

Utvärdering av egenskaperna hos fogband i
mjukgjord PVC för betongkonstruktioner –
Korrelation mellan accelererad åldring,
långtidsexponering och fogband i drift.

Elforsk rapport 13:39



Thomas Blomfeldt, Petter Bergsjö

Feb. 2013

ELFORSK

**Utvärdering av egenskaperna hos fogband i
mjukgjord PVC för betongkonstruktioner –
Korrelation mellan accelererad åldring,
långtidsexponering och fogband i drift.**

Elforsk rapport 13:39

Förord

Elforsk driver forskningsprogram kring betongkonstruktioner inom vatten- och kärnkraftverk. Det finns ett behov av att både bygga upp kompetens inom området och att utveckla teknikbasen för teknisk förvaltning av byggnader och konstruktioner inom kraftindustrin. Det övergripande målet med de betongtekniska programmen är att säkerställa avsedd livslängd och hög tillgänglighet för svenska kraftverk med bibehållen säkerhet och för att kunna driva en effektiv förvaltning.

Polymera material i kontakt med betong förekommer i stor utsträckning i både kärnkraftverk och vattenkraftverk. Kunskapen om hur polymera material åldras och korroderar är i många fall begränsad. Materialsammansättningen varierar kraftigt mellan olika produkter, och ibland till och med mellan olika tillverkningsserier. Det är av stor vikt att få en önskad kunskap om hur man statusbedömer materialen och beräknar återstående livslängd. Att byta ut komponenter är många gånger kostsamt och komplicerat, särskilt i de fall där de polymera materialen är ingjutna i betongkonstruktionerna.

Elforsks två betongprogram har därför finansierat en kartläggning av polymera material i kontakt med betong för att få en bild av vilka material och konstruktioner som förekommer i anläggningarna. Projektet har utförts av Swerea/KIMAB med Thomas Blomfeldt som projektledare. Denna sidostudie gjordes som en del av projektet eftersom intresset för fogband var mycket stort.

Betongtekniskt program kärnkraft finansieras av Vattenfall, kärnkraftverken i Forsmark, Ringhals samt OKG i Oskarshamn, Strålsäkerhetsmyndigheten (SSM) samt av Teollisuuden Voima Oy (TVO) i Finland.

Betongtekniskt program vattenkraft finansieras av Vattenfall, Fortum, E.ON, Statkraft, Skellefteå Kraft, Jämtkraft, Sollefteåforsens, Karlstads Energi och Jönköping Energi.

Projektet har följts av en styrgrupp bestående av Jonas Bergfors EON OKG, Jan Gustavsson, Johan Klasson och Johanna Spåls Vattenfall Ringhals, Jan-Erik Lindbäck, Patrik Gatter, Bojan Stojanović och Manouchehr Hassanzadeh Vattenfall, Kostas Xanthopoulos och Sofia Lillhök SSM, Lars-Erik Berglund, Marcus Edin, Anders Bergkvist och Henrik Bäckström Vattenfall Forsmark, Juha Riihimäki TVO samt Cristian Anderson, Lars Wrangensten och Monika Adsten, Elforsk. Elforsk tackar styrgruppen för värdefulla synpunkter och kommentarer.

Elforsk i januari 2013

Monika Adsten
Programområde Kärnkraft

Cristian Andersson
Programområde Vattenkraft

Sammanfattning

Fogband av typen mjukgjord polyvinylklorid PVC finns i mycket stor omfattning i betongkonstruktionerna på Sveriges vatten- och kärnkraftverk. Fogband skall både klara att ta upp rörelsen i fogen samt täta mot vattenläckage. Det finns idag ingen enkel metod att undersöka statusen på fogband eftersom de är ingjutna i betongkonstruktionen vilket försvårar provtagningen. Detta medför även att det inte enkelt går att ersätta fogband som läcker utan att förstöra själva betongkonstruktionen.

