



Behovsstudie av polymera material i betongkonstruktioner

Elforsk rapport 13:38



Thomas Blomfeldt, Petter Bergsjö

Feb 2013

ELFORSK

Behovsstudie av polymera material i betongkonstruktioner

Elforsk rapport 13:38

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.

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

Polymera material används återkommande i betongkonstruktioner ute på vatten- och kärnkraftverken. Materialen är vanligt förekommande i fogband, olika tätningar (fogmassor och injekteringsmassor), genomföringar, beläggningar samt som tillsatser i olika cement eller bruk.

Polymera material i betongkonstruktioner är svåra att utvärdera, eftersom de oftast finns dolda inne i själva betongkonstruktionen. I många av fallen har de suttit på plats i över 30 år. Dessutom används de i en mycket stor omfattning t.ex. beläggningar på betong eller mjukfogar som kan vara flera kilometer. Att ersätta dessa material är både svårt, tidskrävande och kostar en hel del pengar. Därför är det av stor vikt att kunna uppskatta status och livslängd på dessa material med största möjliga precision.

Den här rapporten sammanställer en behovsstudie kring kunskapsuppbyggnad av polymerer i betongkonstruktioner. Under projektets gång har information inhämtats genom inventeringar, intervjuer samt en enkätundersökning. Allt för att erhålla en så klar bild som möjligt av vilka komponenter som har ett behov av en fördjupad forskning.

I projektet besöktes kärnkraftverken Oskarshamn (O1, O2 och O3), Forsmark (F2) och Ringhals (R1, R2, R3). För vattenkraftverkens räkning besöktes betonglaboratoriet i Älvkarleby samt vattenkraftverken Älvkarleby och Olidan.

Studien visar på att olika behov finns hos vatten- respektive kärnkraftverken. Enkäten visade att vattenkraftverken är intresserade av en kunskapsuppbyggnad angående polymera fogband. Kärnkraftverken är mera intresserade av polymera komponenter som berör antingen säkerheten eller förekommer i mycket stor omfattning och därför medför eller i framtiden väntas medföra kostsamma underhållsarbeten.

Summary

Polymeric materials are frequently used in concrete constructions at hydro and nuclear power facilities. They are most commonly used as expansion joints, seals, lead-through's, coatings and as additives in cement or mortar.

Polymeric materials in concrete constructions are difficult to evaluate, since they are often located within the concrete construction. In some cases the materials have been in place for over 30 years. In addition, these materials are also used to a great extent e.g. as protective coating on all concrete in a nuclear power plant or as several kilometres of joints. Replacing these materials is difficult, time consuming and very costly. That is why it is of great importance to evaluate their actual status and life-time expectancy with the largest possible precision.

This report summarises the research needs in nuclear and hydro power regarding polymers in concrete constructions. During the project information has been gathered through inspections, interviews and surveys, to obtain the clearest possible picture of which polymeric components that have a need of in-depth research.

In this project the nuclear power plants Oskarshamn (O1, O2 and O3), Forsmark (F2) and Ringhals (R1, R2 and R3) were visited. In the field of hydro power the concrete laboratory of Vattenfall R&D in Älvkarleby and the hydro power plants of Älvkarleby and Olidan were visited.

The studies indicate that there are different needs for hydro and nuclear power. The survey showed that hydro-power facilities have a greater interest in joints. The nuclear power plants are more interested in components that are related to either the plant's security or if the component could lead to high future maintenance costs.

Innehåll

1	Inledning	1
1.1	Bakgrund	1
1.2	Syfte och Mål.....	1
2	Polymera material	2
2.1	Gummi (Elastomerer)	3
2.2	Termoplaster	4
2.3	Härdplaster	5
2.4	Tillsatser (additiv)	5
2.4.1	Fyllmedel.....	6
2.4.2	Mjukgörare	6
2.4.3	Pigment.....	7
2.4.4	Stabilisatorer	7
2.4.5	Flamskyddsmedel	8
2.4.6	Problem med additiv	8
2.5	Mobiliteten av polymerens huvudkedja och glastransitionstemperaturen	9
2.6	Åldring av polymera material	9
2.7	Vanligt förekommande polymerer.....	10
2.7.1	PVC	10
2.7.2	EPDM	11
2.7.3	Kloropregummi.....	12
2.7.4	Epoxi	12
2.7.5	Polyuretan	13
2.7.6	Silikon.....	13
2.8	Polymera material i betongkonstruktioner	14
2.8.1	Fogband	14
2.8.2	Tätningar.....	14
2.8.3	Genomföringar	15
2.8.4	Beläggningar.....	15
2.8.5	Tillsatser i bruk	16
3	Inledande frågeformulär	17
4	Vattenkraft	20
4.1	Besök på Betonglaboratoriet i Älvkarleby	20
4.2	Besök Älvkarleby vattenkraftverk	21
4.3	Besök på Olidan Trollhättans vattenkraftverk	24
4.4	Gemensamma frågeställningar för vattenkraft	25
5	Kärnkraftverk	27
5.1	Besök på Oskarshamns kärnkraftverk	27
5.2	Besök på Forsmarks kärnkraftverk	30
5.3	Besök på Ringhals kärnkraftverk	34
5.4	Gemensamma frågeställningar för kärnkraftverken	40
6	Diskussion och slutsats	41
7	Behov av fortsatta FoU insatser	43
8	Referenser	45
9	Tack till	46

1 Inledning

1.1 Bakgrund

Polymera material i betongkonstruktioner finns i stor omfattning ute på Sveriges vatten- och kärnkraftverk. Vissa av komponenterna, t.ex. fogband, är dolda djupt inne i betongen och har suttit där i flera decennier. Att utvärdera de här komponenterna är komplicerat, dyrt och i många fall även omöjligt utan att demolera betongkonstruktionerna.

Den generella kunskapsnivån om polymera material är ofta begränsad i hela branschen. Med anledning av detta efterfrågades en genomgående studie av vilka komponenter som har ett behov av en närmare utvärdering i framtiden samt identifiera områden i behov av en kunskapsuppbyggnad.

Variationer i polymera material förekommer. Generella problemet med polymerer är att en övergripande standardisering saknas. Därför förekommer det stora variationer mellan fabrikat, sändningar (batcher) och tillsatser i materialet. Därutöver så är många av de material som användes när kraftverken togs i drift idag ersatta med andra liknande material på grund av hårdare kemikalierestriktioner och effektiviseringar. Det är därför viktigt att veta vad man kan förvänta sig av det materialet man idag använder.

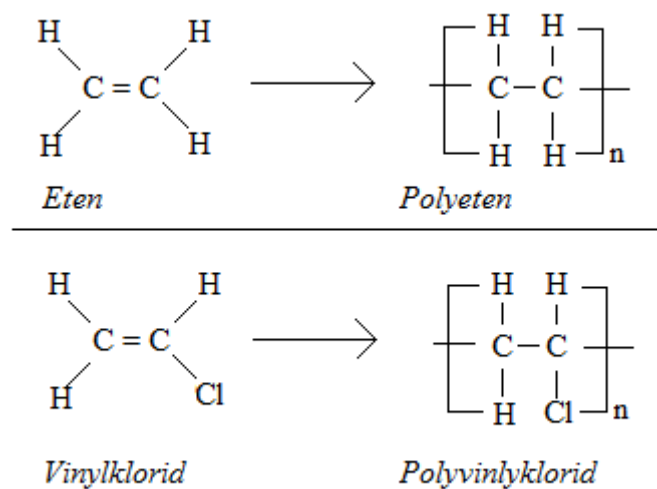
1.2 Syfte och Mål

Syftet med projektet var att besöka utvalda kraftverk och kartlägga vilka polymera material i betongkonstruktioner som finns i vatten- och kärnkraftverk samt att försöka uppskatta status för dessa material. Kartläggningen gjordes med avseende på typ av polymer som förekommer samt i vilken miljö polymeren finns. Målet med studien är att öka förståelsen för problematiken med de polymera material som finns på kraftverken och identifiera vilka särskilda behov som finns för framtida utvärderingar.

Projektet delas in i två delar. Den första delen har målet att inventera och kartlägga vilka komponenter på anläggningarna som är i behov av forskning och kunskapsuppbyggnad. Den andra delen har fokus på tätningar och genomföringar på kärnkraftverken utöver de aktiviteter som ingår i del 1. I den här rapporten sammanställs båda delrapporterna i samma rapport. För att på så vis kunna få en mer samlad rapport om de generella behov som finns för polymera komponenter i betongkonstruktioner.

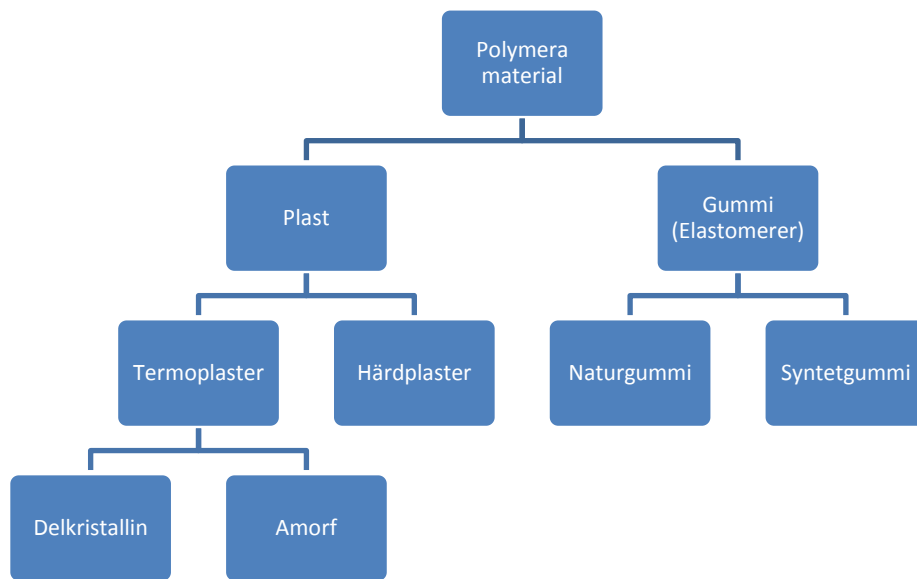
2 Polymera material

Ordet polymer härstammar från grekiskans poly som betyder flera och meros som betyder enhet. Polymerer består av långa kedjor uppbyggda av små repeterande enheter (monomerer). Typ av polymer går hand i hand med vilken monomer som används vid dess framställning, t.ex. polymeren polyeten (PE) har eten som monomer och polymeren polyvinylklorid (PVC) är uppbyggda av vinylkloridmonomerer, se figur 2.1.



Figur 2.1. Illustration av monomererna eten och vinylklorid och motsvarande polymerer polyeten och polyvinylklorid. I det här fallet anger n antalet repeterande enheter för polymeren.

Beroende på hur polymerens huvudkedja är uppbyggd delas polymerer generellt in i 3 olika grupper: elastomerer, eller i någon av plastgrupperna termoplaster och hårdplaster (figur 2.2). Generellt för grupperna är att man använder en stor del tillsatser för att förbättra polymerens prestanda för att passa bättre till en viss applikation. Exempel på vanliga tillsatser är mjukgörare, stabilisatorer, fyllmedel, flamskyddsmedel samt pigment.



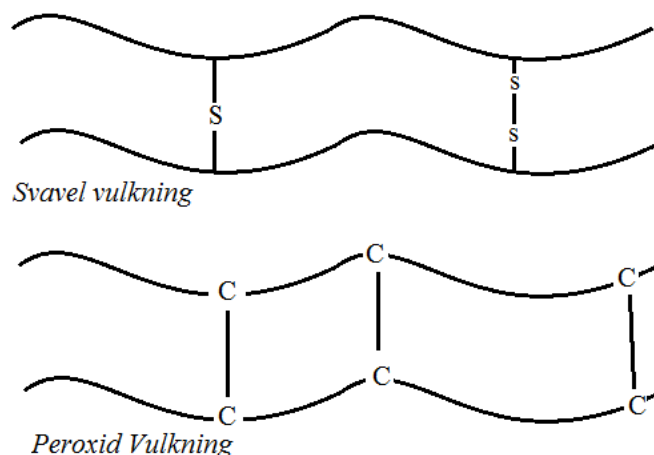
Figur 2.2. En generell indelning av polymera material.

