens mitt och den sista, 5-10 mm från ytan.

**Fig. 3.2.** Termoelementens placering

Tätning och isolering

För att skapa en enkelsidig vattenexponering tätades provkroppen på alla sidor utom sidan med pågjutning. Först förseglades provkroppen med tre skikt av tätmassan Weber Tec SuperFlex D2. Därpå lades ett fjärde lager med tätskikt, i det skiktet fästes 100 mm XPS. Tätmassan som valdes är ett frostbeständigt två komponentstätskikt som vanligtvis används till balkonger, storkök, bassänger, terrasser och offentliga våtutrymmen. Figur 3.3–3.5 visar monteringsproceduren för provkropparna.



Fig. 3.3. Provkropp med tätmassan



Fig. 3.4. Påbörjat montage av cellplast

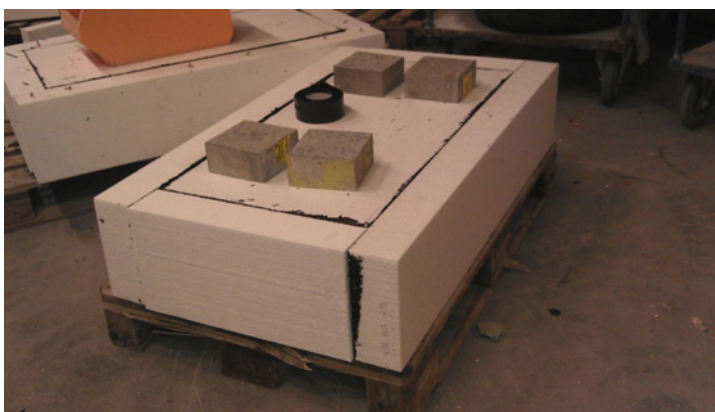


Fig. 3.5. Färdig provkropp

Cellplast användes för att jämna ut eventuella temperaturvariationer i pågjutningen för att återskapa dagliga variationer i betongen.

3.1.3 Kontinuerlig mätning: Resultat

En av de sex provkropparna som installerades 2013 innehöll totalt nio termoelement avsedda för att mäta temperauren i pågjutningen på olika nivåer i förhållande till vattenlinjen och på olika djup i pågjutningen. Provkroppen installerades på fältstationen 2013 men mätningarna startades inte förrän ett år senare, den 5 november 2014. Samtliga mätresultat presenteras i Fig. 3.6. Generellt var temperaturgradienten liten över pågjutning. I medel för mätningarna från botten och mitten av provkroppen var temperaturdifferensen plus/minus någon tiondels grad mellan den inre och yttre mätningen. Störst variation påvisades vid vattenytan där skillnaden mellan ytan och fogen kunde variera över en grad mellan dag och natt. Figur 3.7 visar uppmätt differens mellan ytan och den innersta mätningen för givarna placerade vid vattenlinjen (Toppen). Generellt var temperaturvariationerna mindre under vattenytan, vilket tydligt framgår i Fig. 3.8 som visar temperaturdifferensen 500 mm (Botten) under vattenytan.

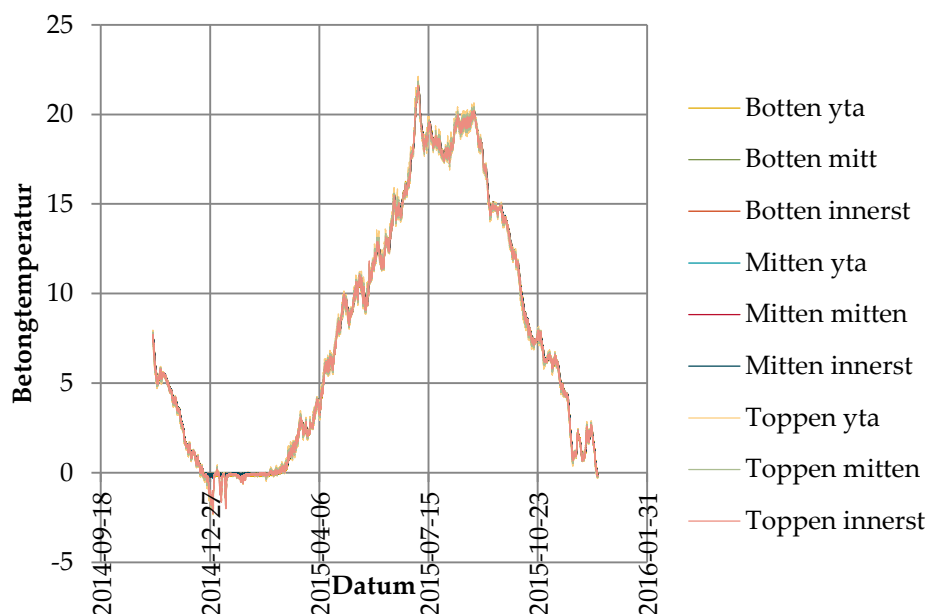


Fig. 3.6. Temperaturmätningar i pågjutningen på tre olika djup i betongen och vid tre olika nivåer med avseende på provkroppens förhållande till vattenlinjen. I figuren motsvarar Toppen vattenlinjen och botten 500 mm under vattenlinjen. Varje mätpunkt motsvarar medeltemperaturen under en halvtimme.

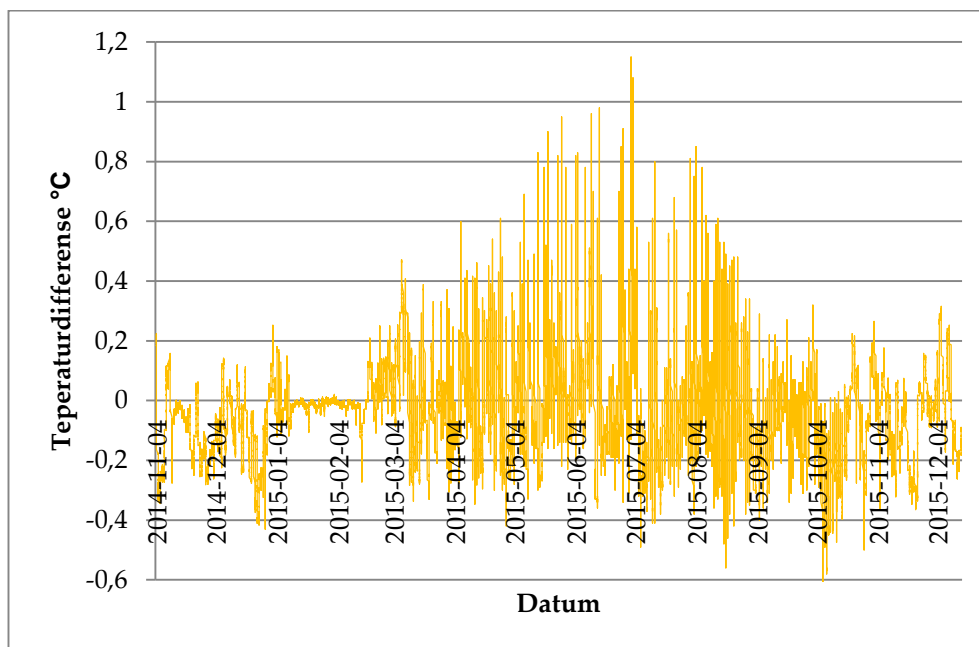


Fig. 3.7. Temperaturdifferens mellan yta och den innersta mätnivån i pågjutningen 250 mm från provkroppens topp i höjd med vattenytan (Toppen). Varje mätning motsvarar en halvtimmesmedel.

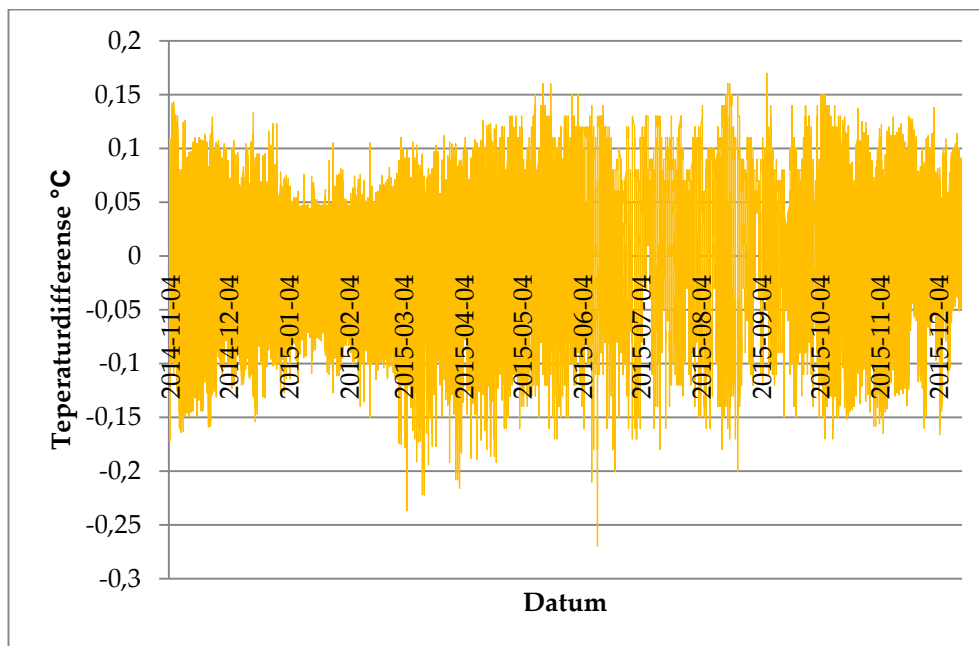


Fig. 3.8. Temperaturdifferens mellan yta och den innersta mättnivån i pågjutningen 750 mm från provkroppens topp en halv meter under vattenytan (Botten). Varje mätning motsvarar halvtimmessmedel.

3.1.4 Provtillfälle 1: Ett års exponering.

För att utvärdera långtidseffekter av exponering av provkropparna planeras att en provkropp tas upp åt gången under en längre tidsperiod. Provningsplanen medför att en provkropp plockas upp efter: 1, 3, 5, 10 och 15 år av exponering. Vid varje tillfälle testas vidhäftningen, bomknackning och fuktprofilen bestäms med avseende på vattenmättnadsgrad. Utöver detta tas en skiva ut där fogzonen kan studeras okulärt.

Den 14 oktober 2013 installerades samtliga sex provkroppar på fältstationen. Ett år senare, den 4 november 2014, plockades en av provkropparna upp. Provkroppen som valdes hade under det gångna året förlorat sin cellplast, dock hade inte tätmassan lossnat. Den förlorade cellplasten bedömdes inte påverka provkroppen signifikant.

