

FÄLTSTATION FÖR LÅNGTIDSPROVNING I ÄLVMILJÖ

RAPPORT 2020:713



VATTENKRAFT

BETONGTEKNISKT PROGRAM
VATTENKRAFT



Energiforsk

Fältstation för långtidsprovning i älvmiljö

Lägesrapport 2019

MARTIN JONAS STRAND

MARTIN ROSENQVIST

ISBN 978-91-7673-713-2 | © Energiforsk december 2020

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 försöksserier pågår sedan ett flertal år i fältstationen, med provkroppar för att undersöka långtidsegenskaper för pågjutning, fogband respektive alkali-kiselsyrareaktionen, AKR. Provkroppar tas regelbundet upp för provtagning, och en summerande lägesrapport görs i slutet av varje etapp av Betongtekniskt program vattenkraft.

Mätning har genomförts av personal från Vattenfall R&D och resultaten har summerat och utvärderats av Martin Rosenqvist, seniorkonsult på AFRY. Projektet har genomförts inom Energiforsk Betongtekniskt program vattenkraft, med intressenterna Fortum Sverige AB, Jämtkraft AB, Jönköping Energi AB, Karlstads Energi AB, Skellefteå Kraft AB, Sollefteåforsens AB, Statkraft Sverige AB, Sydkraft Hydropower AB, Umeå Energi AB, Vattenfall AB Vattenkraft och Vattenfall Indalsälven AB.

Sammanfattning

Föreliggande rapport är en uppföljning av Energiforsk-rapport 2016:252, vilken redogjorde för uppstartsfasen av tre projekt för långtidsprovning av betong och fogband i älvmiljö. I aktuell rapport redovisas resultaten från uppföljningsmätningar utförda huvudsakligen 2018/2019.

Under 2013 och 2014 igångsattes tre projekt för långtidsprovning av betong och fogband i älvmiljö. De två projekten med bäring på betong syftar dels till att studera hur pågjutning inverkar på fukttillstånd och fukttransporter i pågjutning och bakomliggande betong och dels till att studera händelseförloppet vid expansiva volymändringar till följd av alkali-silika-reaktioner (ASR) i betong med 35 % medelreaktiv ballast. Projektet med bäring på fogband syftar till att öka kunskapen om åldringsscenarier av dilatationsfogar och dess reparationer i dammkonstruktioner med avseende på rådande exponeringsmiljö.

För provkropparna med pågjutning visar mätningar att vattenmättnadsgraden i betongens ytskikt är lägst vid vattenlinjen och ökar med djupet. Lägst vattenmättnadsgrad uppmättes mitt i pågjutningen medan högre värden erhöles nära ytskiktet och i vidhäftningszonen. För provkropparna av betong gjutna med medelreaktiv ballast pågår det alkali-silika-reaktioner i provkroppar som förvaras inomhus vid 20 respektive 38 °C, samt > 90 % relativ fuktighet. För provkropparna som förvaras utomhus vid > 90 % relativ fuktighet kan en antydning till initierad ASR noteras. För provkropparna som förvaras under vatten inomhus respektive utomhus saknas tecken på initierad ASR.

Att inga större förändringar beträffande fogbandens mekaniska egenskaper hittills inträffat, i kombination med osäkerheter kring vissa provningsutföranden, gör det svårt att dra några slutsatser i dagsläget. Det rekommenderas att glesa ut provningsintervallen för att förlänga projektets löptid. Sist i denna rapport presenteras det även förslag på program för fortsatt uppföljning för de två betongrelaterade projekten.

Summary

This report is a follow-up to Energiforsk report 2016:252, which outlined the start-up phase of three projects for long-term testing of concrete and water stoppers in Swedish river environments. This report presents the results of follow-up measurements carried out mainly in 2018/2019.

In 2013 and 2014, three projects were initiated for long-term testing of concrete and water stoppers in river conditions. Two of the projects consider concrete. The first project studies changes in moisture conditions and moisture transport in overlay and substrate concrete. The second project studies the volume changes because of alkali silica reactions (ASR) in concrete with 35 % reactive aggregates. The project considering water stoppers is aimed at increasing the knowledge of aging scenarios of dilatation joints and repairs of them in concrete dams with regard to the prevailing exposure conditions.

Regarding the specimens with overlay concrete, the measurements show that the degree of water saturation of the concrete layer close to the surface is lowest at the waterline and then increases with depth. However, the lowest degree of saturation was measured in the center of the overlay concrete, while higher values were obtained close to the surface layer and in the interphase zone. Regarding the concrete specimens with reactive aggregates, ASR was found in the specimens kept indoors at 20 and 38 ° C, respectively, and at > 90% relative humidity. Regarding the specimens kept outdoors at > 90% relative humidity, the results indicate that ASR has been initiated. There are no indications of initiated ASR for the specimens kept underwater indoors and outdoors.

Since no changes of significance with regard to the mechanical properties of the three water stoppers has been noted, combined with uncertainties about the performance of some tests, it is difficult to draw any conclusions at the moment. It is recommended to increase the test interval to extend the duration of the project. A proposal for continued follow-ups regarding the two concrete related projects are also presented in this report.

Innehåll

1	Inledning	7
1.1	Bakgrund	7
1.2	Syfte och mål	7
2	Pågående projekt – resultat och tolkning	8
2.1	Fukttransport i betong med pågjutning	9
2.2	Fältexponering av fogband	13
2.3	Volymförändringar i betong med medelreaktiv ballast	17
3	Program för fortsatt uppföljning	21
4	Referenser	23

1 Inledning

1.1 BAKGRUND

Vattenkraftskonstruktioner av betong utsätts i utomhusmiljö för stora temperatursvängningar mellan sommar- och vintertid. Utöver detta står konstruktionerna normalt sett i kontakt med vatten, vilket innebär höga fuktnivåer. För höga dammar följer höga hydrostatiska tryck. Exponeringen medför flera skademekanismer som konstruktionen måste vara beständig mot.

De vanligaste skademekanismerna är isbildning av vattnet i betongens porsystem, erosion (från vattenströmmen eller objekt som transporteras med vattnet), tryck från is, samt urlakning i betongen. Hänsyn måste även tas till att skador normalt sett bildas genom att flera olika faktorer samverkar, vilket kan innebära synergieffekter som förvärrar skadorna. Erosion eller isbildning kan exempelvis förvärras vid samverkan med urlakning. Även mekaniska laster kan vara en bidragande faktor till sprickbildning. Om en spricka är under vattenytan och blir vattenfylld kommer genast en medförd risk för t.ex. urlakning och isbildning i sprickan.

På grund av komplexiteten med samverkande skademekanismer är det viktigt att i komplement till laboratoriestudier utföra fältstudier i relevanta exponeringsmiljöer där betong och andra material utsätts för verkliga förhållanden. Med tiden erhålls fördjupad kunskap om provernas åldring, vilket ger information om hur de olika materialen presterar och vilket underhåll som över tid kan förväntas för befintliga konstruktioner. Denna typ av studier är lämpliga att utföra vid en fältstation.