Den här studien gjordes som ett komplement till Elforsk projektet BET 112 polymera material i betongkonstruktioner, eftersom intresset för fogband visade sig påtagligt för både vattenkraft och kärnkraft. Då ett flertal fogband och resultat från både långtidstest, accelererad åldring och fogband i drift blev tillgängliga inom ramen för ovanstående projekt gjordes en inledande undersökning av dessa fogband.

Studien visade att den troligaste orsaken till åldring av fogband är förlust av mjukgörare. Mjukgörare kan dels migrera ut till omgivande miljö och dels konsumeras kemiskt genom att mjukgöraren reagerar och bryts ner. Här har tidigare arbeten pekat på alkalisk hydrolys som en bidragande orsak till nedbrytning i kontakt med betong konstruktioner [1]. Vidare så indikerar resultatet från denna undersökning att val av mjukgörare sannolikt är en avgörande faktor för ett fogbands långtidsegenskaper.

Summary

Plasticized polyvinyl chloride (PVC) sealing strip are present in very large scale in concrete structures at the Swedish hydro and nuclear power plants. Sealing strips should both be able to take up the movement between concrete blocks and at the same time seal against water leakage between. The status of the sealing strip is very difficult to assess since they are hidden in the concrete structure. Replacing gaskets cannot be done without destroying the concrete structure.

This study was done as a complement to Elforsk project BET 112 polymeric materials in concrete construction, because the interest in joint strips appeared markedly for both hydropower and nuclear power. As a numerous of strips and results from long-time exposures, accelerated ageing's and strips that have been in use became available in the above mentioned project it was decided to make an initial study of these sealing strips.

The study showed that loss of plasticizer is the most likely cause of aging of the sealing strips. Plasticizers can both migrate out to the surrounding environment and also be chemically consumed through reactions with a consequential degradation. In this case previous studies have shown that alkali hydrolysis can be a factor to degradation on PVC materials in concrete constructions. Furthermore, the result from this study indicates that the choice of plasticizer is probably the deciding factor for the long-term properties of the sealing strips.

Innehåll

1	Inledning	1
1.1	Bakgrund	1
1.2	Syfte och Mål.....	1
2	Mjukgjord polyvinylklorid (PVC)	3
2.1	Fogband.....	4
3	Experimental del	6
3.1	Material	6
3.2	Dynamisk mekanisk analys (DMA)	7
3.3	Termografisk analys (TGA)	7
3.4	Hårdhetsmätning (mikro shore A)	7
3.5	Densitetsmätning	8
4	Resultat & diskussion	9
5	Slutsats	11
6	Förslag på fortsatt arbete	12
7	Referenser	13

1 Inledning

1.1 Bakgrund

Detta arbete har utförts inom ramen för Elforskprojektet BET 112 polymera material i betongkonstruktioner. Projektets syfte var att kartlägga polymera material komponenter i betongkonstruktioner i vatten- och kärnkraftverk som var intressanta för fortsatt kunskapsuppbyggnad. Polymera komponenter i kraftverk förekommer i stor omfattning, dessa kan vara mycket svåra eller dyra att ersätta samt är viktiga för drift och säkerhet vid kraftverken.

En mycket intressant och gemensam komponent för båda typer av kraftverk är fogband av typen mjukgjord PVC. Fogband finns i damm och vattenvägskonstruktioner. Att ersätta fogband kräver att delar av betongkonstruktionen rivs upp. För planering av underhåll finns ett övergripande intresse av att enkelt kunna bedöma status och förväntad livslängd på fogband i drift. För att möjliggöra detta krävs ökade kunskaper om hur förändringar i egenskaper hos ett fogband påverkar dess funktion. Dvs. sätta upp någon typ av funktionskriterier för dessa komponenter.