2.1 Gummi (Elastomerer)

Elastomerer är det som vanligen förknippas med ett gummimaterial. Ett gummimaterial består av polymeren (elastomeren) och tillsatser. En elastomer har en förnätad huvudmatris där polymerens huvudkedjor är sammanlänkade med tvärbindingar. Tvärbindingarna skapas genom en process som kallas vulkning, där ett ämne (vanligen svavel eller peroxider) tvärbinder materialet under värme (figur 2.3). Beroende på grad samt typ av tvärbinding uppnås olika nivåer av flexibilitet. Man brukar tala om tvärbindningsgrad (tvärbindingstäthet). På grund av tvärbindingarna mellan kedjorna kan inte en elastomer smältas och omformas till skillnad från en termoplast.

Bland gummitillverkare så brukar man även dela in de olika gummimaterialen med avseende på deras hårdheter i shore A. Hårdheten är ett resultat av tvärbindningsgraden samt andelen tillsatser, oftast fyllmedlet Kimrök. En annan indelning görs med avseende på ifall gummimaterial tillverkas från en naturlig råvara från gummiträdet *Hevea Brasiliensis* (naturgummi) eller från en syntetisk polymer (syntetgummi). Exempel på naturgummin är naturgummi (NR) och latex. Exempel på syntetiska är nitril butadien gummi (NBR), viton (ett fluorgummi) och eten propylen dien gummi (EPDM).

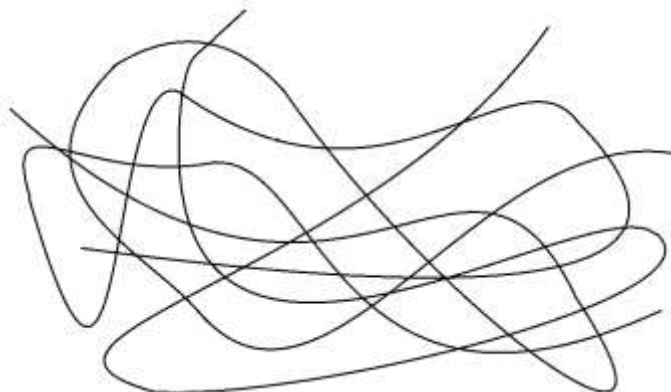
Gummimaterial används till applikationer där god elastisk förmåga efterfrågas. Ofta används gummimaterial som tätningsmaterial på grund av gummits goda barriäregenskaper. Exempel på applikationer är packningar, kablar, dilatationsfogar, vibrationsdämpare, slangar och däck.



Figur 2.3. Generell figur som visar skillnaden i tvärbindningar mellan ett svavelvulkat och ett peroxidvulkat nätverk. Svavel- och peroxidvulkning är de vanligaste förekommande vulkningsprocesserna.

2.2 Termoplaster

Termoplaster är det som vanligen förknippas med plast. Liksom gummimaterialet består plast av en kombination av polymeren (termoplasten) och tillsatser. I en termoplast är polymerens huvudkedjor inte tvärbundna, istället hålls kedjorna ihop med intrasslingar (figur 2.4) eller svaga sekundära krafter som verkar mellan polymerkedjorna t.ex. van der Waals bindingar eller vätebindningar.



Figur 2.4. Schematisk bild av intrasslade polymerkedjor som håller ihop termoplaster.

Man kan även dela in termoplaster i amorfa och delkristallina termoplaster. Delkristallina termoplaster innehåller en kristallin fas. En kristallinfas kan uppnås då en polymerkedja antar en ordnad konformation (struktur). Exempel på delkristallina termoplaster är högdensitetspolyeten (HDPE) och polypropen (PP). Amorfa termoplaster saknar en kristallin fas, materialet har i stället glasartad oordnad struktur. Amorfa termoplaster är naturligt mycket spröda (mekaniskt brytbara). Exempel på amorfa termoplaster är polykarbonat (PC), polyvinylklorid (PVC) och polystyren (PS). Termoplaster är

till skillnad från elastomerer och hårdplaster formbara och smältbara vid höga temperaturer. Amorfa polymerer omformas genom uppvärmning över glastransitionstemperaturen (mjukningstemperatur, mer information i avsnitt 2.5) och en delkristallin polymer omformas genom omsmältning. Termoplaster används till många olika applikationer t.ex. rör, kablar, lister och tätningar.

2.3 Hårdplaster

Namnet hårdplast kommer av att materialet hårdas med en härdare. Hårdplaster består av kemiskt tvärbundna (förnätad) molekyler i ett tredimensionellt nätverk (figur 2.5). Till skillnad från ett gummi så är en hårdplast mycket starkt tvärbunden och är därför hård vid sin användningstemperatur. Precis som för elastomerer så är hårdplasternas tvärbindingar så starkt förnätade att de inte brytas vid uppvärmning, därför kan hårdplaster inte smältas och omformas.



Figur 2.5. Schematisk bild av ett nätverk för hårdplaster.

Ett klassiskt exempel på hårdplaster är 2-komponents epoxi. Där monomererna och härdaren är separerade innan applicering. Genom att blanda komponenterna startar polymerisationen och epoxin tvärbinds till sin starka struktur.

De vanligaste applikationerna för hårdplaster är beläggningar (epoxi), limmer och bindemedel i fiberkompositer (glasfiberarmerad polyester).

Vid härdningsprocessen av hårdplaster kan ibland biprodukter förekomma t.ex. ättiksyra. Vissa härdare är dessutom väldigt reaktiva och mycket allergiframkallande.

2.4 Tillsatser (additiv)

Tillsatser eller additiv tillsätts polymera material för att förbättra deras slutegenskaper eller möjligheter till bearbetning. Tillsatser påverkar till stor del egenskaperna och i vissa material kan tillsatserna uppgå till över 50 % av materialet. Det kan därför vara mycket svårt att säga vad man exakt kan förvänta sig av ett polymert material utan att ha kunskap om materialets tillsatser. De vanligaste förekommande tillsatserna i polymerer är fyllmedel, mjukgörare, pigment, stabilisatorer och flamskyddsmedel. I den här rapporten ges endast en kort generell beskrivning av de olika typerna av tillsatser. För en mer fördjupad läsning rekommenderas boken "Plastics Additives Handbook" [1].

2.4.1 Fyllmedel

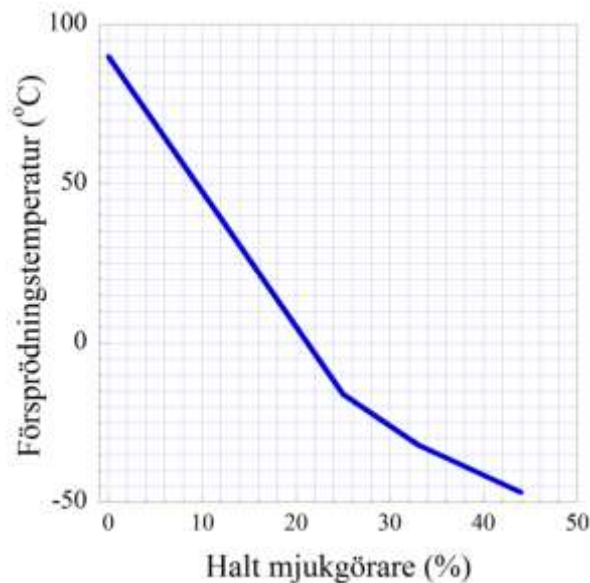
Fyllmedel används för att göra en produkt billigare och/eller mer beständig mot nötning. Fyllmedel kan även agera som pigment. Ett klassiskt exempel på fyllmedel är Kimrök som ger gummi sin svarta färg. Användandet av kimrök i gummi härstammar från däcktillverkning där kimrök ger däcken sin starka nötningsbeständighet. Kimrök används även för att reglera hårdheten på gummimaterial. Andra exempel på vanliga fyllmedel är krita, titandioxid och lera.

Fyllmedel kan även ge negativa egenskaper till polymeren. En högre halt kimrök kan ge gummimaterialet en ökad hårdhet (shore A). En hög halt kimrök kan även resultera i en ökad sättningsgrad. Sättning uppkommer av permanent konformationsändring i elastomerens huvudkedja, vilket gör att polymeren förlorar sitt "minne". Kimrök är även elektriskt ledande och kan därför bidra till galvanisk korrosion. Eftersom kimrök tillverkas genom att man bränner råolja och sedan snabbkyler i vatten, så kan ämnen som finns i kylvattnet t.ex. svavel bindas till kimröket och därigenom finnas med i materialet.

2.4.2 Mjukgörare

Mjukgörare tillsätts ett material för att göra det mjukare och mer flexibelt. Mjukgörarens huvudsakliga syfte är att öka rörelsen på huvudkedjan (se avsnitt 2.5) genom att bryta de så kallade sekundära krafterna (svaga bindningar som verkar mellan polymerkedjorna) men utan att lösa upp polymeren. Eftersom olika polymerer har olika kemisk uppbyggnad, varierar även styrkan och typ av sekundära krafter mellan kedjorna. Därför används olika mjukgörare till olika polymerer.

Ett bra exempel på mjukgörare är mjukgjord PVC. PVC utan mjukgörare är sprött under 90°C. Genom att tillsätta mjukgörare till PVC kan den vara flexibel en bra bit under rumstemperatur. Figur 2.5 illustrerar hur försprödningstemperaturen (glastransitionstemperaturen, T_g se avsnitt 2.5) varierar med halten. Under försprödningstemperaturen är polymeren styv och spröd. I temperaturer över försprödningstemperaturen är materialet mjukt och flexibelt.



Figur 2.5 Exempel på kurva över hur förspredningstemperaturen varierar som en funktion av halten mjukgörare. I det här fallet Diisononylfталat (DINP) [2].

Ett stort problem med mjukgörare är att de migrerar ut från polymeren, vilket resulterar i en förstuvning av materialet. Hastigheten för mjukgöraren att migrera beror på polymeren, mjukgöraren samt omgivande miljö och material.

2.4.3 Pigment

Pigment tillsätts för att ge materialet en önskad kulör. Pigment kan även agera som ett stabiliserande ämne, även här är kimrök ett bra exempel som ger både en svart färg samt ett skydd mot uv-strålning.

Pigment är olika effektiva och skillnader mellan hur mycket pigment som måste blandas in i ett material kan variera mellan olika kulörer. Pigment kan dessutom vara olika effektiva mot nedbrytning och migration, vilket medför att långtidsegenskaperna hos polymera material kan vara olika baserat på vilka pigment som tillsatts.

2.4.4 Stabilisatorer

Stabilisatorer tillsätts ett material för att göra det mer stabilt mot ett visst medium, genom att motverka termisk och/eller kemisk nedbrytning. De vanligaste stabilisatorerna som används är mot uv-ljus (uv-stabilisatorer), syre (antioxidanter) och värme (värmestabilisatorer). Någon generell stabilisator som fungerar till alla polymerer finns inte, utan stabilisatorerna fungerar olika bra till olika typer av polymerer. Valet av stabilisator måste alltså göras med avseende på polymeren och användningsområdet. Det förekommer även att det behövs fler än en typ av stabilisator för att kunna

uppnå önskad stabilitet för materialets tilltänkta applikation. Oftast tillsätts en liten mängd (0,05-2%).

Ett återkommande problem med stabilisatorer är att de bryts ner och migrerar ut från polymerer vid rumstemperatur och kan då påverka materialets livslängd. När väl en stabilisator är förbrukad åldras polymeren mycket fortare. Därför kan ibland bedömningar av kvarvarande stabilisator ge en god indikation på ett materials status och återstående livslängd.