En fältstation för nämnda ändamål finns i Dalälven vid Vattenfalls laboratorium i Älvkarleby. Fältstationen är sammansatt av två pontoner av betong (å 3x10 m). I Elforsk-rapport 10:73 med titel *"Projektering av fältstation för långtidsexponering av betongprover i älvmiljö – Tester i nordiska förhållanden"* beskrivs bakgrunden till fältstationen [1]. I rapporten återfinns nio projektförslag. Tre av dessa projekt startades under perioden 2013 till 2014. Projekten var *"Fukttransport i betong med pågjutning"*, *"Fältexponering av fogband"*, samt *"Exponering av provkroppar med låg samt mellanreaktiv ballast (AKR)"*. I Energiforsk-rapport 2016:252 med titel *"Fältstation för långtidsprovning i älvmiljö – Lägesrapport 2019"* beskrivs de tre projekten tillsammans med en redovisning av valda provningsmetoder [2].

Föreliggande rapport blir en uppföljning av de två tidigare rapporterna, samt delar av Energiforsk-rapport 2016:240 med titel *"Provning och analys av nya och åldrade fogband"* där en första utvärdering av utvalda fogband återges [3]. I denna rapport redovisas erhållna resultat sedan 2016. I de fall det är möjligt diskuteras betydelsen av eventuella förändringar görs det. För beskrivning av projekten med avseende på planering, material och metoder hänvisas till de tidigare rapporterna.

1.2 SYFTE OCH MÅL

Syftet med föreliggande rapport är att fungera som en lägesrapport för de olika försök som pågår på fältstationen. Rapporten kommer att presentera erhållna resultat fram till och med 2019, samt förslag på provningsplan för framtiden.

2 Pågående projekt – resultat och tolkning

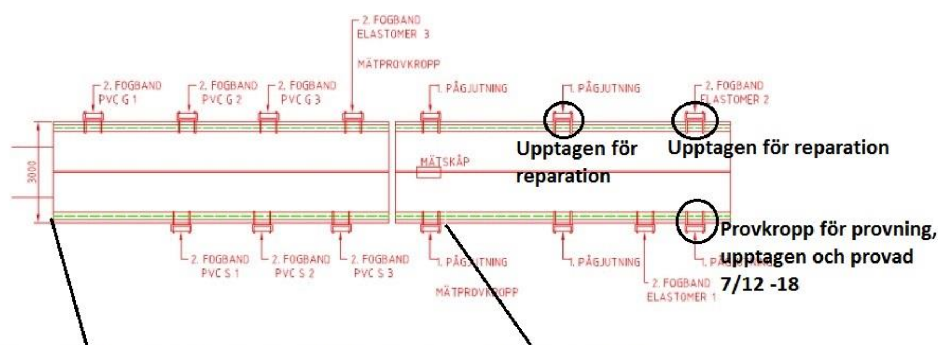
Detta kapitel redovisar resultat till och med 2019 för projekten som var aktiva på fältstationen. Figur 2-1 visar ett foto över hur provkropparna (1,0x0,5x0,15 m) är placerade och hur de exponeras vid fältstationen. Figur 2-2 är ett foto som visar en provkropp som lyfts upp ur vattnet vid fältstationen med hjälp av en kran. Uppe på land borras kärnor ut ur provkropparna för mätningar. Figur 2-3 visar skiss över fältstationen med anteckningar från platsbesöket 2018-12-07.



Figur 2-1. Foto på provkropparnas placering och exponering togs vid fältstationen.



Figur 2-2. Foto från 2018-12-07 då provkropparna togs upp från vattnet för mätningar.



Pumpar trasiga efter att bryggan stått på botten, p.g.a låg vattennivå. Bl.a. trasiga kablar på flera ställen.

Figur 2-3. Skiss över fältstationen med anteckningar från platsbesöket 2018-12-07.

2.1 FUKTTRANSPORT I BETONG MED PÅGJUTNING

Syftet med projektet är att studera hur en pågjutning inverkar på fuktillstånd och fukttransporter i pågjutning och bakomliggande betong. Provkroppar för långtidsprovning placerades på fältstationen i slutet av 2013. För redogörelse av planering och igångsättande av projektet hänvisas till rapport [2]. I Tabell 2.1 redovisas uppmätta egenskaper för betongen i pågjutningen av provkropparna.

Tabell 2.1. Erhållna egenskaper för pågjutningen av provkropparna enligt [2].

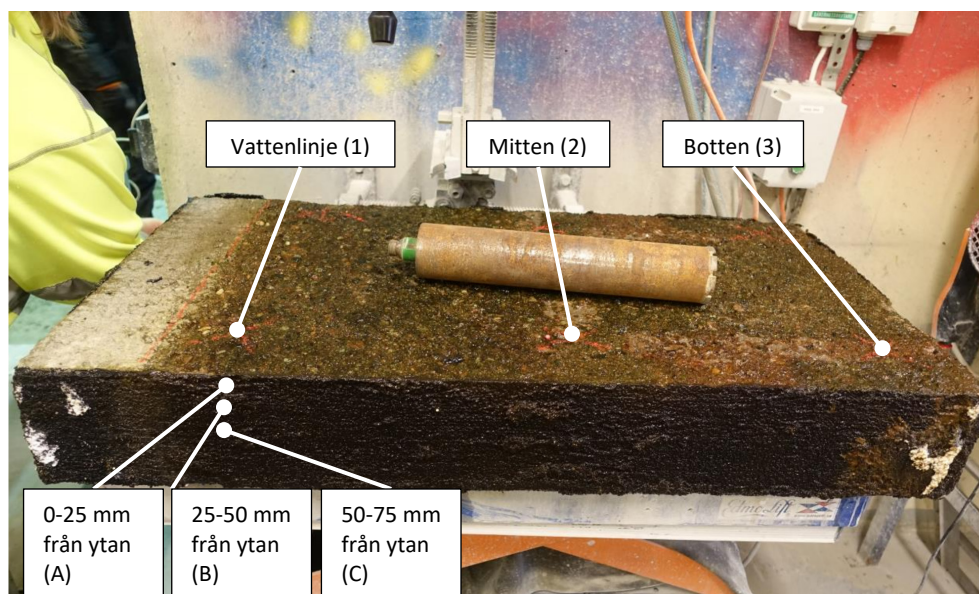
vct (-)	0.43	0.46	0.49
Luft (%)	7.1	9.9	9.1
Bindemedelshalt (kg/m ³)	360	360	360
Sättnmätt (mm)	140	120	135
Tryckhållfasthet 28 d (MPa)	23.5	22.0	19.0

Redovisningen av resultat från den första uppföljningen år 2014 är endast delvis komplett [2]. Fullständiga resultat från uppföljningen 2016 har ej återfunnits.

