
SKI-perspektiv

Bakgrund

Hantering av åldringsfrågor är en viktig aspekt för säkerhetsarbetet vid kärnkraftverken. Under flera år har de svenska kraftbolagen och SKI gemensamt bedrivit ett forskningsprojekt inom området.

SKI:s syfte

Syftet med arbetet har varit att skapa ett underlag att användas vid planering av arbetet med miljöqualificering av framför allt komponenter inne i inneslutningen. Principerna är även tillämpbara utanför inneslutningen i områden som kommer att utsättas för ökad miljöpåkänning i samband med olika händelser.

Rapporten är i två delar; del A är själva rapporten och del B underlagsmaterial.

Resultat

Arbetet är avslutat och har tidigare, år 2000, publicerats som Ingemansson Rapport H-14061-r-I. Då det genomförda arbetet bedöms som intressant för en vidare spridning och för att öka spårbarheten presenteras det nu som en SKI Rapport. Detta i sig innebär inte någon förändrad status utan arbetet är ett forskningsarbete och är inte ett uttryck för en officiell ståndpunkt från SKI. För att kunna utnyttjas i det internationella samarbetet har SKI gjort en engelsk översättning som utges som SKI Report 02:4

Fortsatt verksamhet inom området

Någon fortsatt verksamhet är för närvarande inte planerad. En utvärdering av erfarenheterna från kraftbolagen samt den internationella utvecklingen inom området får framöver visa om och vilka ytterligare insatser som kan behövas.

Effekter på SKI's verksamhet

Syftet med arbetet har inte varit att direkt påverka SKI:s verksamhet utan att utgöra ett underlag för kraftbolagens strategier och genomförande av olika miljöqualificeringsprogram. Verksamhetsuppföljning av deras arbete kommer att ske på ett likartat sätt som deras övriga verksamheter av betydelse för säkerheten

Projektinformation

Arbetet har bedrivits i ett samarbete mellan de svenska kärnkraftverken och SKI. SKI:s handläggare vid framtagning av rapporten har varit Bo Liwång. SKI ref: 14.8-981038/98255

Sammanfattning

Rapporten behandlar metoder för värdering av leverantörers dokumentation av kvalificerad livslängd i samband med upphandling av säkerhetsrelaterad elektrisk utrustning. Den behandlar vidare metoder som kan användas efter installation för fortlöpande kontroll av åldring (tillståndskontroll), för uppdatering av kvalificerad livslängd samt för förlängning av kvalificerad livslängd.

En detaljerad sammanställning av de underlag som använts finns i SKI-Rapport 01:17 del B. För de program och verktyg som redovisas i föreliggande rapport finns en hänvisning till respektive kapitel i 01:17 del B, där man kan finna detaljerad information.

Arbetet med rapporten har finansierats gemensamt av Forsmark Kraftgrupp AB, OKG Aktiebolag, Ringhals AB, Barsebäck Kraft AB samt Statens Kärnkraftinspektion. För projektets styrning och uppföljning har en kommitté med följande sammansättning svarat

Jan Bendiksen, Ringhals AB
Reinhold Delwall, Forsmark Kraftgrupp AB
Karel Fors, Barsebäck Kraft AB
Lars-Olof Ståhle, OKG Aktiebolag
Bo Liwång, Statens Kärnkraftinspektion

Gunnar Ståhl, ansvarig för projektet vid Westinghouse Atom AB och Kjell Spång, ansvarig för projektet vid Ingemansson Technology AB, har även ingått i styrkommittén.

Rapporten grundar sig på Ingemansson Rapport H-14061-r-I.

Innehåll

1	Inledning.....	5
2	Begränsningar i kvalificerad livslängd.....	6
3	Tillståndskontroll för successiv övervakning eller förlängning av kvalificerad livslängd.....	6
4	Fortlöpande kvalificering	7
5	Verifiering och värdering av kvalificerad livslängd i samband med upphandling (”ny” komponent).....	7
5.1	Miljöprognos och krav på funktion och kvalificerad livslängd.....	7
5.2	Utnyttjande av erfarenhetsdata och materialkunskaper.....	8
5.3	Bedömning av komponentleverantörens kvalificeringsdokumentation	8
5.4	Bedömning av vilka miljöfaktorer som är av betydelse för komponentens åldring	8
5.5	Bedömning av kvalificerad livslängd och dess verifiering samt av behov av program för uppföljning efter installation	9
5.6	Framtagning och genomförande av uppföljande program för åldringshantering efter installation	10
6	Uppdatering av kvalificering av installerad komponent (”gammal” komponent) .	11
7	Referens.....	15

1 Inledning

Syftet med denna skrift är att kortfattat beskriva alternativa program och verktyg för värdering av genomförd och dokumenterad kvalificering med avseende på åldring av elkompnenter från leverantörsdata samt för komplettering av genomförd och dokumenterad kvalificering. Syftet är vidare att beskriva verktyg för värdering av åldringstålighet och vid behov för kompletterande kvalificering av redan installerade ("gamla") elkompnenter.