2.4.5 Flamskyddsmedel

Ett flamskyddsmedel är en tillsats som gör ett material mera svårantändligt. Flamskyddsmedel delas in i tre generella grupper:

- *Eldkvävande ämnen:* Eldkvävande ämnen är oftast av typen halogener. Halogener är föreningar av grupp 17 i periodiska systemet dvs. klor, fluor, brom eller jod som tillsätts material eftersom de kväver elden.
- *Kolbildande ämnen:* Ett additiv som bildar ett skyddande kolskikt mot värmen, främst fosfater.
- *Värmeabsorberande ämnen:* Spjälkar vatten vid uppvärmning vilket fördröjer transport av värme till materialet. Främst används metallhydrater som är en kemisk förening mellan väte och metall.

Halogener är mycket reaktiva och anses som giftiga. Idag är halogenerna i stort sett förbjudna på marknaden. Alternativen är dock inte lika effektiva och därför krävs en högre halt av tillsatser för att uppnå ett lika effektivt flamskydd, detta sker dock på bekostnad av andra egenskaper. En ökad halt av flamskyddsmedel kan ibland resultera i en ökad grad av sättning.

2.4.6 Problem med additiv

Det finns många problem som är relaterade till additiven och som bör finnas i åtanke vid val av polymera material. Här kan det bland annat nämnas att:

- Många additiv som har använts har klassats som giftiga och förbjudits på marknaden.
- Nya additiv som ersatt äldre förbjudna additiv är ibland inte lika effektiva och en högre mängd kan behövas, vilket kan ändra andra egenskaper.
- Additiv migrerar ut från materialen.
- Additiven kan påverka omkringliggande miljöer.
- Skillnader i koncentrationer och kvalitet av additiv mellan olika batcher kan få stora konsekvenser.

2.5 Mobiliteten av polymerens huvudkedja och glastransitionstemperaturen

Hur en polymers huvudkedja rör sig i materialet den s.k. mobiliteten påverkar och avgör en stor del av materialegenskaperna. Mobilitet av huvudkedjan beror av fukt och temperatur. Glastransitionstemperaturen eller T_g definieras som den temperatur (vid uppvärmning) vid vilken samordnade segmentrörelser (20-50 atomer i huvudkedjan) startar [3]. Vid den här temperaturen mjuknar polymeren märkbart. Glastransitionen är ett fundamentalt begrepp för polymerer och har en avgörande betydelse för en polymers egenskaper. Hur T_g förhåller sig till användningstemperaturen är beroende på polymer. Elastomerer har användningstemperaturer som ligger över T_g vilket gör att elastomerer är flexibla, hårdplaster har en användningstemperatur som är under deras T_g , vilket gör dem hårda i rumstemperatur. Amorfa termoplaster har en användningstemperatur under T_g för att kunna bibehålla sin höga styvhet. I vissa fall kan en polymers styvhet, E-modul, öka med en faktor 1000 när den kyls under T_g .

Det är många faktorer som påverkar T_g . Åldrandet av material brukar oftast resultera i att T_g ökar vilket resulterar i att den lägsta användningstemperaturen skiftas uppåt, vilket kan ge förödande konsekvenser för t.ex. en tätning.

För termoplaster finns ytterligare en viktig temperatur, nämligen smälttemperaturen T_m . Vid smälttemperaturen har kedjorna så hög rörelse att de separeras från varandra och får ett flytande beteende.

2.6 Åldring av polymera material

Åldring definieras som den process som inträffar när ett materials fysiska och kemiska egenskaper ändras på grund av tiden och påverkan från omgivande miljö. Vissa polymertyper är mindre känsliga för åldring beroende på dess kemiska struktur och tillsatser. I materialets omgivning finns många faktorer som påverkar åldringen, däribland: temperatur, syrehalt, strålning, fukthalt, kontakten med andra material, kemikalier samt närvaro av mekaniska spänningar. Även tillsatserna i materialet påverkar åldrandet som t.ex. när en mjukgörare migrerar ut. Ett polymert materials livslängd definieras som den tid som går fram tills att åldrandet har försämrat materialets egenskaper så att det inte längre är funktionsdugligt. Det är svårt att uppskatta ett polymert materials livslängd utan att ha all fakta tillhanda (omgivande miljö samt materialkomposition). Vidare så måste klara kriteriet finnas på när material inte längre är funktionsdugliga, vilket är komplicerat att sätta och bygger ofta på erfarenheter.

Idag bedöms livslängden hos ett polymert material oftast med accelererad åldring. Accelererad åldring sker oftast genom uppvärmning av provmaterial i olika höga temperaturer och efterföljande testning inom ett kontinuerligt tidsintervall tills ett fördefinierat kriterium uppnås. Eftersom polymerer är känsliga för temperatur uppnås kriteriet snabbare vid högre temperaturer. På

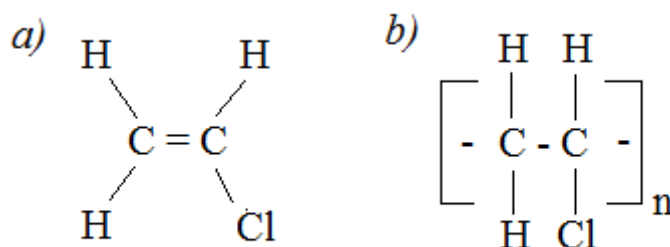
så sätt erhålls åldringskurvor med en temperaturberoende skiftfaktor (i tid) mellan kurvorna. Genom att extrapolera kurvorna mot denna faktor erhålls en masterkurva, vars lutning är densamma som aktiveringsenergin. Genom att använda denna aktiveringsenergi i Arrheniusekvationerna kan en uppskattad livstid beräknas. Arrheniusextrapolering är en snabb metod för att uppskatta ett materials livslängd, men den har brister. Som redan nämnts är det många faktorer utöver temperaturen som påverkar åldringen av materialet. Det är också mycket viktigt att veta att vid högre temperaturer är nedbrytningsmekanismerna oftast inte desamma som vid lägre temperaturer, vid låga strålningsdoser utsätts materialet för en jämnare nedbrytning i jämförelse med höga strålningsdoser [4]. Det är därför mycket viktigt att ta hänsyn till samtliga faktorer när denna åldringsbedömning görs och jämföra med material som åldrats i den verkliga miljön, annars riskerar man att underskatta åldring av materialet, vilket kan leda till förödande konsekvenser för säkerheten.

2.7 Vanligt förekommande polymerer

De vanligast förekommande polymera materialen i betongkonstruktioner ute på kraftverken är PVC, Epoxi, EPDM, Kloroprene, Silikon och Polyuretan. Dessa material förekommer i olika kvaliteter som t.ex, EPDM som finns både som Lycron (EPDM med 50% flamskyddsmedel), som livsmedelsklassad tätning där renheten är viktig eller som en gummiduk mellan betongblock. Varje material åldras och påverkas olika beroende på kvalité och miljön, det är därför mycket svårt att ge ett generell utlåtande vad man kan förvänta sig av materialet. För att kunna få en någorlunda översyn av de olika egenskaperna följer här en kort beskrivning av de generella egenskaperna för de fem materialen.

2.7.1 PVC

Polyvinylklorid eller PVC är ett mycket vanligt termoplastiskt polymert material som används till 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.

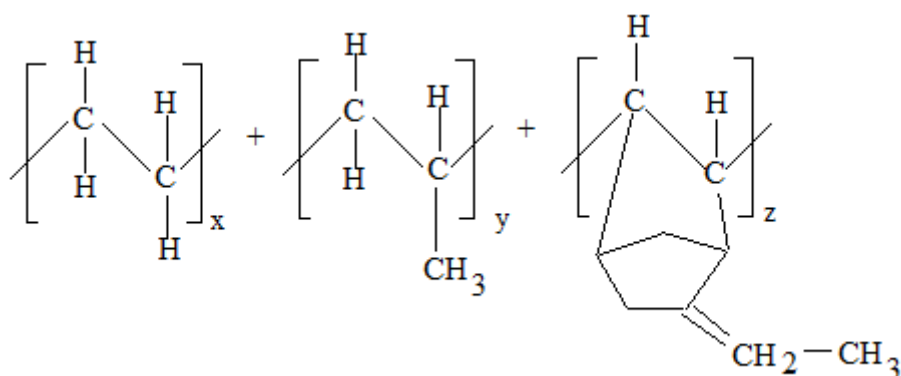


Figur 2.6. a) Vinylklorid monomeren och b) repeterande enheten för polyvinylklorid

PVC har många attraktiva egenskaper där bland att material kan göras inert, svetsbart och resistent mot många kemikalier. En av de bästa 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 den göras flexibel långt under rumstemperatur. Det krävs dock en betydande halt mjukgörare (ibland upp mot 50 %) för att göra PVC flexibel vilket tidigare har illustrerats i figur 2.5.

2.7.2 EPDM

Etylen-propen-dien gummi (EPDM) är en termoplastisk elastomer, en EPDM är både uppbyggd av de termoplastiska monomererna eten och propen samt en monomer innehållande en dubbelbindning (dien) för att möjliggöra tvärbinding, figur 2.7. Tack vare att polymeren är uppbyggd av de olika monomererna kan en kombinerad egenskap mellan en termoplast och en elastomer uppnås, därav namnet termoplastisk elastomer. Polyeten och polypropen gör materialet mera stabilt mot värme och strålning samt bidrar till att materialet kan blir svetsbart till skillnad från andra elastomerer. Diendelen tvärbinder materialet så att materialet erhåller gummiegenskaperna. Halterna av eten, propen och dien avgör slutegenskaperna hos materialet. Vid en hög halt av termoplasterna (PE och PP) så ökar materialets bearbetningsbarhet. Dock så resulterar en hög halt av termoplasterna sämre lågtemperaturegenskaper.

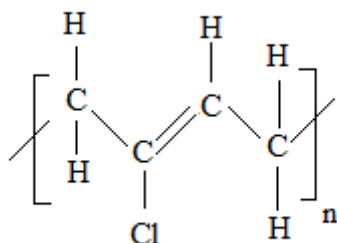


Figur 2.7. Repeterande enheten för EPDM, med x antal eten monomerer, y antal propen och z antal dien monomerer som byggstenar.

EPDM har mycket god beständighet mot väder och ozon. Materialet kan användas i temperaturer mellan -45°C till 120°C (vissa typer även upp till 140°C). EPDM absorberar mycket lite vatten, har goda mekaniska egenskaper och har ett relativt lågt pris. EPDM har erkänt mycket bra motståndskraft mot åldring och motstår dessutom strålning bra.

2.7.3 Kloroprengummi

Ett material med egenskaper som påminner om EPDM är kloropren. Kloroprengummi eller mer känd under handelsnamnet neopren är ett klogummimaterial som är känt för att ha god beständighet mot väder och ozon. Kloropren kan användas inom ett temperaturintervall av -25°C till 125°C . Figur 2.8 visar den repeterande enheten hos kloropren.



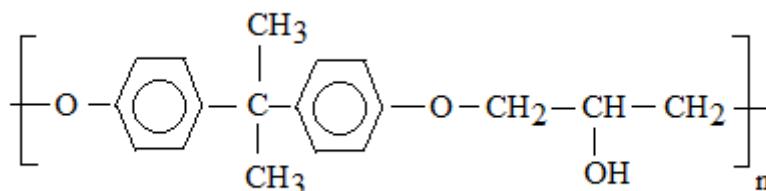
Figur 2.8. Repeterande enheten för kloropren, n är antalet repeterande enheter i polymeren.

Jämfört med EPDM så har kloropren något lägre motståndskraft mot åldring, strålning, väder, oxidation. Åldringsegenskaperna är dock fullt tillräckliga för de flesta applikationer. Kloropren har även aningen sämre motståndskraft mot vatten och vattenånga. Kloropren har dock bättre gaspermeabilitetsegenskaper och vidhäftning mot metaller.

2.7.4 Epoxi

Epoxi är en härdplast som ofta används för att belägga betongkonstruktioner på grund av sin goda vidhäftning samt beständighet mot vatten. Epoximaterial har mycket låg krympning under och efter härdningen, stark mekanisk styrka, god motståndskraft mot nötning, mycket bra vidhäftning mot andra material och kan användas i många olika miljöer.

Epoxi finns i olika kvalitéer där själva grunden är s.k. hartser (monomeren). Hartserna innehåller epoxi-grupper (etylenoxid grupp) som möjliggör tvärbinding. Ofta är monomererna bisfenol A baserade. Hartserna tvärbinds med hjälp av härdare och bildar den färdiga epoxi polymeren.