Figur 2-4 visar en provkropp från 2018 års uppföljning, samt markeringar för var kärnor/prover togs för att bestämma betongens vattenmättnadsgrad. Placeringen av proverna beskrivs med två parametrar. Den första är att kärnor borrar ut från tre olika avstånd från vattennivån. Den andra parametern är att kärnorna delas för att kunna bestämma vattenmättnadsgraden vid tre olika djup från betongens yta.

Proverna benämndes baserat på deras placering. Provplatserna vid "vattenlinjen", "mitten", och "botten" benämns 1, 2 och 3. Proverna som togs på djupet 0-25 mm, 25-50 mm, och 50-75 mm från betongytan benämns A, B, och C. Således kallas de tre proverna vid "vattenlinjen" för 1A, 1B och 1C.

Enligt anteckningar från tillfället då proverna togs ur vattnet var pågjutningarna cirka 60 till 70 mm tjocka. Detta skiljer något från de 50 mm som specificeras i [2].



Figur 2-4. Provplatserna vattenlinje, mitten och botten har märkts ut tillsammans med djupet från betongens yta. Proverna har använts för att bestämma betongens vattenmättnadsgrad.

Tabell 2.2 redovisar mätningar av prover som används för att beräkna betongens vattenmättnadsgrad. Proverna vägdes direkt efter utbörning och delning. Sedan torkades de i en ugn i 105 °C i 140 dygn. Därefter vägdes proverna för att erhålla torrvikten. Efter detta vattenmättnades de och låg under vatten i 49 dygn. Därefter vägdes de vattenmättade proverna i vatten och luft. Detta möjliggör beräkningen av vilken vattenmättnadsgrad proverna hade då de togs in från fältstationen. Ekvationerna som användes redovisas i Ekv. 2-1 och Ekv. 2-2 nedan.

Tabell 2.2. Mätdata för bestämning av vattenmättnadsgrad.

	Prover direkt efter fältexponering	Start vatten- mättnings	Efter 49 d vatten- mättnings	Efter 49 d vatten- mättnings					Vatten- mättnads- grad
Datum	2018-12-07	2019-04-26	2019-06-14	2019-06-14					2018-12-07
Vattenlinje	$Q_{\text{fält}}$	Q_{torr}	$Q_{\text{mättad.H}_2\text{O}}$	$Q_{\text{mättad.luft}}$	$V_{\text{öppen}}$	V_{tot}	P_{tot}	$VMG_{\text{fält}}$	
1A	187.78	172.96	108.6	196.71	0.024	0.088	0.270	0.624	
1B	155.28	145.86	91.3	165.68	0.020	0.074	0.266	0.475	
1C	181.72	172.72	108.09	187.45	0.015	0.079	0.186	0.611	
Mitten									
2A	181.68	166.03	104.43	189.89	0.024	0.085	0.279	0.656	
2B	153.40	143.46	89.9	164.94	0.021	0.075	0.286	0.463	
2C	181.42	171.05	107.3	188.27	0.017	0.081	0.213	0.602	
Botten									
3A	171.90	155.16	97.31	177.22	0.022	0.080	0.276	0.759	
3B	158.86	149.18	93.42	167.6	0.018	0.074	0.248	0.526	
3C	149.64	140.59	88.15	155.58	0.015	0.067	0.222	0.604	

Ekv. 2-1. Beräkning av totala porositeten för att möjliggöra beräkning av vattenmättnadsgraden.

$$P_{tot} = \frac{V_{öppen}}{V_{tot}} = \frac{\frac{Q_{mättad,luft} - Q_{torr}}{\rho_{H_2O}}}{\frac{Q_{mättad,luft} - Q_{mättad,H_2O}}{\rho_{H_2O}}}$$

P_{tot} = Total porositet, m³

$V_{öppen}$ = Öppen porositet, m³

V_{tot} = Total volym för provkroppen, %

Q_{torr} = Massa för prov som torkat i 105 °C, kg

$Q_{mättad,luft}$ = Massa för vattenmättat prov i luft, kg

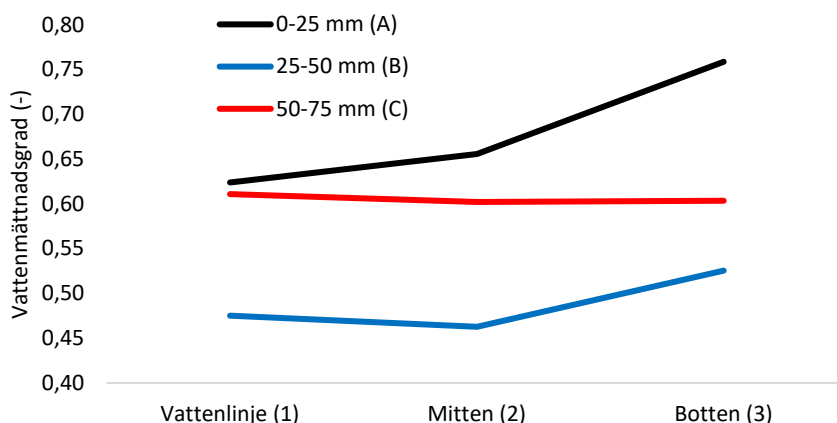
$Q_{mättad,H_2O}$ = Massa för vattenmättat prov i vatten, kg

ρ_{H_2O} = Densitet för vatten, kg/m³

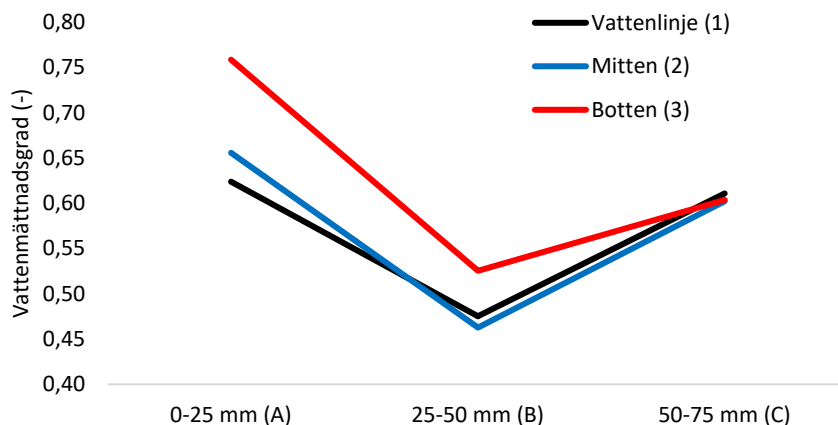
Ekv. 2-2. Beräkning av vattenmättnadsgraden (VMG) hos provkropparna efter fältextponeringen.

$$VMG = \frac{\frac{Q_{fält} - Q_{torr}}{\rho_{H_2O}}}{\frac{Q_{mättad,luft} - Q_{torr}}{\rho_{H_2O}}}$$

Figur 2-5 och Figur 2-6 visar grafiskt resultaten för betongens vattenmättnadsgrad. Respektive linje i Figur 2-5 visar hur vattenmättnadsgraden (på y-axeln) varierar med avståndet från vattenlinjen (på x-axeln). Vardera linjen i Figur 2-6 visar hur vattenmättnadsgraden (på y-axeln) varierar med djupet från betongens yta (på x-axeln) för respektive provplats (vattenlinjen, mitten, och botten enligt Figur 2-4).