En detaljerad sammanställning av de underlag som använts, användbara data, etc. finns i SKI-Rapport 01:17 del B [1]. För de program och verktyg som redovisas för olika situationer i denna skrift görs en hänvisning till respektive kapitel i 01:17 del B, där man kan finna detaljerad information.

Kvalificering med avseende på åldring går ut på att säkerställa en kvalificerad livslängd som verifieras genom provning och analys. Detta sker genom

- Initial kvalificering för hela den önskade livslängden med analys och laboriemässig provning i vilken inverkan av åldring fastställs genom att provobjekten åldras artificiellt, varvid inverkan av åldringpåverkande miljö accelereras enligt någon metod, varefter provföremålets förmåga att klara föreskrivet haveriprov (DBE-simulering) verifieras. Tillståndsmätningar vid föreskrivna tidpunkter efter installation kan användas för att öka säkerheten i den kvalificerade livslängden.
- Kombination av initial kvalificering för en livslängd som är kortare än den totala eftersträvade livslängden (installerad livslängd) och en successiv förlängning av den kvalificerade livslängden genom tillståndsmätning eller upprepad provning av exemplar av installerade komponenter (fortlöpande kvalificering).

Ju mer komplex komponenten är ur åldringssynpunkt (sammansatt av flera åldringskänsliga material med olika åldringsegenskaper) eller ju mindre kunskaper man har om åldringsegenskaperna hos de material komponenten är uppbyggd av desto viktigare är det med uppföljande kontroller efter installation (tillståndsmätningar). Av olika anledningar bör använd accelerationsfaktor vid artificiell åldring begränsas, se [1], kapitel 4.5.2.1 (termisk åldring) och 4.5.3 (åldring i joniserande strålning). Om man inte genom undersökningar kan visa att höga accelerationsfaktorer kan användas med rimlig säkerhet bör faktorn vid termisk åldring begränsas till max 250.

2 Begränsningar i kvalificerad livslängd

Med enbart initial kvalificering begränsas den livslängd komponenten med god säkerhet kan anses kvalificerad för av begränsningar hos metoder för accelererad artificiell åldring samt av den tid man kan anslå för sådan. Målsättningen för initialt kvalificerad livslängd bör begränsas till vad som kan verifieras med laboratoriemässig provning. För material som åldras är det ibland ej möjligt att konstruera artificiella prov som säkerställer en livslängd som är lika med installerad tid. En successiv förlängning av kvalificerad livslängd kan åstadkommas efter installation genom fortlöpande kvalificering och/eller övervakning (tillståndskontroll).

3 Tillståndskontroll för successiv övervakning eller förlängning av kvalificerad livslängd

Tillståndskontroll används för att säkerställa att komponenters degradering ej nått så långt att deras korrekta funktion vid DBE är osäker. En förutsättning för att tillståndskontroll skall kunna användas är att man har en användbar parameter med vilken man kan mäta komponentens degradering och att man visat att komponenten vid en viss degraderationsnivå mätt med denna parameter fortfarande klarar att utsättas för föreskriven DBE och att därvid fungera på avsett sätt och innehålla de egenskaper (t.ex. värden på dielektriska parametrar) som krävs under DBE.

De vanligast använda tillståndsp parametrarna är endera av

- Indentermodul
- Brottöjning (e/e_0)
- OIT
- Dielektrisk förlustfaktor

eller en kombination av flera av dessa.

I [1], kapitel 5.2.2 (Identifiering av tillståndsindikatorer och deras förändring), kapitel 5.4 (Observation av komponenters åldring genom tillståndsmätningar och inspektioner) redovisas hur de olika tillståndsp parametrarna definieras, hur de uppmäts, för vilka material de är tillämpbara, etc.

Istället för att definiera komponentens kvalificerade livslängd kan man definiera komponentens kvalificerade status som ett värde på tillståndsp parametrern som utgör det värde man uppmätt före DBE-provningen.