Provkroppen lyftes upp med kran och fraktades direkt till betonglaboratoriet i Älvkarleby. Figur 3.9. visar provkroppen vid upptagningstillfället. I figurerna framgår tydligt vart vattenlinjen varit för provkroppen.



Fig. 3.9. Provkropp direkt efter upptagning.

Totalt plockades tre borrhärlor ut för att bestämma fuktprofilen, tre vidhäftningsprover togs samt en provkroppsskiva för okulär inspektion sågades. Vidhäftningen gjordes på plats av certifierad personal i enlighet med SS-137243. Resultaten från vidhäftningen presenteras i tabell 3.4.

Tabell 3.4. Uppmätta vidfästning. Mätningar utförda i enlighet med SS 137243

Provkropp	Topp	Mitt	Botten
Vidhållfasthet	1.263 MPa	1.062 MPa	1.037 MPa

Kärnorna för fuktprofilsbestämning tog från motsvarande djup som termoelementen var installerade, 250, 500 och 750 mm från toppen; där 250 mm motsvarar i vattenlinjen. Vattenmättnadsgraden skulle bestämmas genom vacuummättnadsprovning men på grund av komplikationer har dessa prover ej till dags datum analyserats. I samband med provuttagning kunde dessutom endast sex av nio provbitar erhållas, detta då den planerade metoden för att ta ut prover med hjälp av huggmejsel och slägga ej var möjlig då endast små flisor erhöles. För den tredje provkroppen bestämdes det på plats att proven skulle sågas ut genom torrsågning. Det bedömdes att uttorkning på grund av upphettning vid sågningen var liten. Provkropparna har sedan 2014 förvarats i en försluten exsickator med koldioxidabsorbent. I tabell 3.5 erhålls vikten på provkropparna för fuktmätning samt en beskrivning av metod för urtagning av provbitar.

Tabell 3.5. Provkroppar för fuktprofilsbestämning

Provkropp	1.1	1.2	2.1	3.1	3.2	3.3
Vikt	60 g	224 g	255 g	86 g	125 g	103 g
Metod	Huggmejsel	Huggmejsel	Huggmejsel	Torrsågning Diamant- klinga	Torrsågning Diamant- klinga	Torrsågning Diamant- klinga

Från mitten av provkroppen togs en skiva för okulär inspektion. Inspektionen visade en god gjutfog då ingen gjuthud eller någon synlig spricka kunde urskiljas. Dessa resultat överensstämmer med resultaten på vidhäftningen och bomknackning, till trots de relativt låga värdena som erhöles. I samband med inspektionen valdes att inte skicka några prover för vidare analys. Det beslutades att om skillnader uppvisas över en provkropp i framtiden skall dessa skickas för tunnslipsanalys för att visualisera eventuella skillnader.

Figur 3.10 visar den upptagna provkroppen efter att samtliga prover hade tagits ut. Den urtagna skivan plastades in med PE-plast. Provkroppen förvaras sedan dess i kontrosmiljö för eventuell framtida analys.



Fig. 3.10. Provkropp 1 från pågjutningsförsöket vid fältstationen efter ett års exponering.

3.1.5 Fortsatt provning

Nästa provningstillfälle för provgjutningsprojektet är under 2016, vilket motsvarar 3 års exponering. Provningsen kommer ske under hösten 2016 och kommer innefatta: vidhäftning, fuktprofil samt okulärinspektion och eventuell tunnslipsanalys. Efterföljande provning är planerad till 2018 vilket då motsvarar 5 års exponering. Konsekvensen av icke önskad kvalitet på pågjutningen är inte helt kartlagt och en ny diskussion om projektet skall fortsätta eller ej kommer göras i samband med mätningarna 2016. Avvikelsen i kvalitet tros bero på den höga lufthalt, ca 10 % istället för ca 5 %. En hög lufthalt har en direkt negativ inverkan på mekaniska egenskaper

3.2 FÄLTEXPONERING AV FOGBAND

Bakgrund:

I tidigare studier: Fogar och fogreparationer⁹, Reparationer av dilatationsfogar i dammkonstruktioner¹⁰, och Projektering av fältstation för långtidsexponering av betongprover i älvmiljö – Tester i Nordiska förhållanden¹¹ har fogar och fogband studerats/utretts, vilket ligger till grund för detta projektförslag.

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.

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 10:74

¹¹ Persson, M., Rosenqvist, M., Stojanović, B. (2010). Projektering av fältstation för långtids-exponering av betongprover i älvmiljö – Tester i Nordiska förhållanden. Elforsk-rapport 10:73.

- Dålig betong i fogområdet pga. gjutningsförfarandet. Betongen vid fogbandet blir setenfattig 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 förspödar 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 försvårar dess åtkomlighet (därav även inspektion). Därutöver 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, vilket exemplifieras i rapporterna av Thorsell¹² och Stojanović¹³.

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 studien 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.

¹² Thorsell, P-E. (2004). Fogar och fogreparationer. Elforsk rapport 04:23.

¹³ Stojanović, B. (2010). Reparationer av dilatationsfogar i dammkonstruktioner – En sammanställning av kunskaper och insatser. Elforsk rapport 10:74.

För att kunna studera samt utvärdera åldring och prestandaförsämring av dilatationsfogar (PVC- och plåtband) och dess reparationer, föreslås att betongprovkroppar av varierad betongkvalitet (med inhysta fogband) exponeras i älvmiljö via en fältexponeringsstation. 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.

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.

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.

3.2.1 Avvikelser och förändringar av projektbeskrivning

Under förarbetet med projektet bedömdes att den ursprungliga omfattningen var allt för stor för att inom ramen för projekt ha möjlighet att utföra det som initialt planerades. I samråd med Energiforsk valdes att fokusera på två aspekter i enlighet med tidigare projektförslag. Den ena delen som ansågs vara lämpliga att utvärdera vid fältstationen var hur fogområdet påverkas över tid och hur detta påverkar konstruktions funktion. Del nummer två som inkluderades var hur olika fogband påverkas av den alkaliska miljön som råder i betongen och vilken effekt detta skulle kunna medföra.

Man valde att inte gå vidare med provkroppar som möjliggjorde kontinuerliga rörelser, åldring av fogskarvar, plåtband samt analys av provkroppar från befintliga anläggningar. Man valde vidare att studera tre olika fogband men endast en betongkvalitet, en betongkvalitet som skulle överensstämma med betong som

historiskt har använts vid olika vattenkraftsanläggningar. Inga försvagningar eller försök till dåliga gjutningar gjordes.

De fogband som initialt var tilltänkta till studien baserades på de resultat presenterade i en tidigare studie¹⁴ av Swerea KIMAB. I den tidigare studien identifierades två PVC fogband innehållande antingen DOP eller DIDP mjukgörare, där endast ena mjukgöraren (DIDP) visade på goda långtidsegenskaper. Mjukgöraren DOP var en ftalat vilken hade en snabbare nedbrytning i jämförelse med övriga. Genom att använda dessa två i studien skulle en jämförelse av effekterna i betongens alkaliska miljö kunna utvärderas. Vid projektstart uppdagades dock att fogbandstillverkarna hade slutat tillverka PVC fogband med de aktuella mjukgörarna då dessa var miljöfarliga.

3.2.2 Provkroppar och genomförande

Inom ramen för projektet valdes att studera tre olika fogband, två PVC och ett mer modernt fogband av SBR-Elastomer, vilket är en typ av gummi. Totalt användes fogband av två tillverkare. På grund av företagssekretess var det inte möjligt att ta del av vilken mjukgörare som använts i de två olika PVC fogbanden, ingen mjukgörare behövs i Elastomer fogbanden.

Val av fogband gjordes i samråd med Swerea KIMAB vilka i en parallell studie¹⁵ studerat nya fogband. Genom att använda samma fogband i båda studierna möjliggjorde detta att fältexponeringen senare kan sättas i relation till olika artificiella exponeringar. Swerea KIMABs studie innehöll totalt sju fogband och Fogband 4, 5 och 7 i deras studie var av samma typ som denna studie.

De tre fogbanden som valdes att ingå i denna studie kommer vidare att benämnas: PVCG, PVCS och Elastomer. Benämningen G och S, för PVC banden, beskriver fogbandens färg, gul och svart.

Projektet delades upp i två delar. I den första delen studerades provkroppar med ingjutna fogband med avseende att studera effekter i fogområdet över tid under liknande förhållanden som i verkligheten, provkroppen skall återspegla den yttersta fogen liksom illustreras i Fig. 3.11.

¹⁴ Blomfeldt, T., Bergsjö, P. (2013) Utvärdering av egenskaperna hos fogband i mjukgjord PVC för betongkonstruktioner – Korrelation mellan accelererad åldring, långtidsexponering och fogband i drift, Elforsk-rapport 13:39.

¹⁵ Jacobson, K., Norånger, S., Lukes, D. (2015) Provning och analys av nya och åldrade fogband - Fogband bestående av PVC och/eller Elastomer, Energiforsk-rapport 2015:119B (EJ PUBLICERAD)

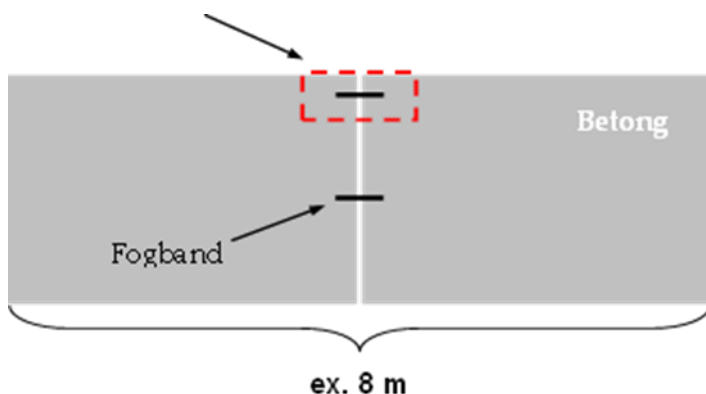


Fig. 3.11. En schematisk exemplifiering av ett fogband i en dammkonstruktion som är satt i relation till en provkropp. Observera att figuren ej är skalenligt ritad.

Tre provkroppar för vardera fogbandet tillverkades och placerades på fältstationen. Parallellt med de större provkropparna tillverkades 15 mindre provkroppar för del nummer två i studien. Vardera mindre provkropp innehöll nio fogbandsprover, tre av varje typ. De mindre provkropparna är avsedda att plockas upp kontinuerligt för att studera den alkaliska miljöns inverkan på fogbanden. Dessa resultat kommer sedan kunna jämföras med de resultat som presenteras i rapporten från Swerea KIMAB¹⁵. Resultaten från de mindre provkropparna kommer ligga till grund för provningsintervallen för de större provkropparna. I och med metoden med parallella försök kunde antalet större provkroppar minskas.