Inom ramen för detta arbete har följande prover och resultat utvärderats:

1. Provbitar från åtta olika fogband som åldrats i 10% alkalilösning vid rumstemperatur i 20 år. Dessa prov erhöles från Vattenfall Research and Development i Älvkarleby. PH-värdet hos alkalilösningen motsvara pH-värdet för ny betong.
2. Resultat av den accelererade provningen som utfördes på de åtta fogbanden 1992 enligt den standardmetod som Vattenfall R&D använder.
3. Ett rött fogband som varit ingjutet i Stenkullafors i 30 år.
4. Ett svart fogband från en av vattenvägarna i Ringhals kraftverk där det suttit i ca 30 år.
5. Referensprov på ett nytt fogband.

1.2 Syfte och Mål

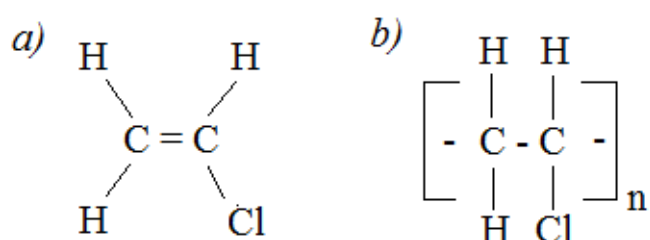
Syftet med föreliggande undersökning har varit att öka kunskapen om de undersökta fogbanden genom karakterisering av deras egenskaper för att identifiera parametrar som framöver skulle kunna ligga till grund för ett generellt statustest av åldrade fogband.

Ett annat syfte har varit att korrelera den accelererade provningen som genomfördes 1993 med resultatet av 20 års åldring i rumstemperatur för att se hur pass väl de båda resultaten överensstämmer och verifiera att det accelererade testet speglar resultatet vid den lägre temperaturen.

Vidare har möjliga områden i behov av fortsatt arbete och kunskapsuppbyggnad kring fogband identifierats baserat på de initiala resultaten presenterade i denna rapport.

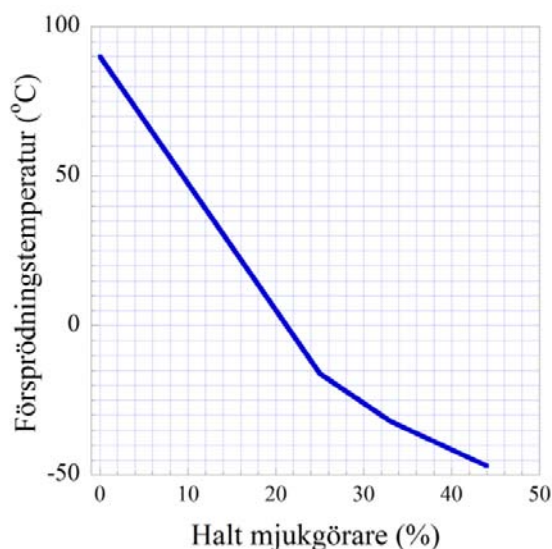
2 Mjukgjord polyvinylklorid (PVC)

Polyvinylklorid eller PVC är ett mycket vanligt polymert material som används i många olika applikationer, däribland rör, kablar, leksaker, golv, kläder och tejp. PVC är en av världens största plaster tillsammans med polyeten, polystyren och polypropen. PVC tillverkas från monomeren vinylklorid som innehåller klor (Figur 1a). Monomeren är cancerogen och måste hanteras försiktigt.



Figur 1. a) Vinylklorid monomeren och b) repeterande enheten för polyvinylklorid

PVC har många attraktiva egenskaper så som god kemikalieresistens och att materialet är svetsbart. En av fördelarna med PVC är att materialet kan göras flexibelt och kallas då mjukgjord PVC. Ren PVC är spröd under 90°C, men tack vare möjligheten till att kunna mjukgöra PVC kan materialet göras flexibel långt under rumstemperatur. Det krävs dock en betydande halt mjukgörare (ibland upp mot 50 %) för att göra PVC flexibel. Figur 2 visar exempel på hur försprödningstemperaturen varierar med halten mjukgörare.



Figur 2. Kurvan visar hur försprödningstemperaturen varierar som en funktion av halten mjukgörare. I det här fallet Diisononylftalat (DINP) [2].