4 Fortlöpande kvalificering

När en komponents drifttid närmar sig den i laboratorieprov verifierade kvalificerade livslängden kan denna förlängas genom att komponentexemplar i de mest utsatta positionerna (antingen ordinarie exemplar som ersätts eller speciellt för ändamålet installerade extra exemplar) tas ut och utsätts för accelererad artificiell tilläggsåldring för en viss tilläggs livslängd, följt av DBE-prov. Om de uttagna exemplaren klarar detta prov anses övriga med dessa identiska komponenter i reaktorinneslutningen kvalificerade för tilläggs livslängden.

I de fall man har möjlighet att utnyttja extra komponentexemplar placerade i utrymmen av reaktorinneslutningen med strängare miljö (högre temperatur, högre stråldoshastighet) än i de utrymmen där de säkerhetsrelaterade komponenterna har sin placering kan metoden användas utan att DBE-provet föregås av tilläggsåldring.

I [1], kapitel 5.5 (Förlängning av kvalificerad livslängd genom fortlöpande kvalificering) beskrivs metodiken i detalj.

5 Verifiering och värdering av kvalificerad livslängd i samband med upphandling ("ny" komponent)

5.1 Miljöprognos och krav på funktion och kvalificerad livslängd

För hänsynstagande till åldring vid upphandling av en komponenttyp för installation i kärnkraftverk behövs en miljöprognos för långtidsverkande (åldringpåverkande) miljöfaktorer i de mest utsatta tänkta placeringarna. Prognosen anger miljöstränghet under normal drift. Vidare behövs uppgift om önskad installerad livslängd och funktionskrav med acceptanskriterier vid DBE. Miljöprognosen bör omfatta samtliga miljöfaktorer som kan vara aktuella i för komponenttypen aktuella positioner. [1], kapitel 4.5 (Program för artificiell åldring i samband med typprovning) ger vägledning för bedömning av vilka miljöfaktorer som kan behöva beaktas.

Anm. Med miljöprognos avses förutsagda miljöförhållanden under produktens livstid efter vilka utvecklings-, konstruktions- och provningsarbetet anpassas. Med miljöfaktor avses miljöbestämmande yttre förhållanden som kännetecknas av en eller ett fåtal fysikaliska eller kemiska storheter (exempelvis temperatur, fuktighet, vibrationsnivå). Miljöfaktorns stränghet (miljösträngheten) är i regel bestämd av dessa storheters mätvärden.

5.2 Utnyttjande av erfarenhetsdata och materialkunskaper

Databaser med erfarenhetsdata och provningsdata om komponenttypen och ingående delkomponenter och material kan vara värdefulla hjälpmedel vid en första bedömning av komponenter som marknadsförs. I [1], kapitel 10 (Databaser) ges exempel på några användbara databaser.

Materialkunskaper, speciellt kunskaper om åldringsegenskaper hos polymerer, är en annan viktig grund för bedömning av marknadsförda komponenter. Egna och andras erfarenheter bör undersökas.

5.3 Bedömning av komponentleverantörens kvalificeringsdokumentation

I normalfallet innehåller komponentleverantörens dokumentation typprovningsprogram och typprovningsprotokoll som innefattar miljökvalificering. För att bedöma av komponentleverantören redovisad kvalificering med avseende på åldring är följande uppgifter väsentliga:

- Komponentdata
 - Ingående delkomponenter och material
- Miljöprovningsdata
 - Miljöfaktorer
 - Miljösträngheter
- Provmeter
- Funktionskontroller och acceptanskriterier

5.4 Bedömning av vilka miljöfaktorer som är av betydelse för komponentens åldring

Typprovnningen inkluderar verifiering av komponentens livslängd genom artificiell åldring följt av funktionskontroll under DBE-simulering. Den första bedömningen som måste göras är vilka av de i miljöprognosen upptagna långtidsverkande miljöfaktorerna som kan påverka komponentens åldring.

Vilka miljöfaktorer som är av intresse ur åldringssynpunkt beror således inte endast av var komponenten skall placeras utan även av komponentens uppbyggnad och materialsammansättning, speciellt ingående polymerer.