Figur 2-5. Variation i betongens vattenmättnadsgrad med avståndet från vattenlinjen.

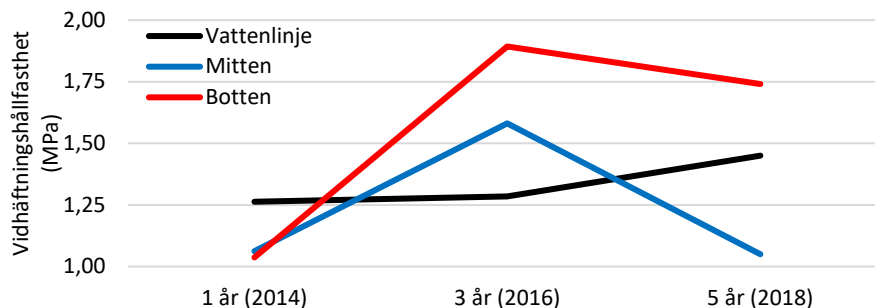


Figur 2-6. Variation i betongens vattenmättnadsgrad med djupet från betongens yta.

Enligt Figur 2-5 ökar betongens vattenmättnadsgrad generellt med avståndet från vattenlinjen. Mätningarna närmast betongens yta (linjen 0-25 mm) visar en tydlig ökning från vattenlinjen ner till botten av provkroppen (se Figur 2-4). För proven på djupet 25-50 mm från betongens yta så syns också en ökning från vattenlinjen till botten av provkroppen. För mätningar på djupet 50-75 mm från betongens yta syns ingen tydlig ökning med djupet från vattenlinjen.

Enligt Figur 2-6 är betongens vattenmättnadsgrad högst närmast betongens yta och lägst i den mittersta delen av pågjutningen. En möjlig orsak skulle kunna vara att den mittersta delen har haft störst självvuttorkning. Att vattenmättnadsgraden är högre i delen kring motgjutningsytan kan möjligtvis förklaras av att betongens kvalitet har blivit sämre eller att det bildats fina sprickor, varför vatten i större utsträckning kan sugas upp kapillärt och leda till högre vattenmättnadsgrad i denna del. Framtida uppföljningar kommer att visa hur processen fortgår.

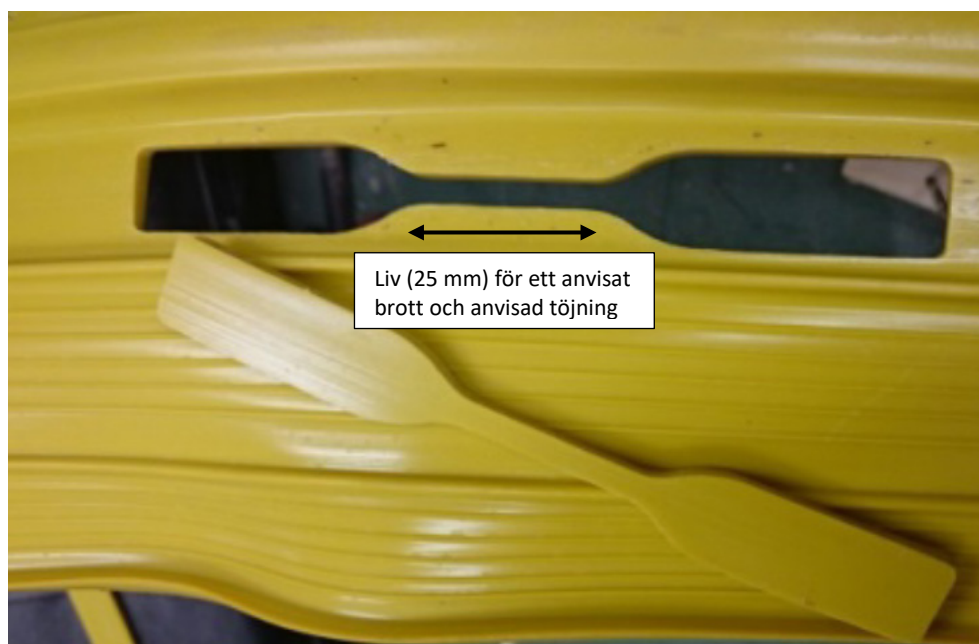
Figur 2-7 redovisar resultaten för vidhäftningshållfastheten mellan pågjutning och underliggande betong. Resultat visas från ett, tre och fem år efter försökets start. Vid provningarna 2014 och 2018 anges det ej var brottet skedde. I protokollet från 2016 anges det att brottet i vattenlinjen skedde i pågjutningen medan det skedde blandat i vidhäftningszon och underliggande betong för de två andra platserna. Hittills kan ingen trend noteras som skulle kunna indikera större förändringar.



Figur 2-7. Vidhäftningshållfasthet för pågjutningen vid vattenlinjen, mitten, och botten efter 1 och 5 år.

2.2 FÄLTEXPONERING AV FOGBAND

Syftet med projektet är att öka kunskapen om åldring av fogband i dilatationsfogar med avseende på rådande exponeringsmiljöer. Provkroppar för långtidsprovning placerades på fältstationen i slutet av 2014. För information kring planering och igångsättande av projektet hänvisas till rapport [2]. Hösten 2018 utfördes nya undersökningar. Mätningarna utfördes på utstansade provkroppar (Figur 2-9).



Figur 2-8. Utstansning av provkroppar av gul PVC för mätning av töjning och draghållfasthet.

För att jämföra längdförändringar hos provkroppar beräknas töjningarna. Töjning, enligt Ekv. 2-3, är den relativa längdförändringen i förhållande till mätlängden för respektive provkropp. För dessa mätningar så sker töjningen och brottet vid livet, varför livets längd sätts som den ursprungliga längden vid beräkning av töjning. Draghållfastheten, enligt Ekv. 2-4, beräknas genom att dividera lasten som verkade vid brottet med tvärsnittsarean av provkroppen. Resultaten från dessa mätningar presenteras i Tabell 2.3, Tabell 2.4 och Tabell 2.5 för Elastomer, svart och gul PVC.