PVC mjukgörare är flytande och består alltid av en polär och en opolär grupp. Den polära gruppen binder till PVC och bryter där igenom sekundära bindningar (krafter som verkar mellan kedjor) mellan PVCs polymerkedjor. Idag finns ungefär 70 kommersiella mjukgörare till PVC, men cirka 80 % av all mjukgjord PVC är mjukgjort med någon av Ftalaterna Di(2-etylhexyl)ftalat (DOP eller DEHP), Diisononylftalat (DINP) eller Diisodecylftalat (DIDP) och i vissa fall förekommer en kombination av dessa. Ftalater är ett samlingsnamn på estrar av ftalsyra. Ftalater är mycket kontroversiella då de misstänks vara cancerogena och ger upphov till hormonstörningar.

Ett annat återkommande problem med mjukgörare till PVC är att de kan migrera (vandrar ut) ur materialet. En förlust av mjukgörare resulterar i en förlust av flexibilitet genom att försprödningstemperaturen skiftas uppåt (figur 2).

2.1 Fogband

PVC fogband används ofta som tätning mellan betongblock i dammkonstruktioner. Fogband skall kunna ta upp rörelser och samtidigt täta mot läckage. Fogbanden utvärderas idag på Vattenfalls Betonglaboratorium i Älvkarleby enligt dokumentet "Regler för certifiering av fogband av polyvinylklorid (PVC) framtaget av vattenfall utveckling AB" [3]. Kort innebär detta test att materialet exponeras i en 10 %-ig alkalilösning vid $65 \pm 2^\circ\text{C}$ under 42 dygn enligt VU-SC:6 för att mäta alkalibeständigheten för fogband. Efter åldrandet testas material med avseende på viktnedskningen (max 10 vikts %), draghållfastheten och brotttöjningen vid $+20^\circ\text{C}$ samt sprödheten vid -25°C . Idag vet man inte om den här certifieringen är relevant för att kunna bedöma PVC fogbanden. Man vill därför kunna verifiera hur pass lämpligt certifikatet är för provning av fogband.



Figur 3. Betongkonstruktion där vatten har runnit igenom gjutfogen mellan två betongblock. Missfärgningen är antagligen ett resultat av att nedbrytningsprodukter från fogbandet lakats ur, och transporterats med vatten och bildad avfällningar på betongytan. Bilden är tagen på Ringhals kärnkraftverk under Ringhals 2.

2.2 Fogband i betong

Ny eller fuktig betong/cement är starkt alkaliskt och kan därför påverka de ingjutna fogbanden genom att mjukgöraren hos fogband kan brytas ner i fuktiga alkaliska miljöer genom en hydrolysreaktion. Ny betong har ett pH värde som ligger mellan 12 och 13. Det höga pH-värdet beror i allmänhet på kalciumhydroxid som är en biprodukt av cementhydrering. Cementytor behöver dock inte alltid ha stark alkalisk karaktär.

Cementytor kan reagera med koldioxid i luft och bilda kalksten, en process som kallas karbonatisering. Karbonatisering leder till att pH-värdet sjunker till ca 8. Vilket kan vara av positiv betydelse för fogbanden. Faktorer som påverkar karbonatiseringshastigheten är bland annat halten koldioxid, fukthalten (högre fukthalt medför mindre halt koldioxid), mängden karbonatiserbart material i betongen samt tätheten hos betongen. Även om karbonatiseringen kan verka gynnsamt för livsslängden hos fogband så är det mycket ogynnsamt för armering. Vid ett högt pH-värde befinner sig stålet i armering i ett passivt tillstånd dvs. korrosionshastigheten är i princip noll. Vid en karbonatisering sjunker pH värdet vilket kan leda till att armeringskorrosion kan inträffa. Armeringskorrosion är något man vill undvika i alla lägen eftersom det kan påverka livslängden av hela konstruktionen. Därför kan man inte sträva efter att få ytor kring fogband att karbonatiseras eftersom det är gynnsamt för fogband, då det kan påverka hela den övriga konstruktionen.