5.5 Bedömning av kvalificerad livslängd och dess verifiering samt av behov av program för uppföljning efter installation

Miljösträngheten utgörs normalt av nivån på miljöfaktorn (exempelvis temperatur) och exponeringstid. Bestämning av accelerationsfaktorn för den artificiella åldringen grundas på egenskaper hos ingående åldringskänsliga material – för termisk åldring normalt aktiveringsenergi, för åldring i joniserande strålning påverkan av doshastighet. Från leverantören bör man därför efterfråga underlag till accelerationsfaktorn, exempelvis

- Vald aktiveringsenergi och underlag till denna
- Information om doshastighetseffekter för ingående strålningskänsliga material

Provmethod bör anges. Om hänvisning finns till känd standard, exempelvis IEC 60068-2-2 för termisk åldring, framgår provningstoleranser etc ur denna. Om ingen referens ges bör leverantören lämna uppgift om innehållna provningstoleranser etc.

Funktionsdata före, under och efter DBE och hur funktionsmätning har gått till utgör en väsentlig information, dels för att bedöma miljökvalificeringens relevans för avsedd användning, dels som underlag till ev. fortlöpande kvalificering. Information bör finnas om antal provade exemplar och spridningen i resultat med avseende på funktionsdata före/under/efter DBE. Se [1], kapitel 4.5.2.6 beträffande osäkerhet på grund av begränsat antal provade exemplar.

För kontroll av åldring under drift samt i de fall man genom initial provning ej på ett säkert sätt kan verifiera en kvalificerad livslängd som är lika lång som installerad tid, kan man önska införa tillståndskontroll efter installation. För att klargöra förutsättningarna för detta för aktuell komponent bör efterfrågas:

- Om data finns från tillståndsmätningar i samband med den artificiella åldringen och före DBE-provningen.
- Materialdata av betydelse för val av metod för tillståndsmätningar, exempelvis tillsatser (bl.a. antioxidanter, som möjliggör OIT-mätningar) i ingående polymerer.

Det kan även vara av intresse att se på om komponentens uppbyggnad är sådan att icke förstörande tillståndsmätning kan genomföras eller om åldringskänsliga delar är rimligt lätt åtkomliga för tillståndsmätningar.

Efter inhämtande av dessa data bör man kunna ta fram en egen bedömning av

- Kvalificerad livslängd i den miljö komponenten väntas utsättas för under normal drift (följt av DBE)
- Förutsättningar för och behov av tillståndskontroll eller fortlöpande kvalificering

Den kvalificerade livslängd man kommit fram till kan bedömas som

- Säker, dvs fastställd med erforderliga marginaler, verifierade aktiveringsenergier, doshastighetseffekter, etc. Förutsätter även att man har tillräckliga kunskaper om väntad miljö
- Mindre säker, genom att genomförd verifiering bedöms otillfredsställande, exempelvis genom att man använt extremt höga accelerationsfaktorer, dåligt underbyggda aktiveringsenergier, ingen hänsyn till doshastighetseffekter etc.

I vissa fall kan det vara omöjligt att komma fram till någon kvalificerad livslängd med utgångspunkt från leverantörens data.

5.6 Framtagning och genomförande av uppföljande program för åldringshantering efter installation

Om en säkert verifierad kvalificerad livslängd föreligger och är lika med eller längre än avsedd installerad livstid, kan man acceptera komponenten utan ytterligare handlingsprogram för hänsynstagande till åldring.

Om en säkert verifierad kvalificerad livslängd föreligger men är mindre än avsedd installerad livstid, kan man acceptera komponenten för sin kvalificerade livslängd och införa tillståndskontroll eller fortlöpande kvalificering för att efterhand förlänga kvalificerad livslängd eller fastställa när komponenten behöver bytas ut.

Anm. I de fall de komponentdelar som är åldringskänsliga är utbytbara kan man istället införa program för utbyte av dessa i god tid innan kvalificerad livslängd löpt ut och på så sätt förlänga den kvalificerade livslängden.

Om den kvalificerade livslängden är mindre säker på grund av att den baseras på prov med mycket höga accelerationsfaktorer kan man skaffa sig ett bättre underlag genom kompletterande typprovning (t.ex. under längre tid med lägre accelerationsfaktorer). Detta förutsätter ett komplett prov inklusive DBE-simulering.

Som alternativ kan man i de fall tillståndsmätning är lämplig nöja sig med att genomföra en åldringssimulering på samma sätt som leverantören presenterat och mäta

tillståndet efter denna simulering. Man kan då anse komponenten kvalificerad för detta tillstånd, förutsatt att tillståndet mäts i delar av komponenten som är avgörande för dess funktion vid DBE (se anm. nedan). Man kan sedan införa ett säkert kvalificerat tillstånd och följa upp tillståndet vid bestämda tidpunkter efter installation för att byta ut eller omkvalificera komponenten när komponenten närmar sig det kvalificerade tillståndet. Alternativt kan man genomföra en åldringssimulering med måttliga accelerationsfaktorer, mäta tillståndet och fastställa efter vilken tid tillståndet motsvarar det man mätt efter simuleringen med leverantörens metod. Ur detta prov kan man fastställa en säker tidsbaserad kvalificerad livslängd.