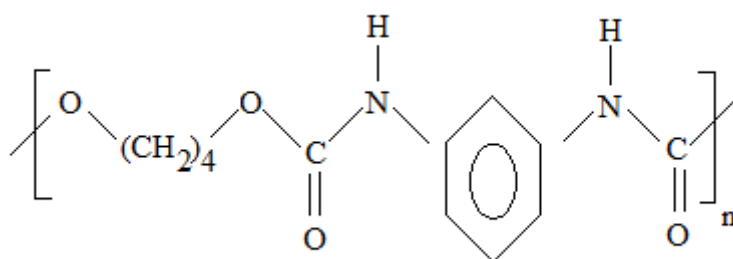
Figur 2.9. Repeterande enhet av epoxi i det här fallet en epoxi av bisfenol A och epiklorhydrin som är den vanligaste typen av epoxi.

Åldring av epoxi resulterar i en förlust i styrka, en generell försämring av beläggningens egenskaper och en försprödning. Detta sker genom en ökad

tvärbindningsgrad mellan polymerkedjorna vilket ger en ökad grad av inre spänningar som kan leda till sprickor i beläggningen.

2.7.5 Polyuretan

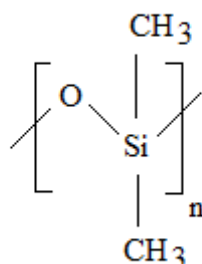
Polyuretan används både som beläggningar och fogar. Polyuretaner är flexibla, reptåliga, temperaturtåliga och gulnar inte. Beläggningar av polyuretan har god flexibilitet och nötbeständighet. Fogmassor av polyuretan har en typisk användningstemperatur på -30°C till 80°C , har en hög brottöjning, ofta på över 500 % och har en hårdhet på 20-25 Shore A. Polyuretanfogar är övermålningsbara. Det är dock viktigt att veta att polyuretanet kan vara mera flexibelt än färgen vilket kan resultera i att färgen kan spricka om man har en bred fog med mycket rörelse. Vid åldring av polyuretan sker en ökad hårdhet och en förlust i flexibilitet.



Figur 2.10. Vanlig repeterande enhet av Polyuretan polymer, n står för antalet repeterande enheter för polymeren.

2.7.6 Silikon

Rent kemiskt skiljer sig silikon jämfört med övriga material. Silikon har en huvudkedja bestående av kisel och syre figur 2.11. Att huvudkedjan inte innehåller kol medför att silikon har många attraktiva egenskaper däribland kemisk motståndskraft, hög åldringsbeständighet, goda vidhäftningsegenskaper mot andra polymerer, god UV-beständighet, god lågtemperaturflexibilitet, god isolationsförmåga (både mot värme och mot elektricitet), mycket goda brandegenskaper och värmebeständighet. Silikon har den stora fördelen att vara antistatisk vilket medför att damm och smuts inte fäster på silikonet, däremot kan man inte måla silikon. Vid härdning av silikon frisätts ofta en biprodukt. Det finns främst tre biprodukter som erhålls vid härdningen av silikon: syror (oftast ättika), alkoholer eller vatten.



Figur 2.11. Repeterande enhet av silikon där n står för antalet repeterande enheter för polymeren.

2.8 Polymera material i betongkonstruktioner

Polymera material i betongkonstruktioner förekommer i många olika applikationer. Till de vanligaste applikationerna räknas fogband, tätningar, genomföringar, beläggningar och tillsatser i bruk.

2.8.1 Fogband

I en Elforsk rapport från april 2010 [5] diskuterades problematiken med dilatationsfogar i dammkonstruktioner. Dilatationsfogar i form av fogband som delar upp betongkonstruktioner i lämpliga enheter, med hänsyn till de rörelser som konstruktionen ska kunna klara samt vad som var tillverkningstekniskt lämpligt. En dilatationsfog ska kunna ta upp längdförändringar vid varierande temperaturer, svällning och krympning. När dilatationsfogar används vid vattentätningar ställs också krav på en bibehållen flexibilitet och tätning under en längre tid. Felaktigheter i dessa fogar kan äventyra funktion och säkerhet hos dammen [5]. Läckande fogband är mycket svårreparerade och utgör därför ett problem. Det är för övrigt mycket svårt att kunna bedöma ett fogbands status eftersom de finns inuti betongkonstruktionen.

Den absolut vanligaste typen av fogband är mjukgjord PVC. Mjukgjord PVC är svetsbart, flexibelt och tål vattenmiljön. Den största begränsande faktorn hos mjukgjord PVC är att den åldras genom förlust av mjukgörare och blir då mycket spröd samt minskar i volym.

2.4.1 Tätningar

I kärnkraftverk används elastomerer i hög utsträckning som olika tätningar mot luft, fukt, vatten och/eller föroreningar. Tätningar förekommer både som gummidukar och som fogmassor.

På vattenkraftverk är polymera tätningar mot vattenläckage primärt. I vattendammar används ofta polymerbaserade injekteringsmassor till att tätta små sprickor, eftersom små sprickor inte kan repareras med betong. Även fogmassor används för att tätta vattenvägar.

Likt fogband förväntas de polymera material som används som tätningar kunna bibehålla sin goda tätningsförmåga och samtidigt behålla sin goda flexibilitet då betongkonstruktionerna rör på sig.

2.4.2 Genomföringar

Kablar och rör behöver ibland ledas genom betongblock, vilket görs i genomföringar. I kärnkraftverk bör genomföringarna tätas för att klara trycksättning och brand. Vissa genomföringstätningar ska även kunna separera olika miljöer t.ex. den syrefria miljön i inneslutningen med omgivande miljö, men ändå leda igenom t.ex. kablar.

I vattenkraftverk ska genomföringarna vara täta från vatten. Här kan det röra sig om rörgenomföringar och ibland även kablar.

2.4.3 Beläggningar

Den huvudsakliga uppgiften för en beläggning är att skydda substratet där den är applicerad. I vatten och kränkraftverk används beläggningar av t.ex. epoxi ofta för att skydda betongen mot nötning och vatten. Beläggningarna underlättar även för saneringsarbete vilket är viktigt för kärnkraftverken där ett rent system eftersträvas. Till beläggningar räknas även primer som används för att öka vidhäftningen på sugande betongytor så att beläggningen eller ny betong får god häftning mot underlaget utan påverkan från den gamla betongen. I kärnkraftverk ska betongen i aktiv miljö (stålningssmiljö) nästan helt uteslutande beläggas.

De två bästa alternativen till att belägga betongytor är Epoxi och Polyuretan eftersom de har god stabilitet mot vatten och kemikalier samt har en låg krympningsgrad. Epoxibeläggningar har den fördelen jämfört med polyuretanbeläggningar att de har bättre vidhäftningsförmåga mot betong, kan beläggas i tjockare skikt, har godare beständighet mot vatten och kemikalier samt att den kan beläggas på våt betong. Polyuretaner däremot torkar fortare, och har bättre nötningsbeständighet samt ytfinish jämfört med epoxi och passar därför oftast bättre som "toppbeläggning" (toppskikt). I de fallen då det ställs krav på att en utmärkt vidhäftning, beständighet mot vatten och kemikalier samt en ytfinish med hög nötbeständig kan en kombination av både epoxi (som grundskikt) och polyuretan som (toppskikt) användas. Att bättra en befintlig epoxibeläggning med polyuretan är också möjligt, dock så kan åldringseffekter på epoxin påverka polyuretanets vidhäftning negativt. Epoxibeläggningar kan genom åldring förlora sina reaktiva hydroxidgrupper. Hydroxidgrupper är fördelaktiga då de reagerar med polyuretanets isocyanater och ökar därigenom vidhäftningen. Vid åldring kan även epoxi tvärbindas och blir tätare vilket gör att polyuretanbeläggningen inte kan få fäste, en ökad tvärbindningsgrad kan dessutom öka graden av inre spänning i beläggningen.

2.4.4 Tillsatser i bruk

När ett polymert material används i bruk eller cement brukar man benämna materialet som en komposit (ett material innehållande två faser). Man brukar prata om ett polymermodifierat bruk eller ett polymermodifierat cement. Genom att blanda in polymerer förbättras härdningsprocessen, bearbetbarheten, vidhäftningen, kemiska resistansen samt styrkan och hållbarheten [6]. Valet av polymer beror på den tilltänkta applikationens specifika krav och utgår oftast från polymerens T_g . De vanligast förekommande polymererna tillhör grupperna termoplaster och hårdplaster, där ibland polymetylmetakrylat (PMMA), polyester och epoxi. Även elastomerer, då främst polybutadienstyren, används till att modifiera betong om hög elasticitet efterfrågas.

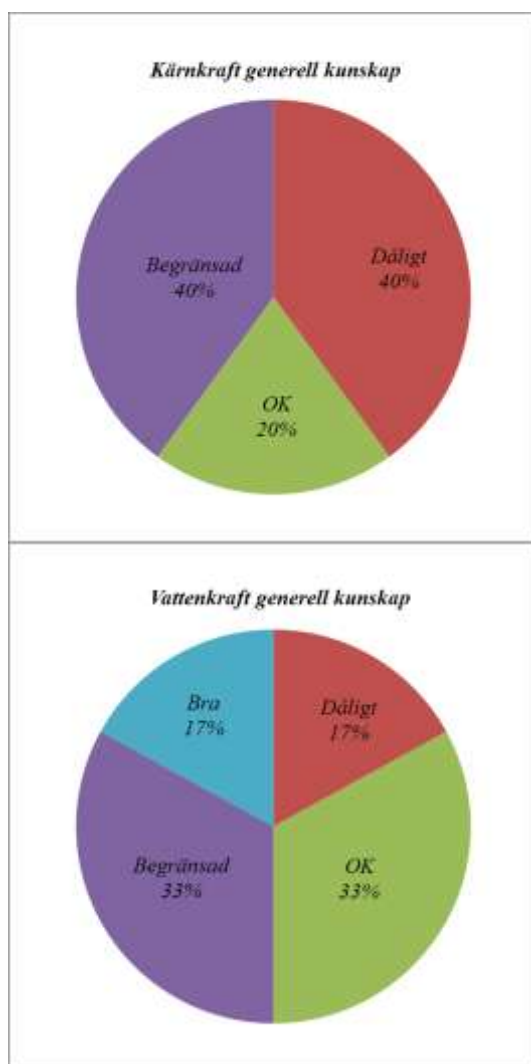
Epoximodifierat cement (EMC) är vanligt och har fördelen att de är beständiga mot vatten, har låg krympning, stark vidhäftning mot andra byggmaterial, bättre beständighet mot många kemikalier samt har bra motstånd mot utmattnings. EMC kan även härda i fuktiga miljöer och i temperaturer nära 0 °C. EMC används ofta vid reparationer.

När polymeren åldras i cementet/bruket resulterar det i en försprödning och en förminskad duktilitet och böjstyrka. Studier har även visat att polymermodifierat bruk kan få en ökad styvhet på grund av UV-strålning.