Provkropparnas utformning och material, stora provkroppar

För att studera långtidseffekter på ingjutna fogband tillverkades totalt nio provkroppar uppdelade i tre grupper om tre där vardera grupp hade samma fogband. Fogbanden gjöts in i mitten av provkropparna och en spalt lämnades från vardera hållet så att vatten skulle ha möjlighet att komma i kontakt med fogbandet. Provkropparna var 800 mm breda, 700 mm höga och 200 mm tjocka. Fogbanden var 500 mm långa och de gjöts in så att endast en 400 mm lång spalt var exponerad mot vattnet. En ritning av provkropparna presenteras i Fig. 3.12.

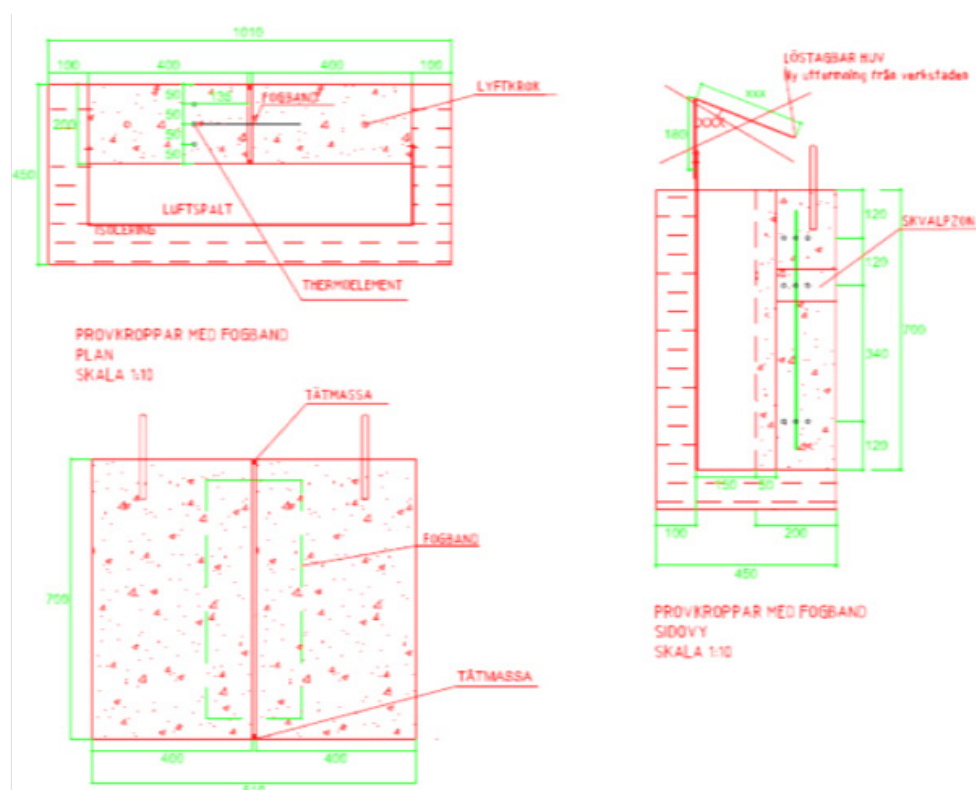


Fig. 3.12. Ritning av större provkroppar innehållande ingjutna fogband monterade i plåtlåda för att erhålla ensidigt vattentryck.

Provkropparna gjöts vid två tillfällen, den 17 och den 19 november 2014. Betongen som användes var designad för att efterlikna betong som användes under den stora vattenkraftsutbyggnadsperioden i Sverige, 50–60-tal. Ett förslag på recept tog fram vilket baseras på vad som framkommit i det pågående projektet över vattenkraftverkens betonghistorik¹⁶. Receptförslaget skickades till en betongfabrik i Gävle vilka sedan modifierade ett av deras standardrecept som överensstämde med önskade specifikationer. De specificerade önskemålen var, anläggningscement, vct 0.54, cementhalt 300 kg/m³, lufthalt 4.5–5.5 % och ett sättmått mellan 50 och 100 mm samt en ballansgradering som överensstämde med Vattenfallsbetonghandboks¹⁷ specifikationer. Betongen som användes hade ett sättmått på 80 mm, 4.4 % luft, 300 kg/m³ cement och vct 0.54.

Figur 3.13 visar en av formarna innan gjutning. Först gjöts den ena sidan i formen, efter två dagar avlägsnades den mittenformen vilken tillika höll fogbandet på plats, Fig. 3.14. En bit vikt underlagspapp fästes över och under fogbandet längst med ca 400 mm av dess längd. Underlagspappen avlägsnades efter att den andra sidan av formen gjutits. Femtio millimeter på vardera sidan sparades så att fogbandet skulle gjutas in ordentligt så att ingen direkt transportväg över eller under fogen skulle vara möjlig.

¹⁶ Rosenqvist, M. Redogörelse för betongens utveckling samt betydelse för svensk vattenkraftsutbyggnad. Energiforsk-rapport XX.XX (Pågående projekt)

¹⁷ Statens Vattenfallsverk, Byggnadsteknik. (1972). Vattenfallsbetonghandbok - Anvisningar för utförande och kontroll av betongarbeten, ISBN 91-7186-003-7, Boktryckeri AB Thule, Stockholm.

Genom detta kunde en spalt erhållas på vardera sidan om fogen så att vatten enkelt kunde komma hela vägen in till fogen under exponeringen.



Fig. 3.13. Form för fogbandsprovkroppar. Fogbandet hölls på plats med en avskiljare i trä, vilken tillika användes som formsida för att erhålla en gjutfog.

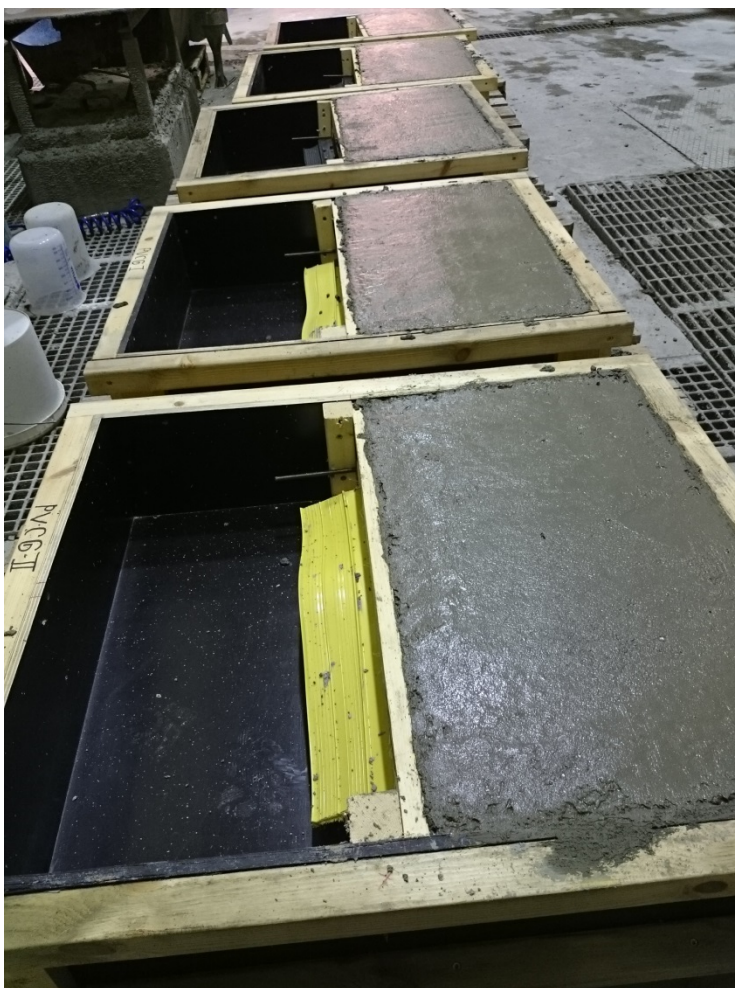


Fig. 3.14. Gjutna provkroppar rån mobil

En av de nio provkropparna utrustades med totalt nio termoelement. Termoelementen placerades i den ena sidan av provkroppen. Termoelementen placerades så att tre skulle vara placerade ca 120 mm över vattenytan, tre i vattenlinje och tre på ca 300 mm djup. I Fig. 3.15 visas provkroppen innan termoelementen gjutits på plats. Figuren visar även den redan gjutna sidan för provkroppen inklusive två gängstänger som gjöts in för att undvika att provkroppen skulle gå sönder i gjutfogen under transport. Figur 3.16 visar provkroppen i och med färdigställd gjutning.

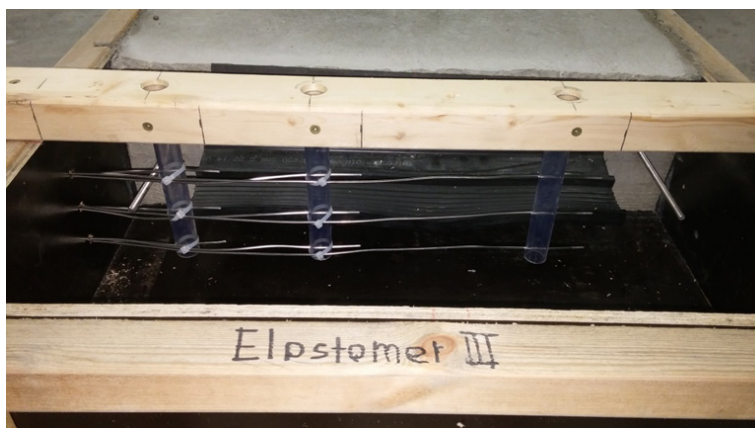


Fig. 3.15. Fogbandsprovkropp innehållande nio termoelement fixerade med plaströr innan gjutning.



Fig. 3.16. Fogbandsprovkropp innehållande nio termoelement efter avslutad gjutning.

För att erhålla ett ensidigt vattentryck över fogen så monterades provkropparna i en specialtillverkad plåtlåda med bakomliggande luftspalt. Figur 3.17 visar en av provkropparna monterad i plåtlådan, framifrån och från sidan. Figur 3.18 visar tre provkroppar när de är placerade på fältstationen. Plåtlådans utformning presenteras i mer detalj i Fig. 3.12. Plåtlådan var vidare försedd med avtagningsbart lock, vilket dessutom möjliggjorde för viss luftcirkulation genom lockets stålnätsförsedda sidor.