Resultat från den första uppföljningen som skulle ha genomförts hösten 2016 enligt [2] har ej påträffats trots eftersökningar. Detta omfattar även mätningar av:

- Hårdhetsmätning (Mikro Shore A) – Hårdhetsgrad
- Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR) – Kemiska föreningar
- Dynamisk mekanisk analys (DMA) – Glastransitionstemperatur, T_g

I Energiforsk-rapport 2016:240 [3] finns det värden på draghållfastheten hos icke exponerade fogbandsprov av Elastomer (benämning 6), samt gul (4) respektive svart PVC (7). Dessa värden från 2015 utgör referens till nuvarande uppföljning. Rapport [2] anger att fogband av typen Elastomer har benämningen (5), vilket antas vara felaktigt. Referensvärden för fogbandens töjning är ej användbara.

Ekv. 2-3. Beräkning av töjning för respektive provkropp vid respektive mättillfälle.

$$\varepsilon = \frac{\Delta l_{i,t}}{L_{i,0}} = \frac{(L_{i,t} - L_{i,0})}{L_{i,0}}$$

ε = Töjning för provkroppen, %

$\Delta l_{i,t}$ = Längdförändringen av provkropp i vid brottet, m

$L_{i,t}$ = Längd av provkropp i vid brottet, m

$L_{i,0}$ = Längd av provkropp i vid tid 0 av provdragning, m

Ekv. 2-4. Beräkning av töjning för respektive provkropp vid respektive mättillfälle.

$$\sigma = \frac{F}{A} = \frac{F}{t \cdot b}$$

σ = Spänningen som verkade på provet vid brottet, MPa

F = Kraften som verkade på provet vid brottet, MPa

A = Tvärsnittsarean vid livet på provkroppen, m²

t = Provets tjocklek vid livet på provkroppen, m

b = Provets bredd vid livet på provkroppen, m

Tabell 2.3. Resultat från mekanisk provning av fogband 6 av Elastomer . 2015 års värden som referens [3].

Elastomer (6)									
Fogband +20 °C			Resultat				2018	2015	
Mått			Brott	Start	Δl	Töjning ε	Last	Spänning	Spänning
Provkropp	Tjocklek	Bredd	mm	mm	mm	%	N	MPa	MPa
1	8.5	5.3	184	87	97	288	384	8.52	-
2	8.5	5.2	179	81	98	292	393	8.89	-
3	8.5	5.2	183	90	93	272	392	8.87	-
Medel						284		8.76	9.2
Standardavvikelse						9		0.17	

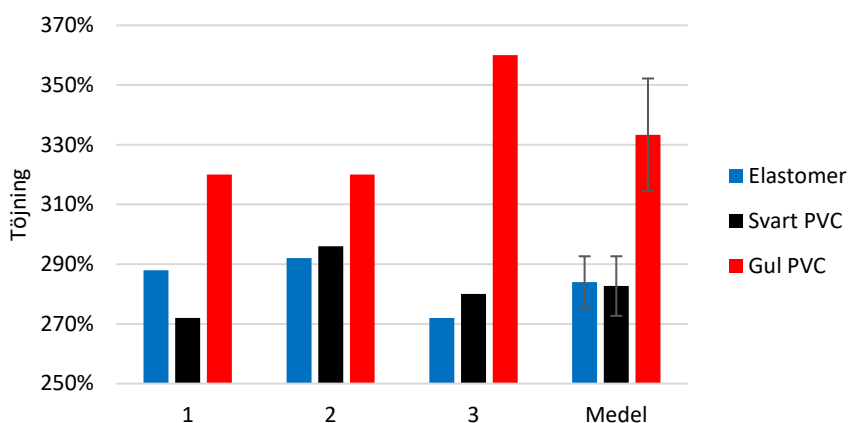
Tabell 2.4. Resultat från mekanisk provning av fogband 7 av Svart PVC. 2015 års värden som referens [3].

Svart PVC (7)									
Fogband +20 °C			Resultat				2018	2015	
Mått			Brott	Start	Δl	Töjning ε	Last	Spänning	Spänning
Provkropp	Tjocklek	Bredd	mm	mm	mm	%	N	MPa	MPa
1	4	6	156	63	93	272	234	9.75	-
2	4	5.8	159	60	99	296	235	10.13	-
3	4	5.8	160	65	95	280	236	10.17	-
Medel						283		10.02	12.0
Standardavvikelse						10		0.19	

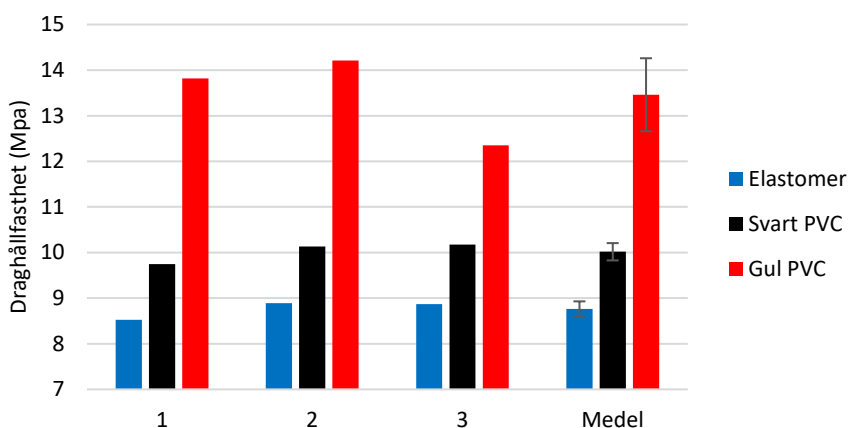
Tabell 2.5. Resultat från mekanisk provning av fogband 4 av Gul PVC. 2015 års värden som referens [3].

Gul PVC (4)									
Fogband +20 °C			Resultat					2018	2015
Mått			Brott	Start	Δl	Töjning ϵ	Last	Spänning	Spänning
Provkropp	Tjocklek	Bredd	mm	mm	mm	%	N	MPa	MPa
1	5.50	4.50	180	75	105	320	342	13.82	-
2	5.40	4.30	175	70	105	320	330	14.21	-
3	5.70	4.90	198	83	115	360	345	12.35	-
Medel						333		13.46	13.9
Standardavvikelse						19		0.80	

I Figur 2-9 och Figur 2-10 presenteras resultaten för fogbandens töjning respektive draghållfasthet i grafisk form. Det är tydligt att gul PVC är mest elastisk (kan töjas mest) och har högst draghållfasthet. Från FTIR spektra presenterat i rapport [4] framgår det att både det gula och det svarta är mjukgjorda med en ortofoalat. Det svarta fogbandet har däremot mer kalciumkarbonat tillsatt medan det gula fogbandet innehåller stearat. Det finns alltså viss skillnad mellan dem.



Figur 2-9. Töjning för respektive fogband samt medelvärde med standardavvikelse. 2018 års värden.



Figur 2-10. Draghållfasthet för respektive fogband samt medelvärde med standardavvikelse. 2018 års värden.

Efter att provkropparna hade plockats upp hösten 2018 skickades dessa till RISE för bestämning av hårdhet enligt Shore-metoden (mikro shore A) och dynamisk mekanisk analys (DMA). Graden av hårdhet anges mellan 0 och 100 grader. Ett värde av 0 innebär att deformationen vid en specificerad belastning går genom hela materialet och värdet 100 att det inte blir någon deformation alls. Detta innebär att mjuka material har låga värden och hårda material höga dito.