3 Inledande frågeformulär

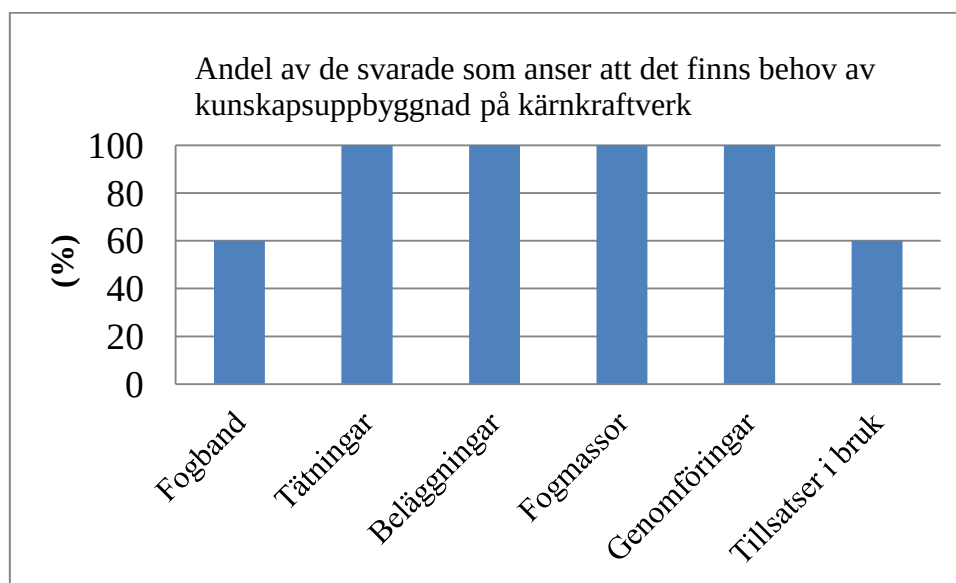
I den inledande delen av projektet togs ett frågeformulär fram. Frågeformulärets syfte var att få en övergripande bild av problematiken samt kundskapsnivåerna kring polymera material ute på kraftverken. Vi lät representanter från projektets styrgrupp välja ut lämpliga personer för att besvara enkäten. Från kärnkraft svarade 5 personer på enkäten och från vattenkraft svarade 6 personer på enkäten.

Det huvudsakliga resultatet visade på att kunskapsnivån angående polymera material i betongkonstruktioner är generellt begränsad (figur 3.1). En utökad kunskapsuppbyggnad efterlystes inom samtliga av följande områden: fogband, tätningar, fogmassor, beläggningar, genomföring och tillsatser i bruk samt reparationsbruk (figur 3.2 och 3.3).

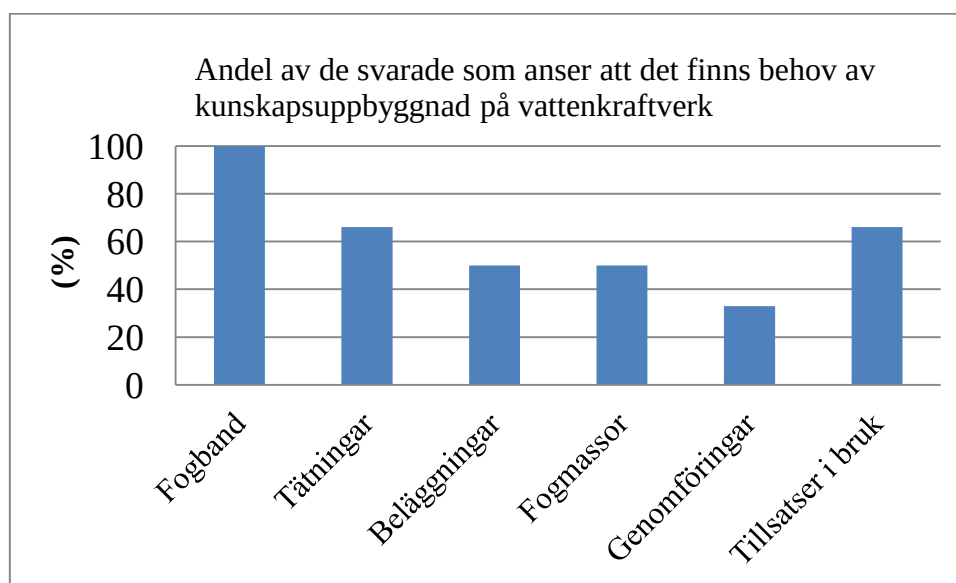


Figur 3.1. Cirkeldiagram över resultatet från enkätundersökningen där personerna fick svara på en femgradigskala (dåligt, begränsad, ok, bra och utmärkt) vad de tyckte att den generella kunskapsnivån var ute på verken. Från kärnkraft svarade 5 personer och från vattenkraft svarade 6 personer.

Att döma av formuläret ansågs de största återkommande problemen med polymera material i betongkonstruktioner vara fogband. Största svårigheten är att det är svårt att bedöma dess status och därmed finns en oro att de försprödas och måste ersättas.



Figur 3.2. Andel av de svarande som anser att det finns ett behov av kunskapsuppbyggnad för kärnkraftverken. Resultatet baseras på 5 personers svar.



Figur 3.3. *Andel av de svarande som anser att det finns ett behov av kunskapsuppbyggnad för vattenkraft. Resultatet baseras på 6 personers svar.*

På frågan om vilka polymera material i betongkonstruktioner som de anser viktigast, på sitt resp. kraftverk, svarade vattenkraftverken fogband. För kärnkraftverken ansågs säkerhetsrelaterade komponenter vara av störst vikt t.ex. tätning av mellanbjälklag men även fogband, genomföringar samt fogmassor ansågs av särskilt stor vikt.

4 Vattenkraft

I Sverige finns runt 1900 vattenkraftverk. Dessa står tillsammans för ca 50% av Sveriges totala elproduktion.

Betongdammkonstruktioner är generellt utsatta för många av naturens olika mekaniska (vattentryck, vind, snö och is) och fysikaliska (fukt och temperatur) laster. Betong utsätts för nedbrytning främst genom tre verkande och samverkande mekanismer i nordiska klimat: frostangrepp, urlakning samt mekanisk erosion (vatten mot betong) [5].

Betonganläggningars vattentäthet begränsas oftast av täthetsförmågan hos fogar med tillhörande fogband. Vid läckage är det i dagsläget många gånger oklart om det är själva fogbandet som läcker (inkl. skarvar) eller om den angränsande betongen har utsatts för nedbrytning vilket medfört läckage igenom fogområdet.

4.1 Besök på Betonglaboratoriet i Älvkarleby

På Vattenfalls betonglaboratorium i Älvkarleby utvärderas fogband med hjälp av dokumentet: "Regler för certifiering av fogband av polyvinylklorid (PVC) framtaget av Vattenfall Utveckling AB" [7]. Enligt denna ska fogbandet åldras i en 10 %-ig alkalilösning vid $65 \pm 2^\circ\text{C}$ under 42 dygn enligt VU-SC:6 för att mäta alkaliebeständigheten. Efter åldrandet testas material med avseende på viktnedskningen (max 10 vikts %), draghållfastheten och brottöjningen vid $+20^\circ\text{C}$ samt sprödheten vid -25°C . Idag vet man inte hur resultatet av detta test relateras till en livslängd i den miljö fogbandet sitter. Därmed är det av intresse att utvärdera testet för att erhålla mer vetskap om metodens accelererade nedbrytning, samt vilken verklig åldring testet återspeglar.



Figur 4.1. Fogband i en betongkonstruktion. Betongblocket på bilden kommer från en gammal dammkonstruktion i Stenkullafors där den suttit i ca 30 år.

Det är välkänt att mjukgjorda PVC-material åldras, oftast pga. förlust av mjukgörare, vilket förspödar materialet. Eftersom PVC-materialet i fogbanden innehåller en mycket hög halt mjukgörare, upp till 40-50 %, är detta en viktig faktor för åldringen. Genom åren har mjukgörarna kontinuerligt ersatts på grund av nya hälso- och miljörestriktioner. Detta har resulterat i en ändring i materialets egenskaper. Olika mjukgörare är olika effektiva och därför behövs det en varierande mängd för att uppnå samma effekt. Olika mjukgörare migrerar därutöver olika fort ur materialet. Det är därför viktigt att utvärdera vilka mjukgörare som kan stanna i materialet längst med en bibehållen flexibilitet. Eftersom problemet ansågs så angeläget utfördes en mindre sidostudie på åldrandet av fogband inom ramen för detta projekt [8].

4.2 Besök Älvkarleby vattenkraftverk

Älvkarleby vattenkraftverk med en fallhöjd på 23 m ligger vid Dalälven och togs i drift 1917. Kraftverket består av en ny (1991) och en gammal station.

Vid mötet framgick att främst tre komponenter är av intresse att utvärdera: fogband, injekteringsmassor samt förseglingsdukar.

Som tidigare förklarats vet man mycket lite angående statusen på fogband, eftersom de är ingjutna i betongen. PVC fogbanden sätts ofta två och två (den andra med syfte att täta om den första läcker). Området mellan fogbanden tätas extra med bitumenmassa som är ett bindemedel bestående av kolväten figur 4.2. Med syfte av att förbättra egenskaperna hos bitumen används ofta

polymera additiv. Blandningen med bitumen och polymerer har en högre resistens mot sprickbildning vid lägre temperaturer samt flyter och deformeras mindre vid högre temperaturer i jämförelse med bitumen utan polymerer. Bitumenmassan ska inneha en så låg viskositet att den kan hållas och fylla ut området mellan fogbanden, men samtidigt ha så hög viskositet att den inte rinner igenom betongen. Detta regleras med hjälp av polymera additiv, då främst polystyren (PS). Idag vet man inte hur bitumenmassan påverkar materialet i fogbanden, därför är det intressant att i framtiden utvärdera detta. I Älvkarleby vill man att fogbandens status ska bibehållas i så många år som möjligt. Att byta ut fogband är inte aktuellt eftersom fogbanden sitter djupt inne i betongen och är därför mycket kostsamma/svåra att ersätta. Gemensamt för alla förband är att de utsätts för höga vattentryck men inte för UV-ljus. För att få klarhet i hur statusen är på fogband krävs att man utvärderar fogband som varit i drift. Därför är det intressant att utvärdera fogband från dammar som ska rivas/renoveras. Den kvarvarande halten mjukgörare, fogbandets glastransitionstemperatur samt vidhäftningen mot betongen bör utvärderas. Man bör även utvärdera om det har hänt något med kontaktytan med tiden t.ex. erosion, krympning av fogbandet eller sprickbildning. Samtidigt bör också bitumenmassans inverkan på fogbanden utvärderas.



Figur 4.2. Plats där man fyller på bitumenmassan mellan fogbanden, den svarta massan är bitumenmassan.

Injekteringsmassor injekteras i (stoppas i) sprickor för att tätar/laga (figur 4.3 och 4.4). Massorna är antingen av polymertypen epoxi eller av en 1-komponents polyuretan. Produkterna används för att tätar mot vattenläckage där ett cementbaserat bruk inte klarar av att tätar på grund av den höga fukthalten eller att sprickan är för liten. Injekteringsmassorna är ofta fogmassa som expanderar i kontakt med vatten vilket gör att de fyller ut sprickor och tätar mot läckage. Eftersom de ofta tätar sprickor där mycket vatten har läckt, utgör de en av de viktiga komponenterna för dammens funktionalitet. Idag vet man lite om statusen på en injekteringsfog, frågor som hur länge håller en sådan fog och hur kan den behålla sin täthet/flexibilitet med tiden. Gemensamt för alla injekteringsmassor är att de

befinner sig i miljöer med mycket hög fuktighet (ska täta läckage). En plats där injekteringsmassorna förekom i Älvkarleby var under dammen.



Figur 4.3. Injekteringsmassa i väggen på en dammkonstruktion i Älvkarleby i gamla stationen. Massan är av typen polyuretan.



Figur 4.4. Lagning av vägg under dammkonstruktionen i Älvkarleby i gamla stationen. Materialet är av typen epoxi.

En intressant produkt som man i framtiden önskar använda på dammar i vattenkraftverk är polymera förseglingsdukar (även kallad geomembran). Förseglingsdukar används mycket i dammar utomlands och har än så länge (i alla fall för Vattenfall) inte använts i Sverige. Dukarna tillverkas både som termoplaster HDPE, LDPE samt som elastomerer EPDM.

Andra intressanta komponenter som finns i vattenkraftverket är gummitätningar på sidodammar och gjutband.

4.3 Besök på Olidan Trollhättans vattenkraftverk

Olidan vattenkraftverk är Vattenfalls äldsta vattenkraftverk figur 4.5. Olidan började byggas 1906 och ligger i Trollhättan vid Göta Älv. Kraftverket har en fallhöjd på 36m och har 13 turbiner varav 10 är i drift. På grund av Olidans höga ålder finns väldigt lite polymera material i dammkonstruktionen.