3 Experimentell del

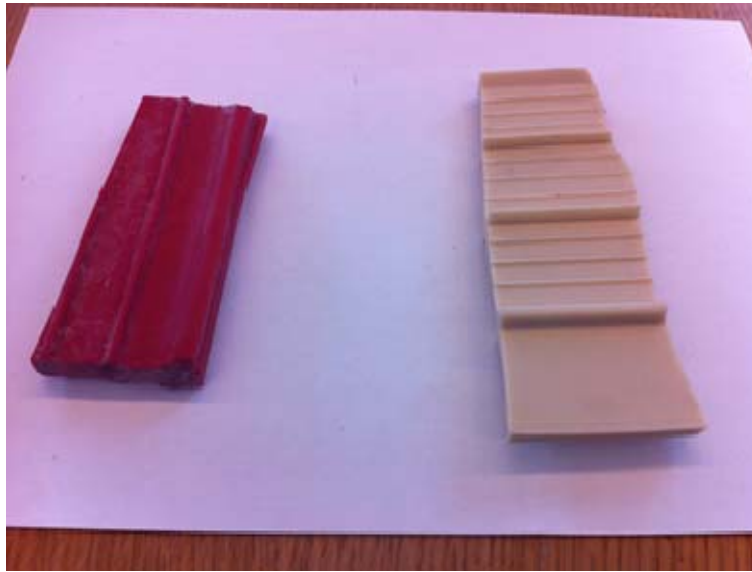
3.1 Material

Åtta stycken fogband av okänt ursprung erhöles från Vattenfalls betonglaboratorium, Älvkarleby, Sverige. Fogbanden hade varit lagrade i en vattenlösning bestående av 5% natriumhydroxid (NaOH) och 5% kaliumhydroxid (KOH) under ca 20 år. Fogbanden har inte varit utsatta för UV-strålning (solljus) och förvarades i rumstemperatur. Fogbandens viktninskning (tabell 1) hade registrerats dels efter ca 2 år och dels efter ca 20 år. Accelererad testning under 42 dagar enligt metoden beskriven i stycket ovan utfördes 1993 på dessa material. Viktninskningen finns tabulerad i Tabell 1.

Tabell 1. Viktninskning av fogbanden efter ca 2 och 20 år i alkalilösning i rumstemperatur samt efter 42 dygn i motsvarande lösning vid 65°C (accelererat prov 1993).

Prov	Vikt före lagring Nov, 1992	Viktninskning Apr, 2012 (ca 20 år)	Viktninskning accelererad prov 1993	Viktninskning Nov. 1994 (ca 2 år)
	(g)	(%)	(%)	(%)
1	52,28	6,0	6,0	0,21
2	55,53	4,9	4,0	0,27
3	52,19	3,6	5,0	0,11
4	52,72	10,0	10,0	0,04
5	43,72	8,8	8,0	0,37
6	132,8	14,3	13,0	0,2
7	49,65	6,7	-	0,1
8	35,77	9,7	13,0	0,36

Ytterligare tre fogband analyserades: ett rött fogband som benämns Stenkullafors som varit ingjutet i ett betongblock i Stenkullafors i ca 30 år (figur 3), ett svart fogband som benämns Ringhals (figur 5) som varit ingjutet i en av vattenvägarna i Ringhals kraftverk i ca 30 år och ett oåldrat fogband som klassats som att ha god kvalité (av vattenfall Research and Development) och benämns som bra fogband (figur 4). Deras viktninskningar är okända.



Figur 4. Fogbanden som i rapporten betecknas "Stenkullafors" (röda till vänster) och som "bra fogband" (beigea till höger)

3.2 Dynamisk mekanisk analys (DMA)

DMA mäter ett materials modul som en funktion av temperaturen. En polymers mekaniska egenskaper beror på temperaturen och för PVC även andelen mjukgörare.