Fig. 3.17. Färdigmonterad provkropp monterad i plåtlåda. I figuren är provkroppen monterad i fästeanordningen för montering på fältstationen.



Fig. 3.18. Fogbandsprovkroppar monterade på fältstationen

Provkropparna monterades med kran den 18 december 2014. Den 16 november 2015, ca ett år efter installation, inspekterades samtliga provkroppar för att utvärdera om läckage in till luftspalten hade förekommit, Fig. 3.19. Vatten påträffades i fem av de nio provkropparna. I tre av de fem var luftspalten fylld upp till vattenytan, i övriga två varierade vattennivån mellan ett par cm upp till 10 cm. Samtliga provkroppar tömdes på vatten. Återinspektion gjordes tio dagar senare, 26 november. I och med återinspektionen påträffades ett par cm vatten i två av provkropparna, vilka togs upp för att laga eventuella defekter. Ny inspektion planerad efter vintern 2015/2016.

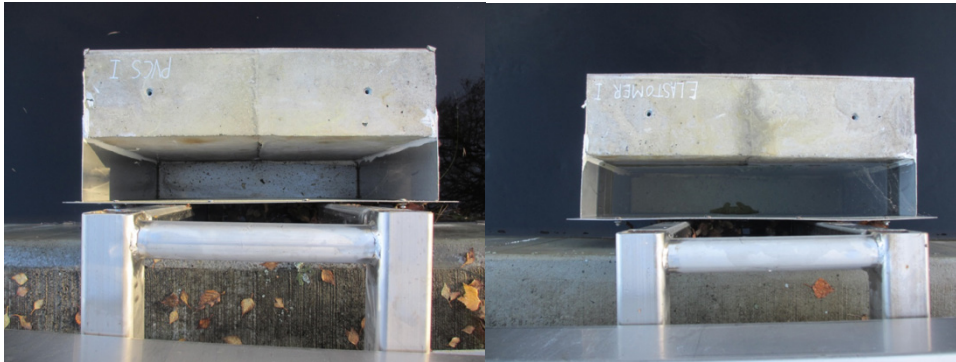


Fig. 3.19. Observationer vid inspektionen av luftspalterna bakom provkropparna efter ca ett år. Provkroppen till vänster visade på inget inläckage medan provkroppen till höger var fylld upp till omkringliggande vattennivån. Fyllda provkroppar tömdes på vatten och återinfektion gjordes efter 10 dagar. Två av provkropparna togs i och med återinspektionen upp för tätning (Elastomer II och PVC II). Övriga bedömdes ej ha läckt in vatten.

Utöver ett läckage i fogen eller mellan plåtlådan och betongen bedömdes det sannolikt att vatten kan "skvalpa in" genom luftningsnäten i provkroppens lock. Inskvalp bedömdes möjligt vid kraftig vind och vågor. Denna orsak bedömdes sannolik då endast en av fyra provkroppar på landsidan innehöll något vatten medan endast en av provkropparna på älvsidan var helt torr. Provkropparnas placering på fältstationen ges i Fig. 2.3.

Provkropparnas utformning, små provkroppar

Parallellt med att fogband gjöts in i stora provkroppar med syfte att studera eventuella effekter i fogområdet så göts mindre "hundben" av de tre fogbanden in i mindre provkroppar, Fig.3.20. Varje provkropp var 210*470*40 mm. I varje provkropp placerades nio fogband, tre av vardera sorten. Fogbanden gjöts in i ett cementbruk med vct 0.4 och med ett cement/ballast förhållande på 1/3. Ballasten som användes var 0-2 natursand. Lufthalten uppmättes till 19 % vid provning av bruket. En hög lufthalt var önskad på grund av lägre ballastandel i bruket i förhållande till en betong.

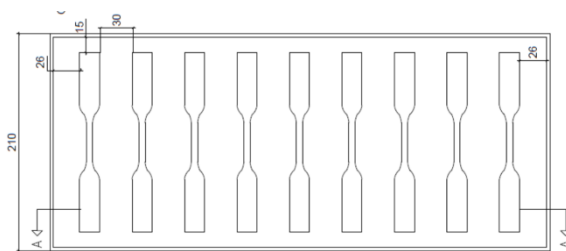


Fig. 3.20. Illustration av de mindre provkropparna avsedda för ingjutna fogbands hundben. I vardera provkropp gjöts nio fogbandsbitar in i ett cementbruk med vct 0.4.

Fogbandsprovkropparna som gjöts in var av samma typ som de som används vid provning av draghållfasthet av PVC fogband, VU-SC:19¹⁸. Totalt stansades 90 hundben

¹⁸ Betongprovningen Vattenfall. (2013) Provning av draghållfasthet hos fogband av PVC. VU-SC:19, Vattenfall AB

ut i enlighet med VU-SC:20¹⁹, varav 45 av vardera typen gjöts in i totalt 15 cementbruksplattor, 30 hundben skickades till Swerea KIMAB för exponering och provning (samtliga resultat från deras studie presenteras i Energiforskrapport 2015-119b²⁰) och resterande 15 provkoppar förvarades i 20 °C och 65 % RF för att senare användas som referens till de exponerade provkropparna. Figur 3.21 visar ett exempel på ett urstansat hundben samt samtliga utstansade för analys.



Fig. 3.21. Exempel på utstansat hundben (t.v.), samtliga 3*90 hundben utstansade för analys (t.h.)

Efter att provkropparna gjöts membranhärdades de i två dygn innan de lades i vattenbad. De lämnades i vattenbadet under ett år, fram tills den 19 november 2015 då de lades ut vid fältstationen. De femton provkropparna placerades i en specialdesignad provkroppshållare, Fig. 3.22. Provkropparna kommer sedan tas upp, en per år initialt, för att bestämma draghållfasthet och töjning. I samband med första upptagningen samt i händelse av upptäckt förändring kommer ytterligare en provkropp att plockas upp. Fogbanden från dessa provkroppar kommer att skickas till Swerea KIMAB för en mer detaljerad analys, i enlighet med de mätningar som presenteras i deras rapport från 2015. Exempel på den utökade analysen är dynamisk mekanisk analys (DMA) för att bestämma glastransitionstemperaturen, T_g .

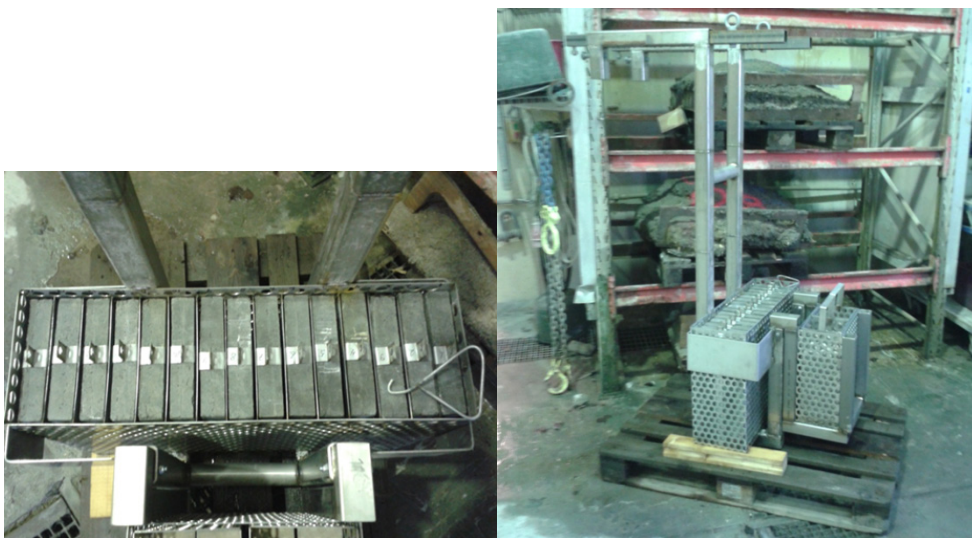


Fig. 3.22. Provkroppshållare för provkropparna innehållande fogbandshundben. Samtliga femton provkroppar i hållaren visas till vänster och i figuren till höger visas hela ställningen för att fästa provkropparna vid fältstationen.

¹⁹ Betongprovningen Vattenfall. (2009) Tillverkning av provkroppar för provning av draghållfasthet och brotttöjning hos fogband av PVC. VU-SC:20, Vattenfall AB

²⁰ Jacobson, K., Norränger, S., Lukes, D. (2015) Provning och analys av nya och åldrade fogband - Fogband bestående av PVC och/eller Elastomer, Energiforsk-rapport 2015:119B (EJ PUBLICERAD)

De 30*3 provkroppar som skickades till Swerea KIMAB exponerades för totalt sex olika förhållanden, Tabell 3.5. Analyserna som gjordes i Swerea KIMAB studie från 2015 var:

- Mekanisk provning: Draghållfasthet och Brottöjning: VU-SC:19, Fig. 3.23.
- Dynamisk mekanisk analys (DMA) - Glastransitionstemperatur, T_g
- Hårdhetsmätning (Mikro Shore A) - Hårdhetsgrad
- Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR) - Kemiska föreningar



Fig. 3.23. Utrustning för Draghållfasthet och brottöjning enligt VU-SC:19.

Tabell 3.5. Swerea KIMABs provkroppsexponeringsmatris.

Åldringssmiljö	Temperatur (°C)	Fuktighet (% RF)
Icke exponerat (Referens)	20	50
Varmt	65	Torrt
Varmt och fuktigt	65	90
UV-ljus + värme	65/50	UV/100
Vattenfallsmetoden VU-SC:6 ²¹	65	100
Neddopping + värme	65	100

²¹ Betongprovningen Vattenfall. (2012) Alkalibeständighet av fogband av PVC. VU-SC:6, Vattenfall AB

Kontinuerlig mätning

En av de nio stora provkropparna som installerades på fältstationen under senhöst 2014 var utrustad med totalt nio termoelement. Termoelementen kopplades dock inte in i datalogerna förrän i december 2015. För varje mätpunkt registrerades medeltemperaturen varje halvtimme. Placering av termoelementen framgår i Fig. 3.12 och 3.15.

3.2.3 Utförda analyser

Inga provkroppar som varit exponerade vid fältstationen har tagits för analys inom projektet 2014-2015. Den första analys är planerad till hösten 2016, vilket motsvarar ett år i älvmiljö plus ett år i vattenbad och 20 °C.