Genom DMA-mätning erhålls ett materials glastransitionstemperatur T_g . Detta är den temperatur vid vilken materialet övergår från ett hårdare "glastillstånd" till ett mjukare tillstånd. En styv PVC, det vill säga icke mjukgjord, har T_g runt 80 °C. Mjukgjord PVC kan nå ned till T_g runt -50 °C med tillräcklig mängd mjukgörare. För närmare beskrivning av provningsmetoderna hänvisas till [3].

I Tabell 2.6 visas resultaten från bestämning av fogbandens hårdhetsgrad och glastransitionstemperatur. Resultaten från provkropparna som togs upp 2018 jämförs med värden redovisade i Energiforsk-rapport 2016:240 [3]. Angående fogbandens hårdhet 2015 anges det i metodbeskrivningen att hårdheten mättes under 15 sekunder. I resultatavsnittet uppges värdet 10 sekunder. Det är oklart vilket alternativ som är korrekt och i vilken grad skillnaden kan påverka värdet. För 2018 års mätningar anges det att hårdheten mättes under 15 sekunder. Det anges dessutom att spridningen i resultaten är mycket stor även inom en och samma provkropp. Upp till ± 13 enheter [4].

Tabell 2.6. Resultat i form av medelvärden från bestämning av hårdhetsgrad och glastransitionstemperatur för fogband av typen Elastomer, samt svart och gul PVC.

Fogband	Hårdhetsmätning (0 – 100 grader)		Glastransitionstemperatur, T_g (°C)	
	2018 (15 s)	2015 (10 s)	2018	2015
Elastomer (6)	67	60	-50	-47
Svart PVC (7)	79	87	-62	-44
Gul PVC (4)	71	81	-55	-44

Resultaten med avseende på fogbandens hårdhet indikerar att fogbandet av typen Elastomer har hårdnat något medan fogbanden av PVC istället har mjuknat något sedan mätningarna utfördes på ej exponerade referensprov 2015. Det är dock inte möjligt att dra några långtgående slutsatser i dagsläget till följd av osäkerheten kring provningsförfarandet och vilken betydelse som skillnaden har i hur länge hårdheten mättes. Inför framtida uppföljningar är det viktigt att förhållandet reds ut och att det fastställs om mätningarna ska utföras under 10 eller 15 sekunder.

Resultaten med avseende på fogbandens glastransitionstemperatur verkar ligga i linje med resultaten för hårdheten. 2018 års värde för fogband av typen Elastomer har ej förändrats nämnvärt jämfört med 2015. För fogbanden av PVC har däremot glastransitionstemperaturen sjunkit, vilket innebär att materialen fortsatt är mjuka vid låga temperaturer och därmed tillåter rörelser i polymerkedjorna.

2.3 VOLYMFÖRÄNDRINGAR I BETONG MED MEDELREAKTIV BALLAST

Syftet med projektet är att studera händelseförloppet vid skadliga volymändringar till följd av alkali-silika-reaktioner (ASR) i betong med 35 % medelreaktiv ballast i form av kvartsit. Referens utgörs av betong utan reaktiv ballast. Provkroppar av betong har sedan tillverkningen i slutet av 2014 exponerats i olika miljöer. För redogörelse av planering och uppstart av projektet hänvisas till rapport [2].

För att kvantifiera inverkan av alkali-silika-reaktioner (ASR), vilka medför volymökning, mäts provkropparnas längd med jämna intervall. Provkropparnas storlek är 75x75x285 mm. Figur 2-11 visar provkropp med och utan mätuppställning.



Figur 2-11. Provkropp och uppställning för mätning av längdutveckling till följd av AKR.

Längdförändringar hos provkropparna kvantifieras genom att beräkna töjningen. Töjning, enligt Ekv. 2-5, är längdförändringen i förhållande till ursprunglig längd.

Ekv. 2-5. Beräkning av töjning för respektive provkropp vid respektive mättillfälle.

$$\varepsilon = \frac{\Delta l_{i,t}}{L_{i,0}} = \frac{(L_{i,t} - L_{i,0})}{L_{i,0}}$$

ε = Töjning för provkroppen, %

$\Delta l_{i,t}$ = Längdförändringen av provkropp i vid tid t, m

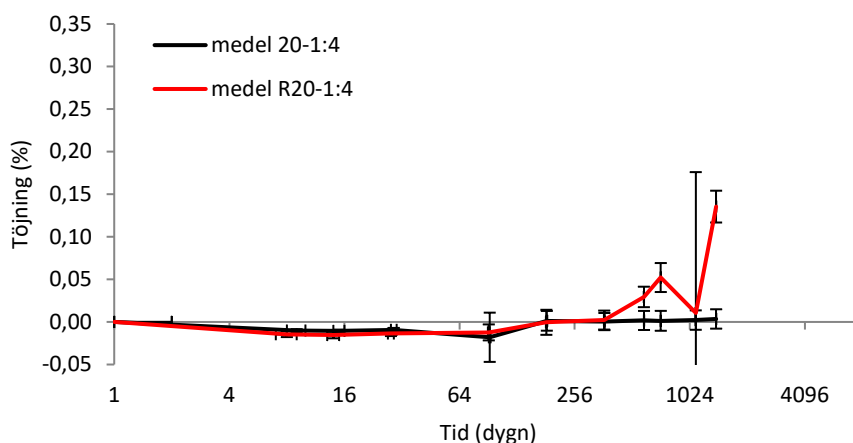
$L_{i,t}$ = Längd av provkropp i vid tid t, m

$L_{i,0}$ = Längd av provkropp i vid start av mätning, m

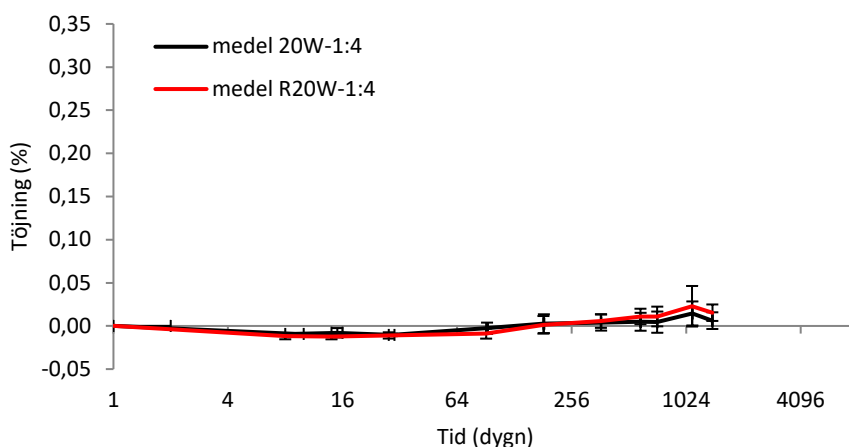
För att förenkla jämförelsen mellan betong innehållande reaktiv ballast med betong utan reaktiv ballast plottas provkropparnas längdförändringar (töjning) på y-axeln som funktion av tiden (dygn) på x-axeln. Provkroppar exponeras i följande miljöer:

- Inomhus vid 20 °C och relativ fuktighet > 90 %.
- Inomhus vid 20 °C och nedsänkt i vatten.
- Inomhus vid 38 °C och relativ fuktighet > 90 %.
- Utomhus (varierande temperatur) vid relativ fuktighet > 90 %.
- Utomhus (varierande temperatur) och nedsänkt i älvvatten.