DMA mättes med en Tritec 2000 DMA från Perkin Elmer, USA. Ändringarna i dynamisk modul analyserades mellan -50 °C och 120 °C med en uppvärmning av 2 °C/min.

3.3 Termografisk analys (TGA)

TGA mäter ett materials viktninskning som en funktion av temperaturen. Ett polymert materials olika delar utsätts för termisk nedbrytning vid olika temperaturer, vilket gör det möjligt att kartlägga en stor del av materialets komposition med hjälp av uppvärmning.

3.4 Hårdhetsmätning (mikro shore A)

Hårdhet i shore A kan ge en bra indikation på hur flexibelt ett material är. Hårdhetsmätningen är en snabb testmetod som dessutom inte förstör materialet (oförstörande provning). I PVC handbook [2], finns data på hur hårdheten varierade med halten mjukgörare. Därför mättes hårdheten i shore

A på alla fogbanden. Enligt PVC handbook så ändras hårdheten signifikant beroende på halt samt typ av mjukgörare.

Hårdheten mättes i 15 s med BS06 micro shore A mätare från Bareiss, GmbH, Tyskland. Värdet anges som ett medelvärde av fem mätningar.

3.5 Densitetsmätning

Ett bra sätt att bedöma halten av mjukgörare i PVC är densitetsmätningar. Ett PVC material utan mjukgörare har en densitet på kring 1.40 g/cm³ och ett material med en mjukgörhalt på 33 vikts % har en densitet på 1.22 g/cm³ (exempel för DINP enligt ref [2]). Ett material med mjukgörare har lägre densitet på grund av att mjukgöraren har lägre densitet än polymeren. När en mjukgörare är inblandad i ett material lägger den sig mellan kedjorna och ökar därför avståndet mellan kedjorna. När mjukgörare migrerar ut från materialet drar kedjorna ihop sig och fyller det hålrum som mjukgöraren lämnar, materialets volym minskas. Därför ökar materialets densitet istället för att minskas. Därför kan densiteten ge ett bra mått på hur mycket mjukgörare som finns i materialet.

Ett enkelt sätt att beräkna ett materials densitet är att tillämpa Arkimedes princip. Med Arkimedes princip behövs inte materialets volym. Istället jämförs ett materials viktskillnad i två olika medium. I den här rapporten mättes vikten i luft och i vatten och densiteten erhålls genom att tillämpa följande ekvation:

$$\rho = \frac{m_L}{(m_L - m_v)} (\rho_v - \rho_L) + \rho_L$$

Där ρ är materialets densitet, m_L och m_v massan i luft respektive i vattnet samt ρ_v och ρ_L är densiteten för luft respektive densiteten för vatten.

4 Resultat & diskussion

Den alkaliska lösningen i vilket fogband 6 åldrats i 20 år (tabell 1) hade en kraftig karaktäristisk lukt av 2-ethylhexanol som är en känd nedbrytningsprodukt från mjukgöraren DOP (Di(2-etylhexyl)ftalat). Det är känt att DOP bryts ner och bildar 2-ethylhexanol i fuktiga alkaliska miljöer genom en hydrolys reaktion [1]. DOP måste därför anses som olämplig som mjukgörare till PVC fogband i betongkonstruktioner då den med största sannolikhet kommer att utsättas för en fuktig alkalisk miljö. Ingen annan av lösningarna hade en sådan kraftig lukt. Det bör noteras att fogband 6 även hade den största viktsförlusten av de fogband som åldrats i alkalisk lösning under 20 år (tabell 1). Även fogbandet från Ringhals kärnkraftverk hade en tydlig lukt av 2-ethylhexanol (DOP som mjukgörare), även det fogbandet var också svart och mycket styvt efter 30 års användning, figur 5.