Figur 4.5 Olidans vattenkraftverk vid Göta älv

På Olidan kraftverk finns inga polymera fogband i damkonstruktionen, varför dessa inte utgör några problem. Istället finns ett annat problem som man önskar att man skulle kunna lösa med polymera bruk. Dammväggarna genom Trollhättan är stendammar med mellanliggande cementbaserad fogbruk figur 4.6. Fogbruket slits mycket och måste ersättas vilket resulterar i stora underhållskostnader. Man är därför intresserad av att ersätta fogen med en polymerbaserad fogmassa för att kunna minimera underhållet. Polymerbaserade injekteringsmassor används även på Olidan där sprickorna är för små att laga med cement eller bruk.



Figur 4.6. Dammvägarna vid Olidans vattenkraftverk är av typen stendamm. Fogbruket mellan stenarna längs vattenlinjen slits och måste kontinuerligt underhållas. Man vill undersöka om en polymerbaserad lösning kan finnas.

4.4 Gemensamma frågeställningar för vattenkraft

Resultatet av besöken visar att fogband, injekteringsmassor, dammdukar samt polymera bruk är de polymera komponenter som är av intresse.

Fogband är den allra viktigaste komponenten p.g.a. att de är mycket komplicerade att ersätta eller statusbedöma. Dessutom finns det begränsad kunskap rörande om ifall det är fogbanden, montering av fogbanden eller själva betongkonstruktionen som är anledning till att konstruktionen läcker.

Injekteringsmassor är även av stort intresse då de beskrivs som ett nödvändigt ont eftersom de är det enda alternativet som finns till små sprickor. De är problematiska då man inte vet deras livslängd och de utgör ofta viktiga tätningar för dammkonstruktionen.

Dammdukar eller förseglingsdukar är en polymerkomponent som kan bli mycket attraktiv för vattenkraft i framtiden. Dock så måste en utvärdering av deras lämplighet göras. Dammdukar finns i många olika material, allt från termoplastar till elastomerer. Valet av material måste göras utifrån den miljö där de ska användas. Förseglingsdukar används idag framgångsrikt i Sydamerika och i Sydeuropa, men den största frågeställningen är hur de skulle klara vårt kalla nordiska klimat.

Något som inte diskuterats på djupet men som ändå förekommer är polymerbaserat bruk. Polymerbaserat bruk har en snabbare härdningstid och kan användas som lagningsbruk mot fuktiga underlag. Polymera bruk är vanligt förekommande och används mer och mer i dammkonstruktioner. Dock så har de fortfarande inte använts under så lång tid så att åldringen av

polymeren i bruket orsakat problem. Dessa bruk kan dock i framtiden eventuellt skapa ett problem med en försprödning av utförd reparation/åtgärd. I dagsläget finns endast begränsad kunskap kring åldring av dessa material.

5 Kärnkraftverk

I Sverige finns totalt 10 kärnreaktorer. Dessa står tillsammans för lite mindre än 40 % av Sveriges totala elproduktion. Kärnreaktorerna är utspridda på tre kärnkraftverk: Forsmark (3 reaktorer), Oskarshamn (3 reaktorer) och Ringhals (4 reaktorer). Sveriges kärnkraftverk togs i drift under 70- och 80-talet. Idag står Sveriges kärnkraftverk inför en stor effektivisering vilket ställer högre krav på material och underhåll. Inne i kärnkraftverken finns en stor variation av miljöer där polymeren utsätts för olika laster, t.ex. i reaktorinneslutningarna utsätts polymera material för en kombination av strålning och högre temperatur men i en miljö med mycket låg halt av syre. I kärnkraftverken finns också omfattande vattenvägar för kylvattnet, områden där det är både varmt och syresatt. På vissa platser förekommer syre, fukt, värme och strålning.

5.1 Besök på Oskarshamns kärnkraftverk

Oskarshamns kärnkraftverk (OKG) består av tre kokarvattenreaktorer O1, O2 och O3 figur 5.1. I det här projektet besöktes samtliga reaktorer.



Figuren 5.1. Oskarshamn 3 som togs i drift 1985

O1 är idag Sveriges äldsta reaktor och togs i drift den 6 februari 1972 och O3 är 2012 den reaktorn som producerar mest elektricitet i Sverige. Det fanns flera komponenter som skulle vara intressanta att utvärdera.

En av de intressanta komponenttyperna var fogmassor av olika typer och funktion. I reaktorinneslutningen förekom många fogmassor av typen silikon (figur 5.2). Silikonfogar ska klara brand och höga temperaturer och anses

som ett lämpligt material i reaktorinneslutningen (RI) figur 5.2. På vissa ställen fanns fogmassor med en lite mörkare färg med en mattad och krackelerad yta (figur 5.2 till höger), troligen på grund av åldring. Dessa fogar håller idag på att ersättas med en röd variant (figur 5.2 till vänster).



Figur 5.2. Silikonfogar i O3 reaktorslutningen, bilden till vänster visar en ny fog och bilden till höger visar en åldrad krackelerad fog. OBS, fogmassorna är inte av samma typ, färgskillnaderna är inte på grund av åldringen.

Utanför RI förekom omfattande mängder med fogmassor av typen polyuretan vars syfte är att vara tätande och flexibla (figur 5.3). Till skillnad från silikonfogar så kan polyuretanfogar ytbeläggas. På vissa ställen har färgen spruckit där polyuretanfogmassor ytbelagts. Att ytbeläggningar spricker på fogmassor är ett vanligt fenomen och beror på att fogen är mer flexibel än själva beläggningen. Beläggningen i det här fallet kan ha åldrats och blivit mera tvärbunden, vilket medför en försprödning som bidragit till att beläggningen krackelerat (figur 5.3 höger bild).



Figur 5.3. Polyuretanfogmassor. Bilden till vänster visar en omålad polyuretan fog med sprickor och bilden till höger visar en målad polyuretan fog där färgen på fogen även hade spruckit.

Polyuretanfogarna förekommer i många olika miljöer med variation av fukt och temperatur. Den stora frågan rörande fogmassorna är när de ska ersättas. En generell och bättre rutin efterlyses för att underlätta för underhållet.

En produkt som är särskilt viktig för driften är mellanbjälklagstätningarna mellan dry-well och wet-well i EPDM gummi på O1 och O2. Denna komponent måste vara tät i samband med en LOCA-händelse (loss of coolant accident) för att kunna säkerhetsställa funktionen av inneslutningen. Det är därför av största vikt att den här komponenten inte utsätts för en sättning. Idag utför man regelbundna tester av tätningen. Man förvarar flera provbitar i en låda inne i reaktorinneslutningen (i dry-well delen). I samband med de årliga

revisionerna skickas en provbit på kontroll för att säkerhetsställa att komponentens tätningsförmåga inte påverkats av åldringen.

Enligt ritningar finns flera komponenter i betongväggar med olika funktionaliteter. Exempel på komponenter är: Ett kloroprenmaterial som tar upp rörelse i betongen i en del av reaktorinneslutningen, cellplastisolering inne i betongen vid reaktorinneslutningen på O1 och O2 samt PVC fogband i vattenvägarna. Eftersom komponenterna är dolda i betongen har man begränsad kunskap om dessa komponenter. Eftersom experterna som var med och byggde reaktorerna på 70 och 80-talet har gått i pension är ritningarna det enda man kan gå efter rörande var de finns.

Brattbergare finns i genomföringar, både nya och gamla, figur 5.4. Brattbergare eller CMT block är "byggblock" som ska hålla tätt mot brand- och tryck vid kabelgenomföringstätningar. De är tillverkade av elastomeren Lycron som är en halogenfri elastomer, närmare bestämt ett EPDM material med en hög halt (ca 50%) av ett värmeabsorberande flamskyddmedel som spjälkar vatten vid uppvärmning. Brattbergare innehåller även ett smörjmedel (försmoda) för att enkelt och snabbt kunna installeras. Brattbergarblocken finns att beställa med olika dimensioner beroende på tilltänkt genomföring. Vid en eventuell brand så expanderar lycron-gummit med ca 15% för att kompensera för kabelisoleringen som smälts. Denna expansion innebär att genomföringen kan hålla sin täthet genom brandförloppet. Största problemet med Brattbergare är att de inte ersätts med jämna mellanrum och att de finns i tusental på ett kärnkraftverk. Idag vet man inte hur åldringen har påverkat Brattbergarnas förmåga att hålla tätt vid ett tillbud i reaktorn.



Figur 5.4. Bilden till vänster visar en nyare Brattbergare och bilden till höger visar en åldrad Brattbergare (mörkare färg) med någon form av klibbig massa emellan. Genomföringarna fanns i O3:an.

Vidare så förekom några enstaka gummitätningar t.ex. gummitätningar kring personalslussen till reaktorinneslutning (RI) som är tillverkade av elastomeren Viton och byts med jämna mellanrum.

Byggnader runt inneslutningen är inte fast anslutna mot reaktorinneslutningen. Konstruktionsmässigt så finns det en spalt mellan byggnaden och inneslutningen för att kunna tillåta en viss rörelse hos respektive byggnad utan att påverka de andra. Samtliga byggnader är separerade och indelade i olika brandceller för att undvika spridning av vatten, ånga eller brand. För att kunna uppnå detta har man en avtätning med ett gummimembran mellan de olika byggnadsblocken (figur 5.5). Innanför gummimembranet finns brandklassad isolering (mineralull) för att

kunna undvika brandspridning till andra delar byggnadsdelar. Gummimembranet ska klara de rörelser som uppkommer mellan byggnadskonstruktionerna samt hålla fukt borta som kan påverka brandisoleringen.



Figur 5.5. Membrangummitätning mellan betongblock på O3. Avtätningen används för att separera spalten som finns mellan reaktorinneslutningen och andra konstruktioner och ska fungera som skydd för vatten och ånga. Innanför avtätningen finns en brandisolering som ska förhindra spridning av brand till andra block.

OKG planerar att byta de gamla gummiavtätningarna mellan betongblocken och håller just nu på att utvärdera vilka alternativ som finns till dagens avtätning.

OKG känner att de har kontroll över underhållet på sina beläggningar. De använder sig av dokumentet TBY (tekniska bestämmingar för ytskydd) vid underhåll av beläggningarna och ersätter kontinuerligt beläggningar vid de årliga revisionerna.

De komponenter där det finns ett behov av fördjupad kunskap är:

1. Fogband i vattenvägar
2. Fogmassor och injekteringsmassor (som finns i vattenvägar)
3. Genomföringar t.ex Brattbergare och bälgar.
4. Gummiavtätningar i form av dilatationsfogar mellan byggnadsblock.

5.2 Besök på Forsmarks kärnkraftverk

Forsmarks kärnkraftverk har tre stycken kokarvattensreaktorer (F1, F2 och F3). I slutet av maj gjordes ett besök på Forsmark i samband med revisionen på F2. Underhållspersonalen på Forsmark kärnkraftverk tycker att främst tre polymera komponenter är viktiga att belysa inom ramen för det här projektet: epoxifärg/beläggningar, bälgenomföringar samt fogmassor.

I Forsmark ser man ett stort behov av att undersöka beläggningar på betongen. Ytbeläggningarna har på vissa platser aldrig ersatts, kompletterats eller reparerats sedan reaktorerna togs i drift. Ytbehandlingar är av Epoxityp

och finns överallt i kraftverken och återfinns på känsliga platser såsom reaktorhallen och reaktorinneslutningen. Kunskapen om hur man utvärderar beläggningarnas status samt hur de ersätts finns inte för tillfället. Omfattningen samt tillgängligheten av ytbehandlingarna gör dem mycket komplicerade att ersätta. En blästring av färgen i reaktorhallen bör anses som omöjlig eftersom damm kan hamna i reaktorbassängen och bli radioaktivt och/eller förstöra delar av reaktorhärden.



Figur 5.6. Epoxibeläggning med sprickor. Den här beläggningen är målad på betonggolvet i reaktorhallen på F2. Grundbeläggningen har aldrig ersatts men har underhållits genom att man belagt med ett toppskikt. Betonggolvet i fråga ska underhållas under november 2012.