Samtliga resultat från Swerea KIMABs studie återfinns i deras rapport²² "Provning och analys av nya och åldrade fogband - Fogband bestående av PVC och/eller Elastomer." Fogband 4, 5 och 7 i Swerea KIMABs studie är av samma typ som de som ingår i denna studie. Resultaten från Swerea KIMABs studie kommer att jämföras med de resultat som erhålls från provkropparna som exponeras på fältstationen.

3.2.4 Fortsatt provning

En av de mindre provkropparna innehållande totalt nio fogband kommer att plockas upp varje år under de kommande fem åren för mekanisk provning. Efter fem år kommer det utvärderas om provningsfrekvensen skall vidhållas eller om det finns anledning att öka intervallen. Om något av proverna visar på avvikelser kommer ytterligare en provkropp att tas upp för att skickas på analys i likhet med dem som presenteras i Swerea KIMABs rapport. Om även dessa provkroppar visar på avvikelser kommer en av de större provkropparna att plockas upp för vidare analys. Om inga avvikelser upptäcks under analysen av de mindre provkropparna kommer stora provkroppar att plockas upp efter tidigast fem respektive tio års exponering för analys.

Vid analysen av större provkroppar kommer både fogbanden och gjutzonen att analyseras. Analys av fogbanden kommer vara i linje med dem som utförts i Swerea KIMABs studie. Studien av betongen i fogområdet kommer innefatta, fuktprofilsanalys samt utvärdering av variationer i betongkvalitet i fogområdet.

²² Jacobson, K., Noränger, S., Lukes, D. (2015) Provning och analys av nya och åldrade fogband - Fogband bestående av PVC och/eller Elastomer, Energiforsk-rapport 2015:119B (EJ PUBLICERAD)

3.3 EXPONERING AV PROVKROPPAR MED LÅG SAMT MELLANREAKTIV BALLAST (AKR)

Bakgrund:

Alkalikiselsreaktioner (AKR) är en skademekanism som uppkommer då ballast innehållande alkalilöslig kiselsyra används. Ballasten reagerar med det alkaliska 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, $\geq 75\%$ RF, vilket medför att konstruktioner i eller i direkt anslutning till vatten befinner sig i farozonen. Mineraler och bergarter som är potentiellt alkalikänsliga och förekommer i Sverige är bland annat vissa typer av: 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 finns är primärt i Skåne och den svenska fjällkedjan.

Misstankar finns att en andel av den svenska vattenkraftsanläggnings-populationen 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 vattenkraftsanläggningar, 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 fördelsakligen från konstruktioner som skall rivas.

Den primära nyttan med att utföra en fältexponering är att åldringsscenarioet 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).

3.3.1 Avvikelse och förändringar i projektbeskrivning

Under förarbetet med studien valdes att frånga planen med att använda större betongblock, både nygjutna med känd mängd reaktiv ballast samt provkroppar hämtade från konstruktioner med identifierad pågående AKR reaktion. Anledningen till avvikelsen var då ingen anläggningsägare hade kännedom och eller möjlighet att bistå med material till studien.

Vidare bestämdes i samråd med Energiforsk att frånga stora betongprovkroppar till fördel för mindre provkroppar i likhet med några av de som används vid standardiserade metoder för att detektera reaktiv ballast. Genom en mindre litteraturgenomgång fastställdes att den mest lämpade metoden för projektet var att efterlikna de redan etablerade accelererade metoderna; ASTM C1293²³ samt RILEM AAR-3²⁴. Båda metoderna var snarlika och baserades på att betongprovkroppar med en längd mellan 200 och 300 mm. Genom att utgå från redan etablerade metoder möjliggjordes att en jämförelse med avseende på exponeringsmiljö var möjlig för misstänkt reaktiv ballast samt icke reaktiv ballast.

Den initiala tanken med projektet var att använda samma typ av ballast som använts vid en eller flera vattenkraftsanläggningar där en känd mängd reaktiv ballast förekom. Approachen var ej möjlig då det ej var möjligt att identifiera någon bergstakt med otillåten mängd reaktiv ballast i de områden där vattenkraftsanläggningar är förlagda. Inom projektet valdes att, via kontakter på SGU (svensk geologisk underökning) och CBI cement och betonginstitutet, välja en bergart tidigare bedömd som medelreaktiv. Genom dialogerna rekommenderades antingen ett metavulkanit berg alternativt kvartsit från den svenska fjällskedjan, vilken via erfarenheter från CBI tidigare bedömts som en medelreaktiv ballast och valdes av föreliggande anledning till denna studie. Kvartsit är dock en bergart som inte traditionellt används som ballast i betong, både på grund av sin potentiella ARK men även på grund av dess hårdhet. Via kontakter lokaliserades dock en kvartsittakt i Jämtland med material avsett för vägförstärkning. Kvartsiten levererades som 0-4, 4-8 samt 8-16 mm.

Två avvikelser upptäcktes under den initiala exponeringstiden av provkropparna. Vid analys av mätdata identifierades ett antal oförklarliga avvikelser som misstänks vara felaktig avläsning av mätklockan. Felen som identifierades uppträdde primärt vid halvårs avläsning. För det angivna mättillfället påträffades omotiverade avvikelser för 13 av 40 provkroppar, fem provkroppar med reaktiv ballast och åtta med icke-reaktiv ballast. För alla utom en av provkropparna bedömdes de oförklarliga resultaten bero på avläsningsfel. För en av provkropparna (R38-4) gick det inte, utifrån given data, att bedöma anledningen till det orealistiska resultatet, varav ingen korrektion gjordes.

²³ ASTM international (2009). Standard test method for determination of length change of concrete due to alkali-silica reaction, ASTM C1293 08b

²⁴ RILEM (2011). RILEM recommended test method: AAR-3 - Detection of potential alkali reactivity - 38 °C test method for aggregate combinations using concrete prisms, RILEM TC 219-ACS

Provkropparna som korrigerades, tillfälle för misstänkt felavläsning samt korrektion presenteras i tabell 3.6. Lejonparten av mätfelet inträffades vid 182 dygns mätning, anledningen till detta är okänd men misstänks vara handhavandefel. I och med korrigeringsarna följde samtliga mätresultat samma trender, varav korrigeringsarna ansågs vara korrekta.

Tabell 3.6. Identifierade "orealistiska" mätresultat samt eventuell korrigering.

Exponeringstid	0 dagardygn	91 dygn	182 dygn
Korrigerig -1 mm	OUTW-3	OUT-4	38-3; 20-4; 20W-1; OUT-4; OUTW-1; OUTW-3; OUTW-4; R20W-4; ROUT-1; ROUT-3; ROUTW-4
Korrigerig +1 mm	-	-	38-4
Korrigerig övrig	-	38-3 (-5 mm)	R38-4 (ej korrigerat)

I samband med att provkropparna återplacerades efter 182 dygnsmätningarna så stängdes inte locket till lådan där provkropparna ROUTW-1:4 och OUTW-1:4. I och med springan möjliggjordes en uttorkning av de åtta provkropparna. Samtliga åtta provkroppar var ämnade att efter ett års exponering placeras i vattnet ute vid fältstationen för fortsatt exponering i naturliga vattenförhållanden. Det bedömdes att den uttorkning som uppkommit under det gångna halva året endast medfört en reversibel krympning proportionell till uttorkningen. I och med att provkropparna senare placerades i vatten kommer denna krympning att återgå likväl kommer en potentiell AKR återstarta. Den fortsatta exponeringens syfte att urskilja om provkroppar innehållande reaktiv samt icke-reaktiv ballast expanderar i älvsvatten bedömdes därför ej ha påverkats av avvikelser. Uttorkningen medförde en generell viktminskning på 0.05-0.08 kg samt en krympning på 0.1-0.2 mm

3.3.2 Metod och provkroppar

Provningsmetod

För att studera effekten av medelreaktiv ballast i betong som exponeras för naturliga variationer valdes att utforma en provningsmatris baserad på en etablerad metodik men med ett antal olika exponeringsmiljöer. Genom en mindre litteraturgenomgång identifierades att metoderna RILEM AAR-3²⁵, vilken var ekvivalent med ASTM C1293²⁶, var den mest lämpade till givna ändamålet.

Både ASTM C1293 och AAR-3 är accelererade metoder och baseras på att betongprovkroppar exponeras i 38 °C och i en relativ fuktighet över 90 %. Provkropparna vägs och dess längdförändring mäts efter 1, 7, 14, 28, 91, 182 och 365 dagar efter gjutning. Under det första dygnet mellan gjutning och första mätningen förvaras provkropparna i 20 °C och RF högre än 90 %. Efter en första mätning placeras sedan provkropparna i plasthinkar med tätt lock. Provkropparna ställs på galler i hinkarna och vatten fylls på under provkropparna, dock ej så att provkropparna kommer i kontakt med vattnet. Tjugofyra timmar innan varje mättillfälle sänks temperaturen för provkropparna från 38 °C till 20 °C. Provkropparnas deformations

²⁵ RILEM (2011). RILEM recommended test method: AAR-3 - Detection of potential alkali reactivity - 38 °C test method for aggregate combinations using concrete prisms, RILEM TC 219-ACS

²⁶ ASTM international (2009). Standard test method for determination of length change of concrete due to alkali-silica reaction, ASTM C1293 08b

mäts i en specialutformad mätuppställning, Fig. 3.24, och mäts i relation till en temperaturstabil mätstav (INVAR) med känd längd.



Fig. 3.24. Mätuppställning av betongprismor baserad på specifikationer enligt RILEM AAR-3 och ASTM-C1293. Samtliga mätningar gjorde i relation till en Invar stång med längden 284.97 mm. Invar är en metall legering med mycket god temperaturstabilitet.

Efter varje mättillfälle placeras provkropparna åter i hinken, dock efter en 180° rotation så att den yta som varit uppåt föregående period nu är nedåt.

Enligt ASTM 1293 bedöms en provkropp innehållande reaktiv ballast och som expanderat mer än 0.04 % (0.4‰) under ett år att denne ej uppfyller kraven för AKR resistens.

Provkropparnas utformning

Inom projektet valdes att följa RILEM AAR-3²⁷ samt ASTM 1293²⁸:s provkroppsrekommendationer genom att använda provkroppar med måtten: 75*75*285 mm. I varje provkropp göts en mätstudd in av samma typ som den på Invar, vilken medförde att provkroppens längd kan sättas i direkt korrelation till referensen.