Figur 5. Fogbandet som suttit i en av vattenvägarna i Ringhals kärnkraftverk

Tabell 2. visar resultatet av de mätningar som gjordes på fogbanden. En klar och tydlig trend kan urskiljas från resultaten. Material med hög densitet har även en hög hårdhet samt visar en mindre massförlust på vid 400 °C på TGA analysen. Detta visar inte så överaskande att ett material som innehåller en mindre halt mjukgörare är sprödare. Mätningen av fogbandens glastransitions temperatur (T_g) visar samma trend, med ett lägre T_g med högre halt mjukgörare.

Tabell 2. Egenskaperna hos fogbanden.

Prov	Färg	Densitet	Hårdhet Shore A 15s	Glastransitions temperatur °C	Massförlust TGA vid 400°C Vikts. %
	-	g/cm ³	-	°C	
Fogband 1	Röd	1,37	88	-40	62
Fogband 2	Gul	1,34	83	-36	64
Fogband 3	Grön	1,34	85	-47	64
Fogband 4	Röd	1,48	96	-13	49
Fogband 5	Gul-Oran	1,38	97	-1	57
Fogband 6	Svart	1,41	99	14	50
Fogband 7	Orange	1,37	95	-10	63
Fogband 8	Svart	1,38	96	-2	58
Stenkullafors	Röd	1,33	69	-43	67
Bra fogband	Beige	1,34	69	<-50	58
Ringhals	Svart	1,53	97	15	48

En intressant observation angående de material som åldrats i lösningen kan göras från tabell 2. Det är möjligt att dela in fogbanden i två grupper beroende på deras egenskaper. Fogband 1-3 har haft en lägre förlust av mjukgörare (högt TGA värde och lågt Tg). Fogbanden 4-8 visar istället indikationer på att materialen har haft en högre mjukgörarförlust med relativt låga Tg och högre hårdheter. Det kan vara möjligt att olika typer av mjukgörare kan ha gett upphov till den här grupperingen. Den största skillnaden mellan de tre vanligaste mjukgörarna är deras olika molekyllvikter. DIDP har en högre molekyllvikt än DOP och är därför inte lika effektiv som mjukgörare, därför behövs en högre halt av DIDP för att uppnå samma effekt som DOP [4]. DINP har en molekyllvikt som ligger mellan DIDP och DOP [4]. Enligt PVC handbook [2] behövs ca 6% mer mjukgörare av typen DINP för att nå samma effektivitet som för DOP. Fördelen med att använda en mjukgörare med högre molekyllvikt är att den motstår migration (bortgång) bättre. En möjlig förklaring till skillnaden mellan grupperna kan vara att fogband 4-8 innehåller en mjukgörare med en lägre molekyllvikt (DOP eller DINP) jämfört med fogband 1-3. Vilket kan förklara den stora skillnaden i mjukgörarförlust.

Som tidigare nämnts så har lukten från fogband 6 samt fogbandet på Ringhals indikerat att mjukgöraren som använts är av typen DOP och att den bryts ner i fuktiga alkaliska miljöer. Att en mjukgörare försvinner snabbt ur ett material kan ge förödande konsekvenser redan innan all mjukgörare har migrerat ut. Låga halter mjukgörare upp till 20 vikts % i PVC kan resultera i att materialet får en förstyvningseffekt jämfört med ett material utan mjukgörare, en effekt som är tvärtemot mjukgörning. Detta kan resultera i att materialet kan få en högre hårdhet, modul och än sämre brottförlängning jämfört med en PVC utan mjukgörare [5]. Detta kan medföra att materialet blir sämre än ett motsvarande PVC material utan mjukgörare.

5 Slutsats

Resultatet av denna mindre omfattande fördjupningsstudie visar på att mjukgörare är den största bidragande orsaken till att PVC fogbanden åldras och åldras olika. Det finns en klar skillnad i hur fogbanden har åldrats med åren vilket påvisar en klar skillnad i kvalitet. Fogbanden som hade förvarats i lösningen under 20 år har påverkats mer än de fogband som varit i ett betongblock i 30 år på grund av att lösningen har en aggressivare påverkan på mjukgöraren. Ett fogband som åldrats i en lösning blir mera påverkad på grund av att vätskan kan påskynda processen som transportmedium. En väska kan hjälpa alkali att tränga in i polymeren där den kan bryta ner mjukgöraren samt accelerera migrationen av mjukgöraren. Av denna anledning bör fogband 1, 2 och 3 ses som (under omständigheterna) lämpliga, då de fortfarande har en betydande halt mjukgörare och därmed en bevarad flexibilitet.