På Forsmark finns även en omfattande mängd med bälgenomföringar, Figur 5.7. Idag är man osäker på materialets status och hur ofta en bälge bör ersättas. Bälgarna består av ett EPDM gummi förstärkt med aluminiumnät som limmas på plats mellan gummibitar. Idag finns inte det gamla limmet kvar hos leverantören och man är därför intresserade av att ta fram ett alternativt lim, dock är man osäker på vilka krav som måste ställas på ett nytt lim. En klarare specifikation för när material bör ersättas bör även tas fram. Forsmark har varit intresserade av att skicka liknande material på provning, men man har dock ställt sig tveksamma eftersom man haft svårt att sätta upp relevanta kriterier för när ett material inte längre är funktionellt. Utöver bälgar har Forsmark även ett stort antal Brattbergare där man även vill ha en bättre rutin för när de ska ersättas.



Figur 5.7. Bälgenomföring på Forsmarks kärnkraftverk, materialet är av typen EPDM.

I likhet med Oskarshamn har Forsmark flera äldre fogmassor i sina anläggningar. Flera av dessa fogmassor innehåller sprickor figur 5.8 Att fogmassorna ser åldrade ut behöver inte nödvändigtvis innebära att de ska ersättas, eftersom de fortfarande kan uppfylla sin funktion. Det kan vara så att fogmassans krackelering endast är en ytdefekt och att den inre delen av fogmassan fortfarande har den flexibilitet som behövs för att kunna uppfylla fogens ändamål. Därför behövs en bättre metod/rutin tas fram för när dessa fogmassor ska bytas.



Figur 5.8. Åldrad fogmassa i Forsmarks kärnkraftverk. Den här fogmassan fanns i turbinhallen på F2.

F1 och F2 har precis som O1 och O2 mellanbjälklagstätningar mellan dry-well och wet-well. Forsmark har en annan lösning på hur man övervakar åldringen av tätningen. Istället för att ha testkroppar i en låda som på OKG har Forsmark istället monterat provkropparna på betongväggen i wet-well för att kunna simulera sättning av material på bästa möjliga förfarande. Forsmark har haft problem med mellanbjälklagstätningen och fick i början av 2007 ställa av F1 för att byta tätningen, då provning visade att komponentens funktionalitet inte kunde garanteras [9]. Även F2 ställdes av till kall reaktor men man hittade inget fel på tätningen och kunde därefter återstarta utan att behöva ersätta tätningen.

Även Forsmark har gummiavtätningar mellan reaktorinneslutningen och övriga byggnader för att kunna separera rörelserna mellan byggnaderna, se Figur 5.9.



Figur 5.9. Gummiavtätning mellan reaktorbyggnaden och övriga byggnader.
Den här gummiavtätningen satt i F2

Forsmark vill veta mera om följande:

1. Beläggningar, hur underhåller man och hur bedömer man gamla beläggningar.
2. Genomföringar, vad ersätter man gamla bälgenomföringar med och en bättre rutin på Brattbergare.
3. Fogmassor, när är de förbrukade.
4. Gummiavtätning mellan reaktorinneslutningen och övriga byggnader

5.3 Besök på Ringhals kärnkraftverk

Ringhals kärnkraftverk har fyra reaktorer varav en kokvattenreaktor (R1) och tre tryckvattenreaktorer (R2, R3 och R4). I det här projektet besöktes R1, R2 och R3 i mitten på juni 2012.

Ringhals har flera polymera komponenter som är relevanta att ta upp för projektet. I R1 har man ersatt eller börjat byta ut fogar som innehållit PCB (polyklorerade bifenyler). PCB är giftigt och är helt förbjudet att använda sedan 1978. Totalt kommer 8 000 m PCB fog att ersättas. Fogmassorna idag är funktionsdugliga och är av typen Momenitive SCS 9000 SilPruf NB som är en silikonbaserad fog. Från underhållssidan vill man kunna få en uppfattning om när de måste ersättas för att kunna underlätta planeringen av underhållet. Ringhals har jobbat mycket med att underhålla epoxibeläggningar. Man har tagit fram metoder för att underhålla och hittat produkter som fungerar på stora fria ytor, t.ex. i turbinhallen (figur 5.10).



Figur 5.10. Nymålat golv i turbinhallen på Ringhals 2.

Ringhals har den fördelen att man har tre tryckvattenreaktorer (PWR) och kan därför jobba med beläggningar i turbinhallen under driften (ingen strålning). Men samtidigt bör det belysas att innerslutningen är större på PWR och det krävs därför mera jobb med deras underhåll.

Det största problemet med beläggning är att ta bort gamla beläggningar. Här använder underhållspersonalen på Ringhals tre metoder:

- En högtryckmaskin, en s.k. spider jet, som används i offshore industrin på fartyg. Maskinen vattenblästrar bort beläggningen. Maskinen har ett slutet system med vakuum (rent system) där resterna tas upp av en 200 liters separator. Maskinen har använts på stora fria ytor.

- Ringhals vill ta fram ett sätt att ta bort färg genom frysning. Genom att chockfrysa beläggningen kan den göras spröd och man kan enklare knacka bort den. Fördelen av att använda en sådan approach är att ett rent system kan tillämpas.
- På platser där det är svårt att komma åt t.ex. i slutna områden i RI kan idag endast mekanisk grovslipning tillämpas.

Beläggningarna finns i olika miljöer och påverkas olika beroende på omkringliggande miljö. Ett exempel är en beläggning som finns på bottenplanet av Ringhals 3 RI. Här finns ett område där strålningsnivåerna är höga och därför är det mycket svårt att underhålla. Här har färgen börjat flagna på bottenplanet figur 5.11 och har kontinuerligt behövts bättringsmålas. Flagnings tros med största sannolikhet ha uppstått på grund av fukt i betongen.



Figur 5.11. Botten av R3. Området ligger under reaktortanken och här råder det höga strålningsnivåer. Beläggningen mot bottenplanet har flagnat vilket troligen beror på fukt i betongen.

Tekniska bestämmelser för ytskydd (TBY) är ett dokument som är gemensamt framtaget för de svenska kärnkraftverken. Dokumentet innehåller gemensamma standardkrav samt ett flertal kärnkraftspecifika krav som ska uppfyllas när det gäller ytor och deras beläggningar. Vid en ommålning i R2 2009-2010 målades större ytor där man inte kunde uppfylla de hårda krav på vidhäftningen mot den gamla betongen som ställdes av TBY. Underhållssidan har ofta ifrågasatt om en del av TBY kraven är relevanta eftersom de ibland är så hårda att de är omöjliga att leva upp till.

Nytt för årets revision (2012) är att man provat ett alternativ till beläggning i R1. Under en av kondensorerna har man istället för att använda betong med beläggning istället testat en tätare typ av betong som inte behöver beläggas.

Betongen går under produktnamnet Ducurit och är ett så kallat ultrahögt presterande cement. Utöver Ducuritens goda täthet har den även fördelen att den hårdar fortare, har god vidhäftning mot metall, har en låg krympning och är starkare än normal betong. Ducurit används på grund av sin styrka och täthet mycket i olje- och gasindustrin.

Tättningslister på ventilationsluckor har visat sig svåra att byta. Tättningslisterna är tillverkade av ett skummat Neoprenmaterial för att kunna ha en god isolerande egenskap. Neopren (kloropren gummi) är ett klogummi som normalt har mycket god åldringsbeständighet, dock så är Neopren inte beständigt mot solljus (UV-stålning), materialet blir fort sprött och tappar då sin tätningsförmåga. En del av materialet är även i direkt kontakt med solljus vilket medför att materialet åldras fortare. Valet av ett Neoprenmaterial bör ses som olämpligt trots att materialet i sig har god värmeisolering. Antagligen bör ett bättre materialval göras för att kunna undvika den snabba åldringen samt att materialet håller tätt en längre tid. Ett lämpligt material skulle t.ex. vara en massiv tättningslist av EPDM som har erkänt god UV-stabilitet.



Figur 5.12 Tättningslister i R1. Tättningslisten är av typen Neopren och har brutits ner av solljus.

Även på Ringhals finns en stor omfattning av Brattbergstätningar i genomföringarna, figur 5.13. Även här utgör omfattningen själva problemet och en bättre rutin vad gäller deras livslängd samt när de behöver ersättas efterlyses för att minska framtida underhållskostnader. I en åldringsstudie som Ringhals gjorde på Brattbergare hade de en hög sättningsgrad vilket med största sannolikhet beror på den höga halten flamskyddsmedel i Lycron-gummit.



Figur 5.13 En vägg med Brattbergare i R2

Utanför verken finns 1.5 km av kulvertar med polyuretanfogmassor. Fogmassorna har till uppgift att täta kulverten så att de kablar och rör som finns i kulvertarna inte utsätts för vatten. De fogmassor som har suttit på kulvertarna har åldrats rejält med åren då de utsatts för UV-ljus (Figur 5.14 till vänster).



Figur 5.14 Bilden till vänster visar kulverar där fogen har försvunnit, bilden till höger visar fogmassa som nyligen applicerats.

Ringhals har haft problem med fogband. På vissa ställen i vattenvägarna har fogbanden börjat läcka (figur 5.15). Fogbanden som har tagits ut från betongkonstruktionerna i samband med reparation har känts styva (5.16). Underhållspersonalen på Ringhals vill veta varför fogbanden har åldrats och gärna veta vilka typer man idag ska använda.



Figur 5.15 Betongvägg under R2 där vatten har läckt igenom. Troligen på grund av ett otätt fogband.



Figur 5.16 Ett gammalt PVC-fogband från kylvattenvägarna på Ringhals. Fogbandet kändes mycket styvt och hade förlorat sin flexibilitet. Samma fogband har även utvärderats i en annan rapport [7], med slutsats att valet av mjukgörare varit felaktigt och därför påverkat fogbandets livslängd negativt.

På Ringhals har man börjat ersätta de gamla gummiavtätningarna kring inneslutningen. Tidigare har man använt neoprengummi (figur 5.17) ovanpå cellplast, träfiberskivor eller isolering. På grund av åldring har den gamla gummiavtätningen försprödats och börjat spricka på vissa mer utsatta platser. Man har därför valt att byta ut dessa mot ett annat alternativ.



Figur 5.17 Gamla avtätningen mellan reaktorinneslutningen och övriga byggnader. Dilatationsfogen bestod av ett gummimembran av neoprengummi ovanpå antingen cellplast, träfiberskiva eller isolering.

Under 2011-2013 kommer totalt ca 2.1 km avtätning bytas på R3 och R4. Den nya avtätningen mellan reaktorinneslutningen och övriga byggnader består av ett brandtätningssystem bestående av 90 mm stenull som täcks med 12 mm brandklassad silikon av typen FireStop Selant 3000. Ovanpå brandtätningssystemet monteras ett gummimembran av typen EPDM shore 70 (National kvalité 11164). Gummimembranet monteras längs väggen med hjälp av uppfästningsskenor av rostfritt stål av kvalitet EN. 14301 (figur 5.18). Gummimembranet skarvas genom vulkning där det behövs. Fördelen att välja EPDM jämfört med neopren är att EPDM gummi sväller mindre vid exponering för vattenånga.



Figur 5.18 Dilatationsfog nya varianten där man har ett EPDM gummi fastsatt med uppfästningsskenor i rostfritt stål ovanpå ett brandtätningssystem av stenull och silikon.

På Ringhals vill underhållsidan veta mer om följande områden:

1. Fogband, vad kan man förvänta sig med de man har, vilka alternativ finns om man ska ersätta fogbanden?

2. Genomföringar och Brattbergare, efterfrågar en klarare rutin för när de ska bytas i och med att de finns i stor omfattning och därmed orsakar stora underhållskostnader.
3. Beläggningar, på Ringhals jobbar man hela tiden med beläggningar men man vill veta mera om eventuella alternativ som skulle kunna underlätta arbetet.
4. Fogmassor och tätningslistor
5. Gummiavtätning i form av dilatationsfogar mellan betongblock.

5.4 Gemensamma frågeställningar för kärnkraftverken

Gemensamt för kärnkraftverken är egentligen tre huvudsakliga frågeställningar när det gäller polymera komponenter:

- Säkerhet
- Livslängd
- Underhåll

Komponenter som har belysts särskilt ute på kärnkraftverken är komponenter där ett eventuellt underhåll (ersättning) är omfattande både tidsmässigt samt ekonomiskt t.ex. fogar, genomföringar samt epoxibeläggningarna i reaktorhallen och inneslutningen.