Provkroppar ASTM: 25*25*285

Provkroppar AAR-3: 75*75*250±50

²⁷ RILEM (2011). RILEM recommended test method: AAR-3 - Detection of potential alkali reactivity - 38 °C test method for aggregate combinations using concrete prisms, RILEM TC 219-ACS AAR-3

²⁸ ASTM international (2009). Standard test method for determination of length change of concrete due to alkali-silica reaction, ASTM C1293 08b

Provkropparna avformades efter att membranhårdats under ett dygn. Efter avformning placerades samtliga provkroppar i slutna behållare, placerade på ett galler och en vattenspegel upp till gallrets halva höjd fylldes i. Figur 3.25 visar en provkropp innan exponering samt en i mätuppställningen. Figur 3.26 visar fyra provkroppar placerad i exponeringsbehållaren.



Fig. 3.25. Provkropp innan exponering samt provkropp installerad i mätuppställningen.



Fig. 3.26. Fyra provkroppar placerade på galler i hink i enlighet med uppställningen vid provning. Under exponering är hinken försedd med lock.

Totalt exponerades två olika betonger. En betong innehöll 35 % kvartsit, vilket är ca dubbla tillåtna mängden reaktiv ballast i betong. Den andra betongen innehöll ingen känd reaktiv ballast och agerade som referens.

Enligt RILEM AAR-3²⁹ och ASTM C1293³⁰ skall ett cement med hög alkalitet användas. Alkaliteten bestäms genom att beräkna ekvivalent NaO_2 mängd, vilket bestäms genom: $\text{NaO}_2 + 0.685 \cdot \text{K}_2\text{O}$ mängden. I båda metoderna tillsätts extra NaO_2 för att uppnå en alkalitet motsvarande 1.25 % av cementvikten. För AAR-3 rekommenderas att ett NaO_2 ekv skall vara mellan 0.9-1.3 % för det använda cementet, motsvarande för ASTM C1293 är 0.9 % $\pm$ 0.1 % av cementvikten.

Då syftet med detta projekt ej var att testa om den använda ballasten var reaktiv eller ej valdes att inte addera extra alkalitet utan att enbart använd ett cement med ett initialt NaO_2 i enlighet med metodernas beskrivning. Av föreskriven anledning valdes att använda std Skövde som enligt kemiska analyser utfört av cementa från 2012 visar på en medel alkalitet på ca 1 % av cementvikten.

Receptet som användes baserades på rekommendationerna från AAR 3 samt ballastgradering i enlighet med betong använt vid svenska vattenkraftverk³¹. Receptet beskrivs i tabell 3.7. Ballastgraderingen designades så att reaktiv och icke reaktiv ballast motsvarar varandra. Vidare valdes att använda 35 % reaktiv ballast rakt för både grov och fin ballast.

Tabell 3.7. Recept med reaktiv och icke reaktiv ballast, recepten har utgått från rekommendationer i RILEM AAR-3 samt Vattenfallsbetonghandbok, med avseende på ballastgradering.

Cement [kg/m ³]	Vatten [kg/m ³]	0-8 [kg/m ³]	8-16 [kg/m ³]	0-8 Aktiv [kg/m ³]	8-16 Aktiv [kg/m ³]
440	220	863	775	-	-
440	220	497	568	326	247

Exponeringsmiljöer

Huvudsyftet med studien är att utvärdera vilken potential det finns för pågående AKR under de förhållanden som råder vid Svenska vattenkraftverk. I och med detta designades en försöksmatris med fem olika klimatförhållanden för en intern jämförelse. För varje förhållande exponerades totalt fyra provkroppar av vardera betongen, reaktiv och icke-reaktiv. Provningsmatrisen presenteras i Tabell 3.8.

Tabell 3.8. Exponeringsmatris för provkroppar med och utan reaktiv ballast. Provkropparnas benämning beskrivs med R=Reaktiv; W=Nedsänkt i vatten; Out=Exponering för utomhusklimat.

Provkroppsbeteckning	Exponering år 1	Fortsatt exponering
R38/38 (AAR-3)	38 °C - RF>90%	38 °C - RF>90%
R20/20	20 °C - RF>90%	20 °C - RF>90%
R20W/20W	20 °C - RF>90%	20 °C - Under vatten
ROut/Out	20 °C - RF>90%	Utomhus. Temp - RF>90%
ROutW/OutW	20 °C - RF>90%	Älvsvatten. Temp - Under vatten

Under det först året exponerades samtliga provkroppar, utöver de som provades i enlighet med AAR-3, i 20 °C och i en tät behållare med vattenspegel i botten. Efter

²⁹ RILEM (2011). RILEM recommended test method: AAR-3 - Detection of potential alkali reactivity - 38 °C test method for aggregate combinations using concrete prisms, RILEM TC 219-ACS

³⁰ ASTM international (2009). Standard test method for determination of length change of concrete due to alkali-silica reaction, ASTM C1293 08b

³¹ Statens Vattenfallsverk, Byggnadsteknik. (1972). Vattenfallsbetonghandbok - Anvisningar för utförande och kontroll av betongarbeten, ISBN 91-7186-003-7, Boktryckeri AB Thule, Stockholm.

ettårsmätningen ändrades exponeringen i enlighet med tabell 3.8. I och med att provkropparna exponerats likvärdigt under första året förekommer ingen skillnad i t.ex. hydratationsgrad, bortsett från provkropparna som varit i 38 °C. Genom att alla provkroppar har samma utgångsläge kommer långtidseffekter enklare kunna studeras.

De fem olika exponeringsmiljöerna visualiseras i Fig. 3.27 till 3.31.



Fig. 3.27. Exponering av R38-1:4 och 38-1:4 i enlighet med RILEM AAR-3 samt ASTM C1293. Vardera hinken innehöll fyra provkroppar och hinkarna var placerade i ett klimatskåp som höll 38 °C.



Fig. 3.28. Exponering av R20-1:4, 20-1:4, 20W-1:4, R20W-1:4. I vardera hinken placerades fyra provkroppar och hinkarna var samtliga placerade i klimatrums vilket höll 20 °C 65 %RF. Provkropparna med benämning innehållande ett W exponeras i vatten efter ett år och övriga i en hink på ett galler över en vattenspegel.

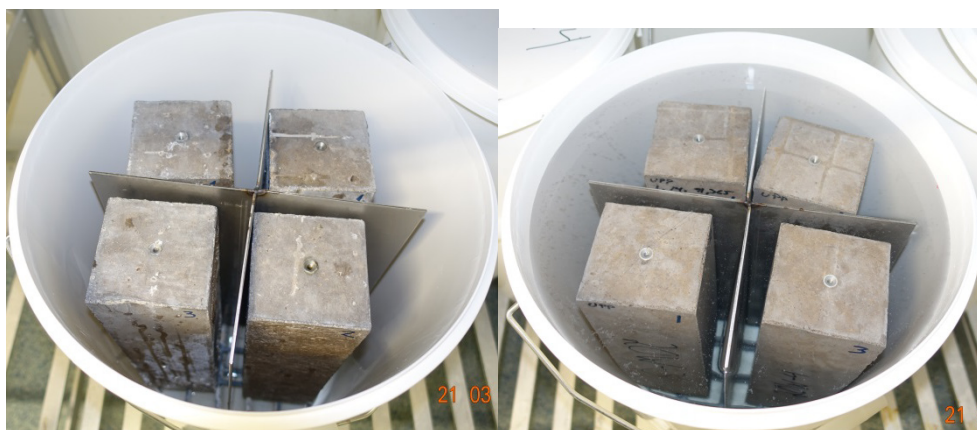


Fig. 3.29. Provkroppar placerade över vattenspegel (t.v.) samt helt i vatten (t.h.)



Fig. 3.30. Exponering av provkroppar OUT-1:4 samt ROUT-1:4. Provkropparna förvarades det första året inomhus i förslutna hinkar med vattenspiegel i klimatrums som höll 20 °C och efter ett år flyttades dem ut till fältstationen. Hinkarna placerades så att direkt solljus begränsades.

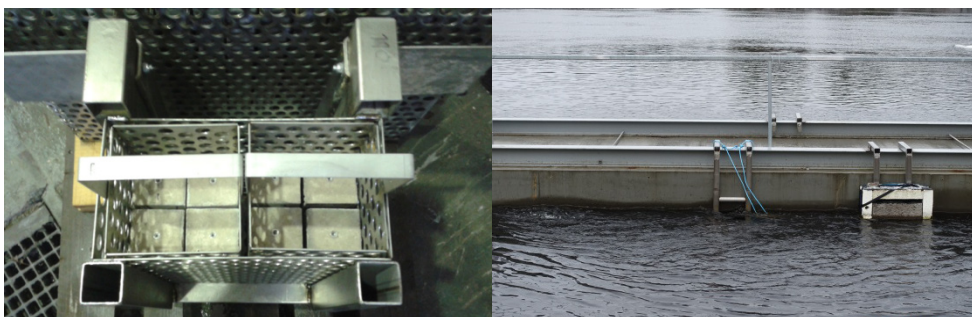


Fig. 3.31. Exponering av provkroppar ROUTW-1:4 och OUTW-1:4. Provkropparna förvarades första året i klimatrums 20 °C över en vattenspiegel och flyttades efter ett år ut till specialbyggd provkroppshållare (t.v.) vilken monterades på fältstationen så att provkropparna var ca 0.5 m under vattenytan (t.h.). I figuren från fältstationen syns endast monteringspunkten på fältstationen.

3.3.3 Resultat etapp 1: ett års exponering

Under det första årets exponeringsar vägdes och mättes provkropparna efter 1, 7, 14, 28, 91, 182 samt 365 dagar. Provningsfrekvensen var i linje med den som beskrevs för provning enligt RILEM AAR-3 och ASTM 1293. De båda ursprungsmetoderna var accelererade provningsmetoder med syfte att identifiera reaktiv ballast. Enligt ASTM C1293 bedömdes en ballast vara reaktiv om den totala expansionen efter ett år var större än 0.04 % av ursprungslängden, inget motsvarande värde fanns i AAR-3.

Då samtliga provkroppar, bortsett från dem i 38 °C, exponerats för samma klimat under det första året kommer ej dessa resultat presenteras i detta läge då de är i linje med dem som under hela studien kommer vara i 20 °C och över en vattenspiegel. Resultat från provkropparna R38-1:4, 38-1:4, R20-1:4 samt 20-1:4, exponerade i 20 °C respektive 38 °C, presenteras i Fig. 3.32–3.35.