Anm. Om den termiska åldringen genomförs med alltför hög temperatur kan åldringsmekanismen vara en annan än under driftmiljö. Vidare kan användning av alltför höga accelerationsfaktorer medföra att ytskiktet hos organiska material åldrats kraftigt medan dess inre (för funktion väsentliga) delar åldrats betydligt mindre än vid motsvarande tillstånd hos ytskiktet under drift. Detta beror på heterogen oxidation vid användning av höga temperaturer och korta åldringstider. Motsvarande fenomen kan uppträda vid åldring i joniserande strålning (doshastighetseffekter). Dessa effekter kan leda till att man överskattar funktionsförmågan i drift hos en komponent som uppvisar en viss degradation (tillstånd) på ytan. Detta gäller exempelvis kablar, om tillståndet mäts i ytskiktet av manteln. Avgörande för funktionen i DBE är tillståndet hos ledarisoleringen som således för ett och samma tillstånd hos manteln kan vara betydligt bättre vid artificiell åldring med höga accelerationsfaktorer än i drift.

Om leverantörens dokumentation och data inte ger underlag för bedömning av kvalificerad livslängd är man hänvisad till införande av komplett typprovning med åldringssimulering följt av DBE-simulering.

Även om man inte vid upphandlingstillfället ser ett direkt behov av program för tillståndsmätningar eller fortlöpande kvalificering är det klokt att inhandla ett antal extra komponentexemplar som förvaras i kontrollerad (mild) miljö för att vid senare behov medge kompletterande provning, införande av tillståndsmätningar eller fortlöpande kvalificering.

6 Uppdatering av kvalificering av installerad komponent ("gammal" komponent)

En komponent som finns installerad kan behöva uppdateras beträffande kvalificering för långtidseffekter av miljöpåkänningar (åldring). Tänkbara orsaker till att man vill ta fram ett program för sådan uppdatering kan vara:

- Miljödata har visat sig avvika från de som förutsatts vid fastställande av kvalificerad livslängd. Uppdatering av kvalificerad livslängd kan göras enkelt genom insättning av de nya miljösträngheterna i den formel för acceleration som använts.
- Behov av omprövning av kvalificerad livslängd från tidigare dokumenterad verifiering på grund av att man använt alltför höga accelerationsfaktorer eller ej tillräckligt konservativa antaganden om aktiveringsenergier, ej tagit hänsyn till doshastighetseffekter etc. Behov av att uppdatera kvalificerad livslängd på grund av nya kunskaper inom området.
- Kvalificerad livslängd är på väg att löpa ut.
- Installerad livslängd är längre än från början förutsatts, vilket innebär krav på en utökning av kvalificerad livslängd.

En uppdatering av kvalificerad livslängd kan grundas på

- Analys
- Miljömätningar
- Kompletterande undersökningar av ingående materials åldringsegenskaper och åldringsparametrar (exempelvis aktiveringsenergier, doshastighetsberoenden)
- Tillståndskontroll, i de fall underlag finns för detta ur kvalificeringsdokumentationen (vilket sällan eller aldrig är fallet).

En förlängning av kvalificerad livslängd kan grundas på

- Framtagning av program för tillståndskontroll, inklusive erforderliga undersökningar och provning för att få fram underlag till detta.
- Framtagning av program och underlag till fortlöpande kvalificering.

Uppdateringen av kvalificerad livslängd mot bakgrund av förut nämnda orsaker kan ske enligt något av följande program (beroende av orsak till önskemål om uppdatering).

<i>A. Orsak till önskemål om uppdatering: Nya miljödata. Ex. Uppmätt temperatur eller uppmätt doshastighet under normal drift lägre/högre än förutsatt vid bestämning av kvalificerad livslängd.</i>
Omräkning av accelerationsfaktorn för genomförd typprovning ([1], kapitel 4)
Revidering av kvalificerad livslängd

B. Orsak till önskemål om uppdatering: Omprövning av kvalificerad livslängd från tidigare dokumenterad verifiering på grund av att man använt alltför höga accelerationsfaktorer eller ej tillräckligt konservativa antaganden.

Alternativ 1:

Omräkning av accelerationsfaktorer genom införande av högre grad av konservatism, information från egna och andras undersökningar, databaser ([1], kapitel 10), etc. eller genom egna mätningar av aktiveringsenergi etc på ingående material.