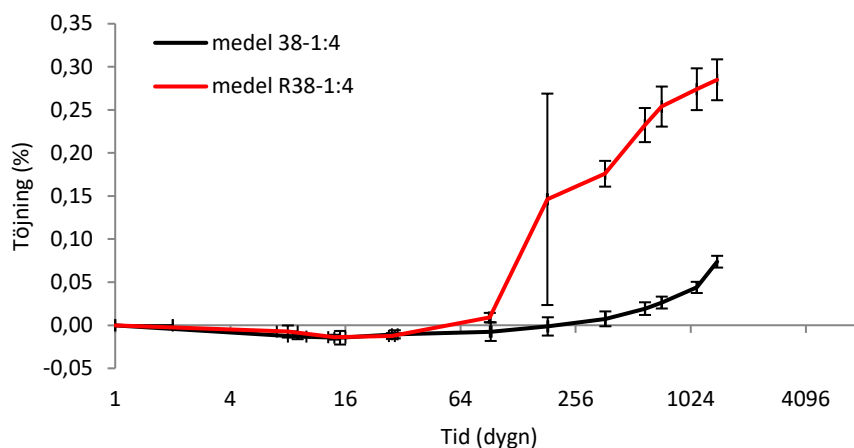
Resultat från utförda mätningar till och med hösten 2018 presenteras i Figur 2-12 till och med Figur 2-16. Graferna i figurerna visar utveckling för medelvärde och standardavvikelse under perioden. Skalan på Y-axeln är densamma för samtliga grafer för att underlätta tolkning. För att identifiera resultaten tillhörande provkropparna med reaktiv ballast har respektive benämning försetts med ett "R".



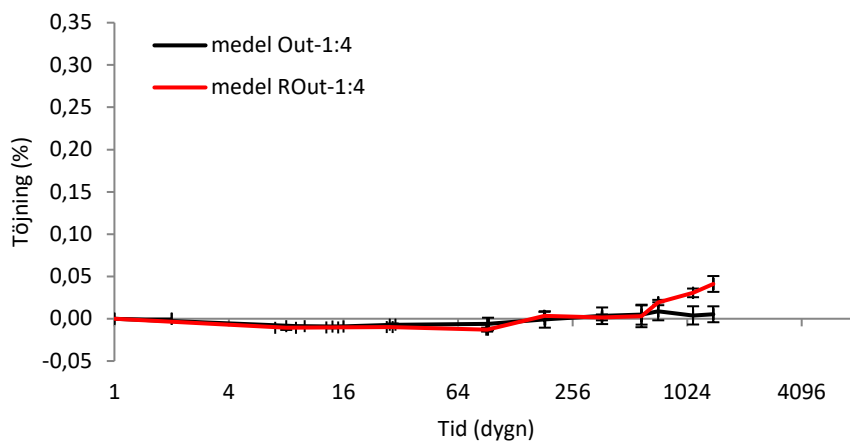
Figur 2-12. Medelvärde samt standardavvikelse för de 4 provkropparna som benämns "20" och "R20". Dessa provkroppar exponeras inomhus vid 20 °C och relativ fuktighet > 90 %.



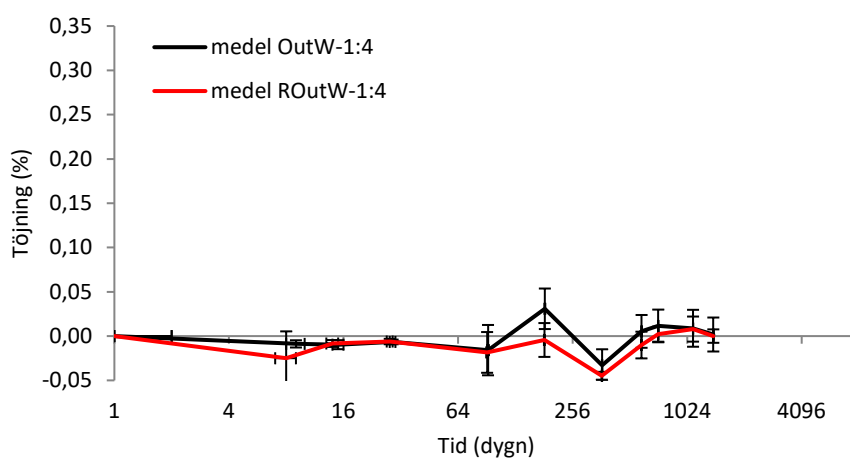
Figur 2-13. Medelvärde samt standardavvikelse för de 4 provkropparna som benämns "20W" och "R20W". Dessa provkroppar exponeras inomhus vid 20 °C och nedsänkta i vatten.



Figur 2-14. Medelvärde samt standardavvikelse för de 4 provkropparna som benämns "38" och "R38". Dessa provkroppar exponeras inomhus vid 38 °C och relativ fuktighet > 90 %.



Figur 2-15. Medelvärde samt standardavvikelse för de 4 provkropparna som benämns "Out" och "ROut". Dessa provkroppar exponeras utomhus och vid relativ fuktighet > 90 %.



Figur 2-16. Medelvärde samt standardavvikelse för de 4 provkropparna som benämns "OutW" och "ROutW". Dessa provkroppar exponeras utomhus och nedsänkta i älvvatten.

Vad som kan noteras för samtliga provkroppar är att de initialt krympte i samband med cementets hydratation och betongens uttorkning. Vidare bör det påpekas att felaktig avläsning av mätklockan troligtvis inträffade för vissa av provkropparna vid uppföljningen efter 182 dygn [2]. Vid samma tillfälle förslöts inte behållaren ordentligt för de prover som skulle förvaras utomhus under vatten. Detta sammanlagt har medfört en tillfälligt större spridning i mätvärdena.

Graferna visar tydligt att provkropparna av betong med reaktiv ballast och som förvaras inomhus vid 20 och 38 °C har pågående alkali-silika-reaktion (ASR); se röda linjer i Figur 2-12 och Figur 2-14. Störst töjning (expansion) har uppmätts för provkropparna som förvaras vid 38 °C, vilket stämmer väl överens med teorin att ASR accelereras vid förhöjd temperatur. I rapport [2] fastställdes det att ballasten var av reaktiv typ tack vare resultaten från den accelererade provningen vid 38 °C. Enligt provningsmetod ASTM C1293 bedöms en ballast vara reaktiv om uppmätt expansion efter ett år är större än 0,04 % av provkroppens ursprungliga längd.