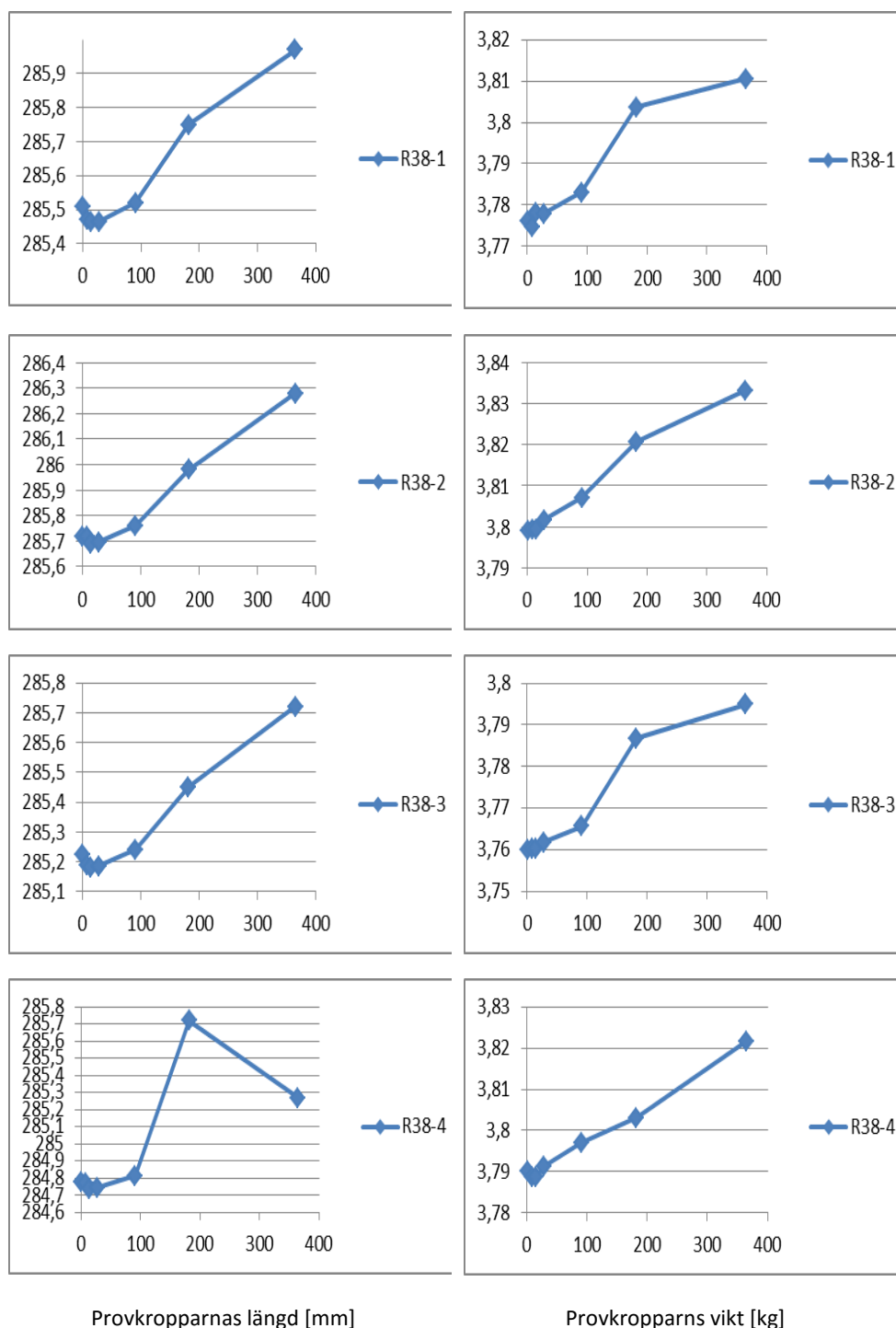


Fig. 3.32. Längdförändring och viktförändring av provkroppar innehållande reaktiv ballast från 1 till 365 dagars exponering i 38 °C och i RF över 90 %. Accelererad provning i likhet med RILEM AAR-3 och ASTM C1293.

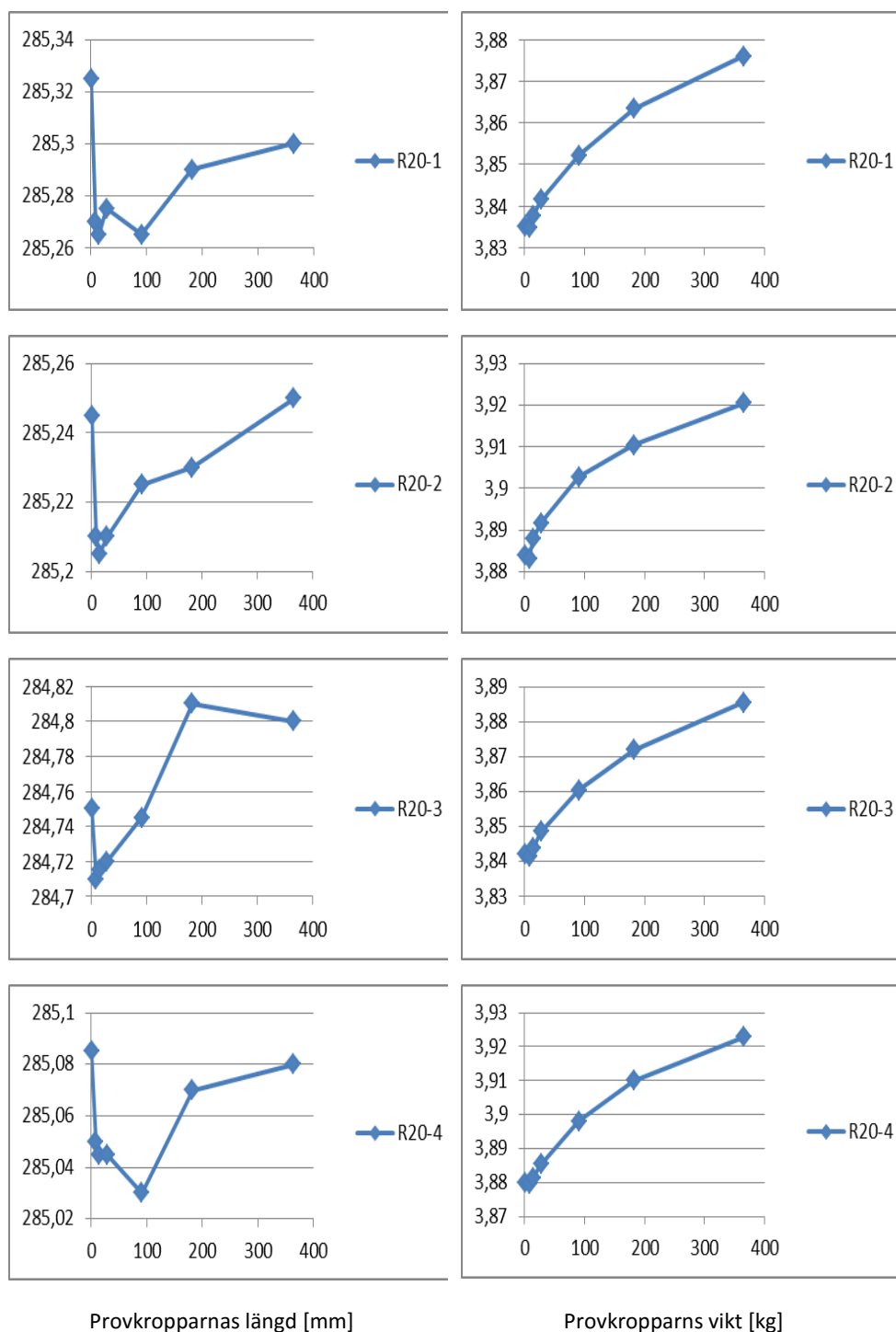


Fig. 3.33. Längdförändring och viktförändring av provkroppar innehållande reaktiv ballast från 1 till 365 dagars exponering i 20 °C och i RF över 90 %. Provning vid konstant 20 °C gjordes för att studera temperatureffekt vid accelererad provning.

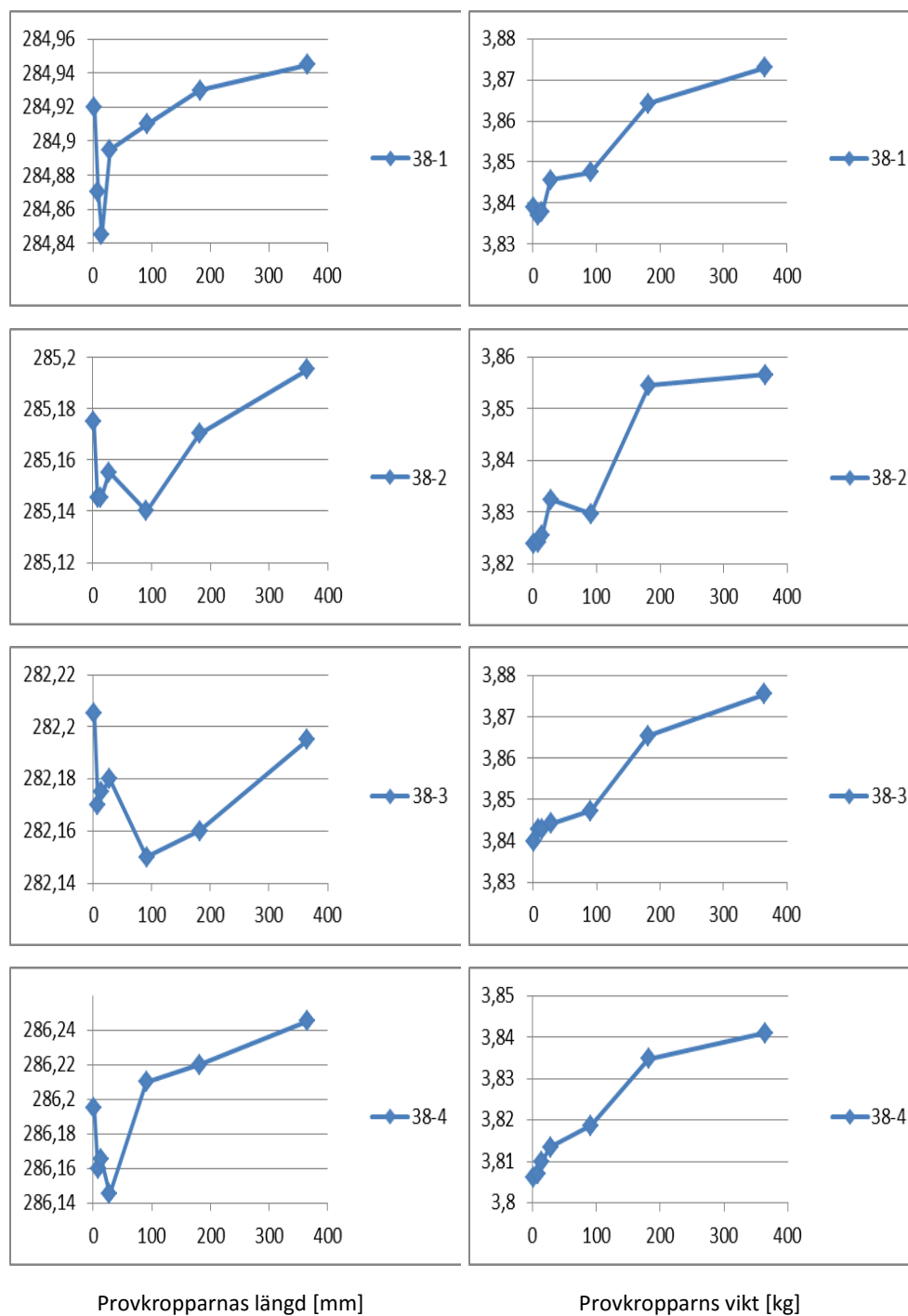


Fig. 3.34. Längdförändring och viktförändring av provkroppar utan reaktiv ballast från 1 till 365 dagars exponering i 38 °C och i RF över 90 %. Accelererad provning i likhet med RILEM AAR-3 och ASTM 1293.