Revidering av kvalificerad livslängd

Alternativ 2:

Om tillståndsmätning är lämplig och nya identiska komponenter är tillgängliga: Åldringssimulering enligt tidigare dokumenterad verifiering, mätning av tillståndet i slutet av denna. Detta utgör kvalificerat tillstånd ([1], kapitel 9).

Alternativ 2a:

Mätning av installerade komponenters tillstånd och jämförelse med kvalificerat tillstånd

Livslängden bestäms som kvalificerat tillstånd

Alternativ 2b:

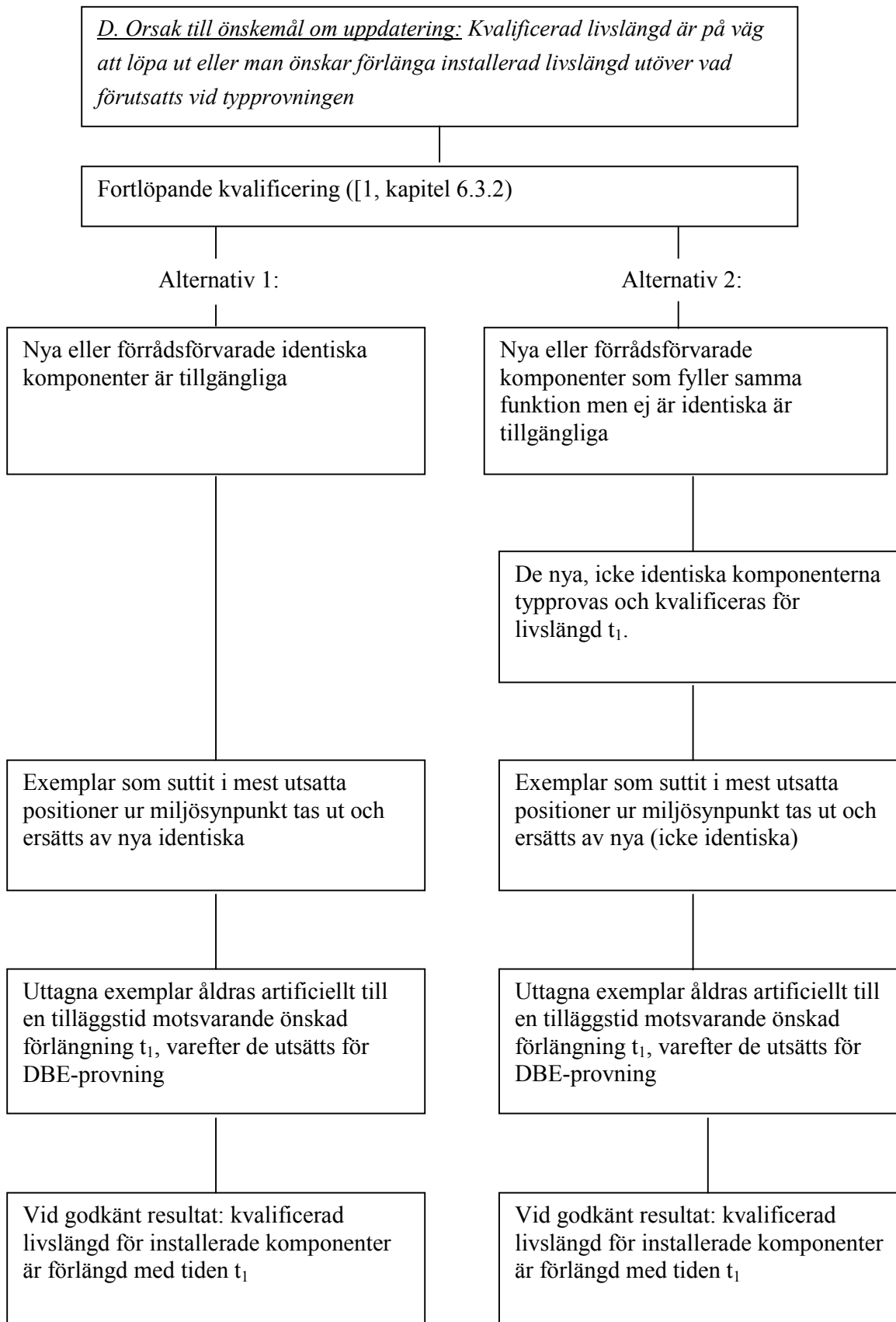
Åldringssimulering med måttliga accelerationsfaktorer, mätning av tillståndet och fastställande av vid vilken tidpunkt tillståndet motsvarar kvalificerat tillstånd

Revidering av kvalificerad livslängd

C. Orsak till önskemål om uppdatering: Anpassning till nya eller utökade kunskaper inom området.

Sammanställning av för ändamålet relevanta kunskaper, inkl allmänna kunskaper, materialkännedom, etc. Ändring av antaganden som grund för bestämning av kvalificerad livslängd ([1], kapitel 10).