Vidare visar jämförelse av viktsförlusterna av fogband åldrade under 20 år i alkalisk lösning med motsvarande fogband åldrade 42 dagar i 65°C en god korrelation vilket visar att en höjning i temperatur är ett lämpligt sätt att accelerera förloppet i detta test. Dock kan man inte utifrån de erhållna fogbanden dra slutsatsen huruvida det accelererade testet överensstämmer med fogband som åldrats i verkliga applikationer. Detta kräver att fler fogband samlas in och analyseras samt jämförs med resultat från accelererade tester.

Den kraftiga lukten av 2-etylhexanol från de två styvaste fogbanden ("Fogband 6" och "Ringhals") indikerar att DOP används i dessa två fogband. Det verkar troligt att mjukgöraren spelar en avgörande roll för resultatet eftersom PVC materialet självt är relativt beständigt i alkalisk lösning. Det bör anses som intressant att fortsätta utvärdera hur lämpliga olika mjukgörare är för fogbanden och hur de påverkas av den alkaliska miljön den utsätts för.

6 Förslag på fortsatt arbete

Resultatet från studien visade på att förlusten av mjukgöraren är den troligaste orsaken till att fogbanden åldrats, det är centralt att ytterligare kartlägga vilka mjukgörare som är lämpliga att använda för PVC fogband. Genom att förstå detta kan en längre livslängd på fogbanden uppnås. Det är även intressant att ta fram samband mellan andelen mjukgörare och materialet förmåga att uppfylla funktionskraven. Hur stor förlust av mjukgörare kan tillåtas innan förlusten i flexibilitet eller volymminskningen blir för stor? Baserat på halten mjukgörare skulle man även kunna ta fram en metod att kunna bedöma status av fogband på plats utan att tillämpa förstörande provning, alternativt ta fram en metod där minimalt med material behövs. Utan en metod till att bedöma status på fogband kan nämligen inte en god livslängdsbedömning göras.

I det här projektet berördes inte heller svetsningen av fogbanden. Här finns ytterligare många frågetecken så som: vad som händer med mjukgöraren, hur PVC påverkas (nedbrytning) och hur svetsen åldras. Det är även intressant att kunna utvärdera om handhavandefel kan leda till läckage.

Vidare så borde flera materialtyper än mjukgjord PVC utvärderas. EPDM har föreslagits som ett alternativ till mjukgjord PVC. EPDM innehåller ingen eller ringa mängder med mjukgörare, dock så är EPDM inte lika lätt att svetsa som mjukgjord PVC.

7 Referenser

- [1] Björk F., Eriksson C.-A., Karlsson S. Khabbaz F. *Degradation of components in flooring systems in humid and alkaline environments*, Constrution and Building Materials, 17, 2003, 213-221
- [2] Wilkes C.E., Daniels C. A., Summers J. W., *PVC Handbook*, Hanser ISBN 3-446-22714-8.
- [3] Vattenfall utveckling AB certifiering, *Regler för certifiering av fogband av PVC*, Mars 2001.
- [4] Dufton P, *Functional Additives for the Plastics Industry*, Rapra Technology LTD, 1998, ISBN: 1-85957-145-x.
- [5] Titow W. V. *PVC Technology 4th Edition*, Elsevier science publishing co, 1984, ISBN 0-85334-249-0

ELFORSK

SVENSKA ELFÖRETAGENS FORSKNINGS- OCH UTVECKLINGS - ELFORSK - AB

Elforsk AB, 101 53 Stockholm. Besöksadress: Olof Palmes Gata 31
Telefon: 08-677 25 30, Telefax: 08-677 25 35
www.elforsk.se