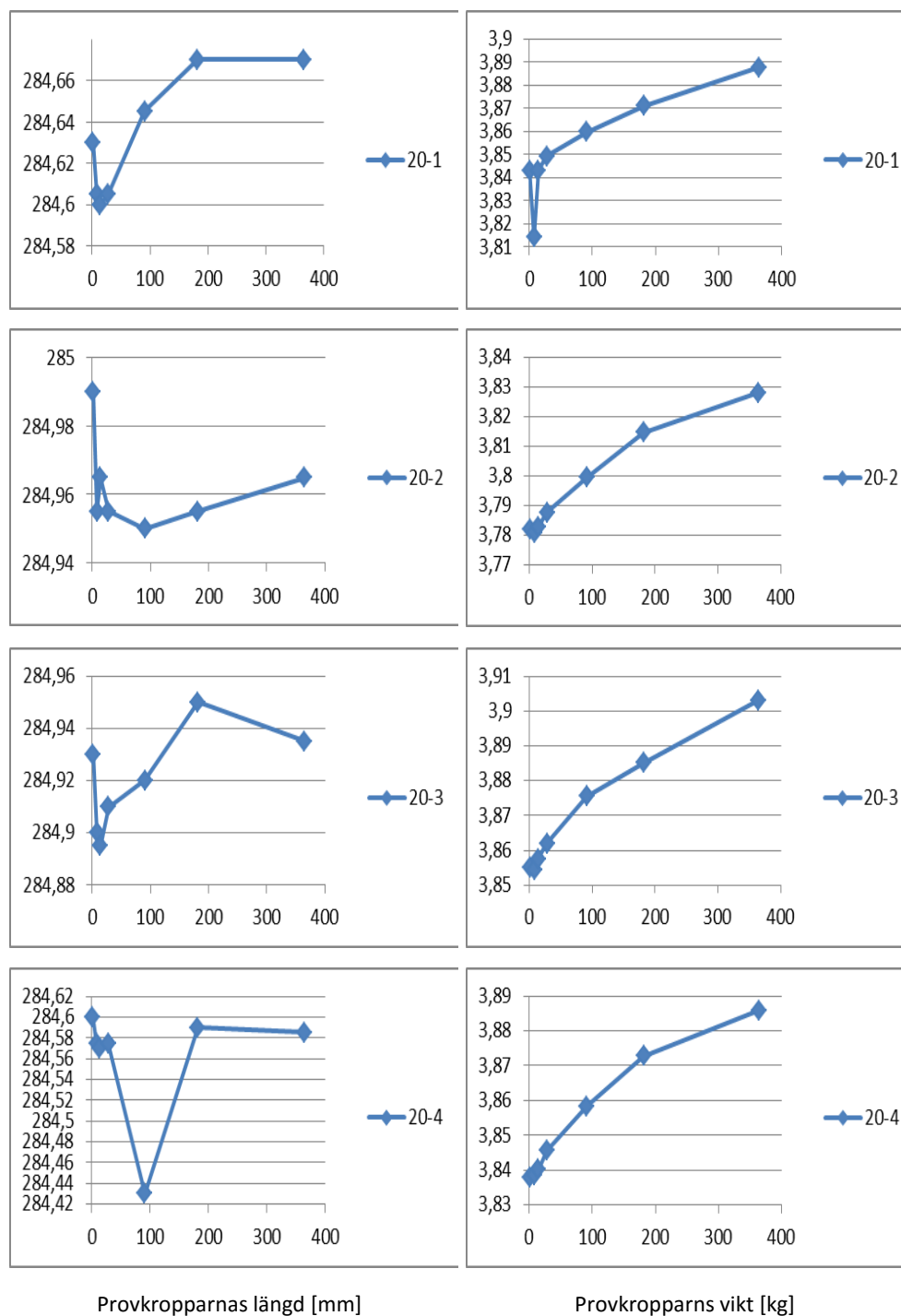


Fig. 3.35. Längdförändring och viktförändring av provkroppar utan reaktiv ballast från 1 till 365 dagars exponering i 20 °C och i RF över 90 %. Provning vid 20 °C gjordes för att studera temperatureffekt hos den accelererad provning.

I tabell 3.9 presenteras medelförändringen för provkropparna R38-1:4, 38-1:4, R20-1:4 samt 20-1:4 inklusive standardavvikelsen för mätningarna.

Tabell 3.9. Uppmätt längdförändring i förhållande till ursprunglig längd hos provkropparna en dag efter gjutning. Varje värde motsvarar medelvärde av fyra provkroppar exponerade i samma miljö. Värdena presenteras tillsammans med standardavvikelsen.

Provkroppar	7 dygn	14 dygn	28 dygn	91 dygn	182 dygn	365 dygn
R38-1:4	-0.07 ‰ ±0.07 ‰	-0.14 ‰ ±0.28 ‰	-0.12 ‰ ±0.28 ‰	0.09 ‰ ±0.54 ‰	1.46 ‰ ±1.23 ‰	1.76 ‰ ±0.15 ‰
38-1:4	-0.13 ‰ ±0.03 ‰	-0.15 ‰ ±0.08 ‰	-0.10 ‰ ±0.05 ‰	-0.07 ‰ ±0.11 ‰	0.01 ‰ ±0.11 ‰	0.04 ‰ ±0.09 ‰
R20-1:4	-0.14 ‰ ±0.03 ‰	-0.15 ‰ ±0.04 ‰	-0.13 ‰ ±0.03 ‰	-0.12 ‰ ±0.09 ‰	0.004 ‰ ±0.15 ‰	0.02 ‰ ±0.11 ‰
20-1:4	-0.10 ‰ ±0.02 ‰	-0.10 ‰ ±0.01 ‰	-0.09 ‰ ±0.02 ‰	-0.18 ‰ ±0.29 ‰	0.01 ‰ ±0.12 ‰	-0.004 ‰ ±0.10 ‰

Resultaten från mätningarna visar att provkropparna som förvarats i enlighet med den accelererade metoden uppvisar tydliga tecken på att ballasten är reaktiv och medför en expansion över den godkända nivån på 0.4 ‰ efter ett år som påvisas i ASTM C1293. Resultaten från övriga mätningar visar inte på att någon signifikant skillnad mellan provkropparna innehållande reaktiv ballast och icke reaktiv ballast både vid 20 °C och icke reaktiva exponerade i 38 °C. Reaktionsprodukter (AKR-gel) påvisades på flera provkroppar efter 91 dygn, Fig. 3.36, för samtliga med reaktiv ballast vilka exponerats i 38 °C, endast ett fåtal fläckar med misstänkt reaktionsprodukt sågs på provkroppar utan reaktiv ballast. Efter 365 dagar var mängden gel för provkropparna i 38 °C mycket hög, Fig. 3.37 och även tydlig för provkropparna som exponerats i 20 °C.



Fig. 3.36. Iakttagelser i och med mätningar efter 91 dygn för provkropparna exponerade för 38 °C. Vid provningstillfället observerades fler utfällningar (t.h.) på provkropp med reaktiv ballast, bara någon enstaka fläck (t.v.) observerades på provkropp med icke reaktiv ballast.



Fig. 3.37 Provkroppar innehållande reaktiv ballast efter ett års exponering i 38°C. Två av provkropparna med tydlig utfällning t.v. och in zoomad gel på knivsudd t.h.

3.3.4 Fortsatt provning

Efter det första årets exponering framgår tydligt att den valda ballasten är reaktiv och ger utslag i den accelererade metoden. Övriga provkroppar vilka alla exponerats i samma klimat uppvisar inga tydliga skillnader. Efter ett års exponering ändrades klimatet för tre av proverna. I samband med fortsatt exponering kommer en jämförelse mellan de olika klimaten att möjliggöras.

Samtliga provkroppar kommer att mätas med halvårsintervall, en mätning i Maj och en i november. I och med tre års exponering kommer en ny utvärdering av mätintervall att göras. Vid tydliga processer och variationer kommer intervallet vara det samma men vid en icke mätbar skillnad kommer intervallet ökas till 1 år mellan mättillfällena.

FÄLTSTATION FÖR LÅNGTIDS- PROVNING I ÄLVMILJÖ

Betongkonstruktioner i vatten- och kärnkraft utsätts för stora temperaturvariationer, låga temperaturer, höga fuktnivåer och höga tryck. Det kan resultera i frostangrepp, erosion, urlakning och sprickbildning. Det är därför viktigt att veta mer om åldring och livslängd på byggnadsverk, material och komponenter. Livslängden på betonganläggningar i vattenkraft bedöms vara mellan 50 och 160 år vilket betyder att många betongdammar närmar sig eller redan nu kräver reparationer och uppgraderingsinsatser.

Det saknas kunskap om hur material och tekniska lösningar inom betongområdet åldras på lång sikt. Därför har en fältstation för verklig exponering i älvmiljö byggts upp vid Dalälven där tre olika tester just nu pågår. Ett av försöken vid stationen som handlar om pågjutning är nu inne på tredje året av exponering. Ett annat som rör fogband har pågått sedan hösten 2014. Det tredje testet startade också under hösten 2014 och berör alkali-kiselsyrareaktionen, AKR i betong. Här redovisas läget i studierna just nu. De slutliga resultaten väntas först efter fem till tio års exponering.

Ett nytt steg i energiforskningen

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



Energiforsk