För provkropparna som förvaras utomhus vid en relativ fuktighet av > 90 % kan en tendens till begynnande expansion noteras för betongen med reaktiv ballast; se röd linje i Figur 2-15. För provkropparna innehållande reaktiv ballast och som förvaras under vatten inomhus respektive utomhus kan ingen expansion noteras.

För provkropparna av betong utan reaktiv ballast förväntas ingen expansion. Dock har begynnande expansion uppmätts för provkropparna som förvaras vid 38 °C; se svart linje i Figur 2-14. Orsakerna till expansionen kan behöva undersökas närmare om utvecklingen fortgår. I övrigt har ingen expansion noterats i provkropparna av betong utan reaktiv ballast, varken i inom- eller utomhusmiljö.

3 Program för fortsatt uppföljning

Nedan presenteras ett förslag på program för uppföljande mätningar framöver. Om avvikande värden erhålls innan dess kan programmet behöva revideras.

Fukttransport i betong med pågjutning

Rörande provkropparna för uppföljning av fukttransport i betong med pågjutning, samt bestämning av vidhäftningshållfasthet mellan pågjutning och underliggande betong skulle uppföljning ske enligt rapport [2] efter 1, 3, 5, 10 och 15 år. Efter 2018 års uppföljning återstår det två provkroppar på fältstationen. Förslagsvis fortsätter projektet enligt plan, det vill säga att framtida uppföljningar görs efter 10 (2023) respektive 15 år (2028).

Däremot rekommenderas det att inför 2023 års uppföljning undersöka ifall det går att nyttja en provkropp till två uppföljningar, det vill säga att skapa möjligheter för uppföljningar också efter 25 (år 2038) och 50 (år 2063). Faktorer att ta i beaktning är bland annat placeringen av de utborrade kärnorna, samt diametern på dem. De hål som uppstår efter utborrning skulle kunna fyllas ut med lämpligt material som dels försluter hålen och dels inte påverkar omgivande betong.

Fogband

Gällande fältexponeringen av fogband föreslogs det i rapport [2] att de mekaniska egenskaperna skulle bestämmas en gång per år mellan 2017 och 2021. En mätning gjordes 2018 och har dokumenterats. Ingen mätning utfördes 2019. Det är vidare osäkert om det utfördes någon mätning 2017. Enligt inventering utförd 2018 ska det efter 2018 års provning finnas kvar elva kassetter med ingjutna provkroppar. Det föreslås att dessa kassetter ska användas på följande vis:

- 2021 – en kassett – bestämning av töjning och draghållfasthet.
- 2024 – en kassett – bestämning av töjning och draghållfasthet.
- 2027 – en kassett – bestämning av töjning och draghållfasthet.
- 2030 – en kassett – bestämning av töjning och draghållfasthet.
- 2035 – en kassett – bestämning av töjning och draghållfasthet.
- 2040 – en kassett – bestämning av töjning och draghållfasthet.
- 2045 – en kassett – bestämning av töjning och draghållfasthet.
- 2055 – en kassett – bestämning av töjning och draghållfasthet.
- 2065 – en kassett – bestämning av töjning och draghållfasthet.

Efter 50 års provning återstår två kassetter. Vid behov kan kassetterna användas för att följa utvecklingen i fogbandens hårdhetsgrad, glastransitionstemperatur, samt förekomsten av kemiska föreningar, exempelvis tillsatta mjukgörare. Dock bör det undersökas om dessa tre analyser kan utföras på fogbandsresterna efter bestämningen av de mekaniska egenskaperna. Möjligheterna att noggrant följa fogbandens åldring över tid skulle därmed förbättras utan att kassetterna förbrukas i en takt som försvårar långtidsmätningar.

För vardera typ av fogband finns det tre stora provkroppar på fältstationen där fogbanden har gjutits in som om det vore i en riktig dilatationsfog. I rapport [2] står det att någon av dessa totalt nio provkroppar ska analyseras om avvikande

resultat erhålls vid de regelbundna provningarna. Om inga avvikelser noteras föreslås det att provkroppar ska plockas upp för vidare analys "*om tidigast fem respektive tio års exponering*". I dagsläget föreslås det att avvakta tillsvidare. Dock bör det övervägas om någon provkropp kan analyseras inom ramen för annat projekt där resultaten också kan ingå i framtida lägesrapport för fältstationen.

Volymförändringar i betong med reaktiv ballast

Hittills har provkropparna av betong innehållande reaktiv ballast mätts en gång i halvåret – maj och november månad. Framöver föreslås det att öka intervallet till en mätning per år. Mätningen bör utföras i november. Tillsyn av provkroppar och förvaringskärl bör även fortsättningsvis ske minst en gång i kvartalet.

Förvaltning av information

Till sist föreslås det att samla ihop all data och information som rör fältstationen på en plats för att underlätta kommande uppföljningar. Dessutom bör mätprotokoll upprättas för samtliga pågående provningar där värden förs in allteftersom de insamlas. Externa provningsrapporter namnges på systematiskt sätt för att underlätta överblick kring vilka analyser som har utförts och när i tiden.

4 Referenser

- [1] Persson M., Rosenqvist M., Stojanović B. (2010). *Projektering av fältstation för långtidsexponering av betongprover i älvmiljö – Tester i Nordiska förhållanden*, Elforsk rapport 10:73.
- [2] Persson M. (2016). *Fältstation för långtidsprovning i älvmiljö*, Energiforsk rapport 2016:252.
- [3] Jacobson K., Nordänger S., Lukes D. (2016). *Provning och analys av nya och åldrade fogband – Fogband bestående av PVC och/eller elastomer*, Energiforsk rapport 2016:240.
- [4] Josefsson J. (2019). *Undersökning av tre stycken fogband*, RI.SE (ej publicerad)

FÄLTSTATION FÖR LÅNGTIDSPROVNING I ÄLVMILJÖ

Det här är en uppföljning av en tidigare rapport som beskrev uppstartsfasen av tre projekt för långtidsprovning av betong och fogband i älvmiljö som startade 2013 och 2014.

De två betongprojekten handlar om hur pågjutning inverkar på fukttillstånd och fukttransporter i pågjutning och ursprunglig betong. I de projekten studeras också händelseförloppet vid skadliga expansiva volymändringar till följd av alkali-silika-reaktioner i betong med 35 procents medelreaktiv ballast.

Projektet som handlar om fogband ska öka kunskapen om åldringsscenarier av dilatationsfogar och hur de ska repareras i dammkonstruktioner med avseende på exponeringsmiljön. Här redovisas resultaten från uppföljningsmätningar som har utförts under 2018/2019.

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