Revidering av kvalificerad livslängd



Alternativ 2 kan vara användbart i de fall det rör sig om en komponenttyp som förekommer installerad i stor mängd exemplar, varvid det kan vara betydligt mer ekonomiskt att förlänga kvalificerad livslängd på det sätt som beskrivits än att byta ut samtliga installerade exemplar mot nya.

I de fall tillståndet före DBE-provningen (kvalificerat tillstånd) i samband med typprovningen är känt eller tagits fram enligt B alternativ 2 kan man utöka kvalificerad livslängd genom att ta ut exemplar som suttit i de mesta utsatta utrymmena, åldra dessa artificiellt till en tilläggstid motsvarande önskad förlängning (t_1) och därefter mäta tillståndet. Om det kvalificerade tillståndet fortfarande innehålls kan den kvalificerade livslängden anses utökad med tilläggstiden (t_1).

7 Referens

[1] Spång, K., Ståhl, G. "Kvalificering av elkomponenter i kärnkraftverk. Del B. Underlag till hantering av åldring". SKI-Rapport 01:17 del B, December 2001 (Ingemansson Technology AB rapport H-14061-r-E, 2000-06-20)

Sammanfattning

Syftet med denna rapport är en genomgång av egna och andras FoU-resultat och erfarenheter i de delar som ligger till grund för hantering av åldring enligt SKI-Rapport 01:17 del A. Den innehåller mer grundläggande information och beskrivningar som kan vara av värde för den som arbetar med frågorna samt en del data från undersökningar av olika materials åldringsegenskaper: tröskelnivåer, doshastighetseffekter, aktiveringsenergies, lämpliga metoder för tillståndsmätning etc.

Rapporten begränsas till säkerhetsrelaterade komponenter, som innehåller åldringsbenägna delar, i huvudsak organiska material (polymerer). För komponenter placerade i reaktorinneslutningen är möjligheterna till kontinuerlig övervakning begränsade, liksom i en del fall åtkomligheten för regelmässiga inspektioner. Därför ägnas huvuddelen av rapporten åt kvalificering av sådana komponenter, men även kvalificeringen av komponenter placerade utanför reaktorinneslutningen med bättre möjligheter till täta inspektioner och övervakning berörs.

I rapporten görs en genomgång av aktiviteter, program och verktyg för åldringskvalificering såväl i samband med initial miljökvalificering (typprovning) som efter installation (tillståndskontroll, förlängning av kvalificerad livstid genom fortlöpande kvalificering). Även verktyg för komplettering av åldringskvalificeringen av redan installerade komponenter behandlas.

En detaljerad genomgång av metoder för miljömätning, tillståndskontroll och parametrar för bedömning av accelerationsfaktorer vid artificiell åldring återfinns framför allt i bilagorna. I en av dessa finns även en detaljerad genomgång av polymerers egenskaper i de delar som har betydelse för åldringen.

Arbetet med rapporten har finansierats gemensamt av Forsmark Kraftgrupp AB, OKG Aktiebolag, Ringhals AB, Barsebäck kraft AB samt Statens Kärnkraftinspektion. För projektets styrning och uppföljning har en kommitté med följande sammansättning svarat:

Jan Bendiksen, Ringhals AB
Reinhold Delwall, Forsmark Kraftgrupp AB
Karel Fors, Barsebäck Kraft AB
Lars-Olof Stähle, OKG AB
Bo Liwång, Statens Kärnkraftinspektion

Gunnar Ståhl, ansvarig för projektet vid Westinghouse, och Kjell Spång, ansvarig för projektet vid Ingemansson Technology AB, har även ingått i styrkommittén.

Rapporten grundar sig på Ingemansson Rapport H-14061-r-I, som därutöver innehåller fyra bilagor med detaljerad information gällande teknik och system för mätning av miljö i kärnkraftverk, beskrivning av mätmetoder för tillståndsmätningar, polymerers uppbyggnad och egenskaper samt bestämning av aktiveringsenergies.