Gemensamma komponenter som alla kärnkraftverk önskar få en ökad förståelse för är genomföringar (Brattbergare och bälgar) samt fogmassor. Dessa komponenter finns i stor omfattning och man önskar ha en mer övergripande koll på hur ofta komponenterna bör bytas och när de anses vara förbrukade.

Vidare så bör beläggningar vara en särskilt intressant komponent för framtida forskning p.g.a. deras omfattning och svårighet att ersätta.

Generellt för kärnkraftverken är att material i inneslutningen har varit väl specificerade och valda med mycket god hänsyn till den specifika miljön som råder redan i konstruktionsskedet. Samma omsorg gjordes inte till en början utanför RI. Idag är man mer noggrann vid materialvalet även utanför RI och gör förbättringar av de materialval som en gång gjordes.

Ett material bör ersättas med så korta intervall så att driften och säkerheten inte påverkas men med så långa intervall att det är ekonomiskt försvarbart.

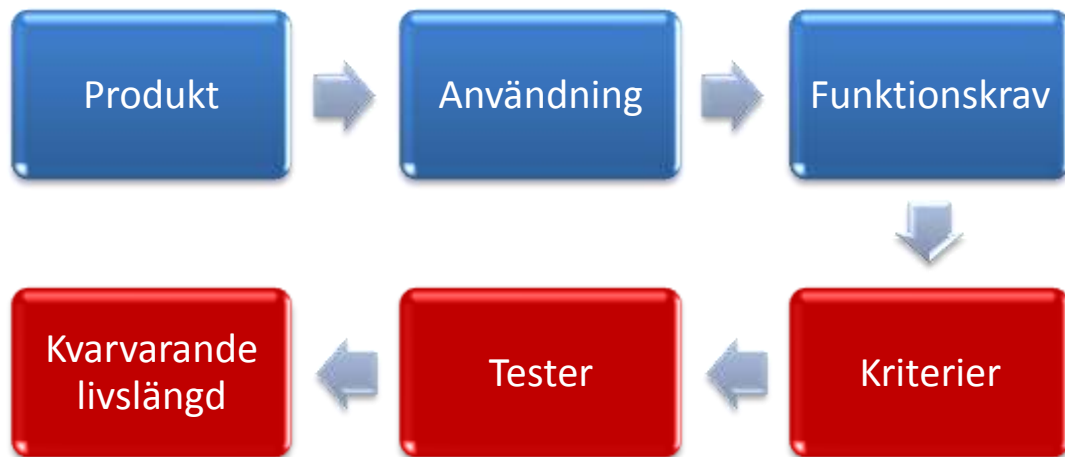
6 Diskussion och slutsats

Resultatet av besöken på verken visar på att det finns flera polymera materialkomponenter i betongkonstruktioner där ett behov av kunskapsuppbyggnad finns. Oftast rör det sig om komponenter som är åldrade, finns i stor omfattning samt är svåra att bedöma på plats. Komponenterna förekommer i olika miljöer (temperatur, fukt, atmosfär) och åldras därför i olika takt. Polymera material finns både ingjutna i och i direkt kontakt med betongkonstruktionerna.

I de fall där materialen finns ingjutna i betongkonstruktionerna, t.ex. fogband måste en djupare analys göras på material som tas ur bruk vid t.ex. rivning av en damm. Idag finns flera olika typer och kvalitéer av material i fogbanden och en kartläggning av vilket material som fungerat bäst och varför bör göras.

Material utanför betongkonstruktioner, t.ex. fogmassor eller genomföringstätningar, bör samlas in från olika miljöer för att bättre kunna förstå vilka specifika åldringsmekanismer som är relevanta i en viss typ av miljö och applikation.

Vid besöken på respektive verk har det framkommit önskemål om en tydligare koppling mellan forskningsinsatser och praktiska problem. Underhålls- och driftpersonal vill kunna tillgodogöra sig och applicera framtagna resultat på de problem och svårigheter de upplever med de polymera materialen idag. Man bör därför utnyttja verkens kunskap och kompetens i fortsatta forskningsaktiviteter för att säkerställa hög relevans. Inom det här projektet har vi tittat på komponenter, vad de används till och vilka funktionskrav som finns, enligt schemat i figur 6.1. Som ett nästa steg i processen behövs klara kriterier sättas då komponenten anses förbrukad. En viktig approach för att bygga upp den kompetensen är att utvärdera komponenter som suttit i drift för att undersöka status och utifrån funktionskraven försöka bedöma kvarvarande livslängd. Av speciellt intresse är komponenter som inte längre uppfyller funktionskraven. En djupare undersökning av dessa ger viktig input till vilka kriterier som är viktiga för just detta material i en given applikation.



Figur 6.1. Förslag på delmoment i hur man ska gå till väga för att få en bättre förståelse av polymera material i betongkonstruktioner. De blå blocken beskriver de delmoment som utförts i den här studien. De röda blocken beskriver de arbete/delmoment som återstår för att förstå de frågetecken som finns kring polymera material i betongkonstruktioner.

7 Behov av fortsatta FoU insatser

Inom ramen för detta projekt har en kartläggning av polymera material i betongkonstruktioner gjorts. Ett naturligt nästa steg är att systematiskt utvärdera statusen och karakterisera ett antal utvalda komponenter. En viktig del av detta arbete är att förstå hur materialen åldras och relatera det till funktionskraven. Dessa resultat kan även ge värdefull input och återkoppling till accelererad åldring i de fall sån data är tillgängliga för att verifiera om den accelererande åldringen har relevans för själva applikationen. Är den för mild/för hårt formulerad? Simulerar de själva miljön? Tar de hänsyn till alla mekanismer som inverkar på materialet?

En generell satsning på en långsiktig provning i komponentens miljö bör tillämpas. Eftersom många fenomen (t.ex. nedbrytning av antioxidanter eller andra diffusionshastigheter av mjukgörare) inträffar vid lägre temperaturer. För att kunna få en djupare förståelse av samtliga mekanismer och därför också kunna optimera ett materials användningslivslängd behövs en sådan approach, även sådana resultat bör jämföras med resultat från den accelererade åldringen.

Material som har suttit på plats i en känd miljö och åldrats i många år är ovärderlig då det gäller att öka kunskapen om en viss applikation. En undersökning av ett sådant material leder till en djupare insikt i vilka mekanismer som har åldrat materialet. Resultatet bidrar även till att livslängden kan uppskattas på bättre sätt. Därför är det mycket viktigt att material tas om hand och bedöms istället för att kasseras. Genom att ha en sådan approach kan en kunskapsbank om materialen byggas som kan användas som underlag vid underhåll och även vid inköp av nytt material. Det är dock viktigt att personer med erfarenhet från kraftverken är med och sätter kriterier för materialet för att kunna göra en så relevant bedömning som möjligt.

Att göra en analys av ett material som ersatts bör ses som en naturlig åtgärd inom det kvalitetshöjande arbetet samt för att underlätta det förebyggande underhållsarbetet.

För vissa komponenter, t.ex. för beläggning i kärnkraften, bör ytterligare ett annat tillvägagångssätt användas. Beläggningar av epoxi är svåra att ersätta, man bör ta reda på om kompletteringar kan göras. Kan man belägga en befintlig beläggning eller måste den tas bort, och i sådant fall hur utför man detta på bästa möjliga sätt med ett bibehållet rent system? Hur mycket utbildas personalen i ämnet och är dagens beläggningar godkända med avseende på de kemikaliereregler som finns på verken? Här finns många frågetecken som måste redas ut.

Exempel på forskningsområden skulle kunna vara:

- Fogband, undersöka vilka typer av fogband som är lämpliga, ta fram en bättre testmetod för deras bedömning samt förstå varför dammkonstruktionerna läcker.

- Genomföringar, förstå hur t.ex. Brattbergare och gummibälgar har åldrats, vilka mekanismer som påverkar materialets livslängd och ta fram ett underlag som kan vara behjälpligt för underhållspersonalen med avseende på hur frekvent materialen ska bytas ut och hur mycket materialet ska klara innan det anses vara förbrukat. Vara behjälplig vid val av nytt material t.ex. vid valet av lim till gummibälgarna.
- Fogmassor, förstå hur fogmassor åldras, ta fram tydliga kriterier för när de är förbrukade samt en enkel testmetod som kan bedöma statusen för fogmassor. Underlaget ska fungera som stöd för underhållspersonal, så att man bättre kan planera när fogmassor ska ersättas.
- Gummitätningar, bedöma hur gamla gummitätningar har åldrats, vara behjälplig vid val av nya gummitätningar för att kunna få det optimala valet av material med avseende på livslängd och säkerhet.
- Beläggningar, bättre rutin på hantering och förståelse av gamla beläggningar. Hur har egenskaperna påverkats, hur kan de underhållas med nya ytskikt och vilka egenskaper får det behandlade ytskiktet jämfört med tidigare beläggningar.

På det stora hela behövs ett generellt stöd till underhållet, så det bästa vore ett projekt där man jobbade med samtliga insatsområden under flera år. Ett sådant projekt skulle syfta till att öka förståelsen för hur material åldras, ta fram tydliga kriterier och snabbmetoder för statusbedömningar, hjälpa till vid val av nytt material och ge ett övergripande stöd på byggsidan rörande polymera material. Målet med ett sådant projekt är att slutligen leverera ett underhållstekniskt dokument med en klar strategi/stöd kring underhållsfrågor (bedömningar, livslängd samt ersättningsfrekvens) rörande polymera material i betongkonstruktioner.

8 Referenser

- [1] Zweifel h., *Plastics Additives Handbook*, 5th edition, Hanser Publisher, Munich 2000, ISBN: 3-446-19579-3.
- [2] Wilkes C.E., Daniels C. A., Summers J. W., *PVC Handbook*, Hanser ISBN 3-446-22714-8.
- [3] Albertsson A.-C., *Introduktion till polymerteknologi*, KTH, Universitetsservice US AB, Stockholm 2002.
- [4] Pinel B., Boutaud F., A methodology to predict the life duration of polymers used in nuclear power stations. Industrial needs and their approach, *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B*, 151, 1999, 471-476.
- [5] Stojanović B., Skador på och reparationer av dilatationsfogar i dammkonstruktioner En sammanställning av kunskaper och nationella insatser, *Elforsk rapport 10:74* april 2010.
- [6] Aggarwal L.K., Thapliyal P.C., Karade S.R., Properties of polymer-modified mortars using epoxy and acrylic emulsions, *Construction and building materials*, 21, 2007, 379-383.
- [7] Vattenfall utveckling AB certifiering, *Regler för certifiering av fogband av PVC*, Mars 2001.
- [8] Blomfeldt T., Bergsjö P., Utvärderingen av egenskaperna hos fogband i mjukgjord PVC för betongkonstruktioner- Korrelation mellan accelererad åldring, långtidsexponering och fogband i drift *Elforsk rapport inskickad till Elforsk jan 2013*.
- [9] Kecklund L., Petterson S., Driftklarhetsbeslut i kärnkraftanläggningar- del 2, SKI rapport 2008:31.

9 Tack till

I det här projektet har många besök gjorts ute på de olika verken och projektets genomförande hade inte kunnat göras utan hjälp från personalen som tog emot på verken. Alla har varit mycket hjälpsamma med att guidat Thomas Blomfeldt från Swerea KIMAB runt på kraftverken och delat med er av era erfarenheter. Därför ska följande ha en stort tack.

Inom kärnkraften tackas Jonas Bergfors och Lennart Kenndal på Oskarshamns kärnkraftverk, Bengt Adolphsson och Petter Gustavsson på Ringhals, Marcus Edin och Anders Frisk Karlsson på Forsmarks kärnkraftverk samt Manouchehr Hassanzadeh på Vattenfall Research and Development. Inom vattenkraft tackas Per-Erik Thorsell och Bojan Stojanovic vid betonglaboratoriet i Älvkarleby, Erik Nordström Älvkarleby vattenkraftverk och Ulf Bengtsson Olidan vattenkraftverk i Trollhättan.

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