Innehåll

1	Allmänt	7
1.1	Bakgrund och syfte.....	7
1.2	Rapportens uppläggning och innehåll	7
1.3	Referenser.....	8
2	Terminologi	9
3	Strategier och program för kvalificering av komponenter med hänsyn till åldring.....	10
3.1	Syften med program för hantering av åldring	10
3.2	Åldringspåverkande faktorer.....	10
3.3	Strategi för kvalificering	10
3.4	Referenser.....	12
4	Typprovning (Initial kvalificering).....	12
4.1	Allmänt.....	12
4.2	Fastställande av funktionskrav under normal drift och vid DBE.....	13
4.3	Prediktering av förväntad miljö under normal drift.	14
4.4	Uppställning av målsättning för kvalificerad livslängd.	15
4.5	Program för artificiell åldring i samband med typprovning.....	15
4.5.1	Allmänt	15
4.5.2	Artificiell termisk åldring	16
4.5.3	Åldring i joniserande strålning	23
4.5.4	Andra miljöfaktorer som kan vara av betydelse för nedbrytningen på grund av åldring.....	26
4.5.5	Provningssekvens och kombinerade miljöfaktorer.....	27
4.6	DBE-provning	28
4.7	Referenser.....	29
5	Aktiviteter efter installation för att upprätthålla kvalificering genom kompletterande provning och kontrollmätningar	30
5.1	Allmänt.....	30
5.2	Förberedelser för provning och kontrollmätningar efter installation.....	31
5.2.1	Installation och/eller lagring av komponenter för uppföljande provning.....	31
5.2.2	Identifiering av tillståndsindikatorer och deras förändring med åldring.....	32
5.3	Kompletterande provning och kontrollmätningar	33
5.3.1	Mätning av miljön för installerade komponenter	33
5.3.2	Kompletterande långtidsprov i laboratorium.....	33

5.3.3	Kompletterande mätningar och studier av parametrar av betydelse för bedömning av accelerationsfaktorer vid artificiell åldring (aktiveringsenergi, doshastighetseffekter, synergieffekter m.m.) ..	34
5.3.4	Revidering av kvalificerad livslängd.....	34
5.4	Observation av komponenters åldring genom tillståndsmätningar och inspektioner	34
5.5	Förlängning av kvalificerad livslängd genom fortlöpande kvalificering.	35
5.6	Referenser.....	36
6	Sammanfattning av program för hantering av åldring av "nya" och "gamla" komponenter	36
6.1	Allmänt.....	36
6.2	"Ny" komponent	37
6.2.1	Komplett miljökvalificeringsprogram	37
6.2.2	Kvalificeringsprogram för ny komponent för vilken viss kvalificeringsdokumentation föreligger	38
6.2.3	Schema för förlängning av kvalificerad livslängd genom fortlöpande kvalificering	39
6.3	"Gammal" (tidigare installerad) komponent	40
6.3.1	Kompletterande miljökvalificering.....	40
6.3.2	Schema för förlängning av kvalificerad livslängd genom fortlöpande kvalificering	40
6.4	Fortlöpande kvalificering av delkomponent	41
7	Komponenter utanför reaktorinneslutningen.....	42
7.1	Hantering av åldring.....	42
7.2	Referenser.....	44
8	Metodik för mätning av komponenters driftmiljö	45
8.1	Bakgrund	45
8.2	Temperatur, mätkrav	45
8.2.1	Lufttemperaturen	46
8.2.2	Strålning från omgivande ytor	46
8.2.3	Mätning av temperatur hos värmeavgivande komponenter	47
8.3	Mätning av joniserande strålning	48
8.4	Övriga miljöfaktorer, förekomst	48
8.5	Lokalisering av hot-spots	48
8.6	Referenser.....	48
9	Metodik för bestämning av polymerers åldringsrelaterade egenskaper (tillståndsindikatorer).....	49
9.1	Allmänt.....	49

9.2	Icke påverkande tillståndsmätningar (non-destructive)	49
9.3	Påverkande tillståndsmätningar (destructive)	50
9.4	Samband mellan värden på tillståndsp parametrar före haveri och funktion under haveri	51
9.5	Tillståndsindikatorer som kan komma till användning i samband med kvalificering för och kontroll av åldring.....	51
9.6	Sammanfattning av metodernas tillämpbarhet.....	52
9.7	Referenser.....	54
10	Databaser	54
10.1	EQDB	54
10.2	EQMS (Environmental Qualification Management System).....	55
10.3	IAEA DATA.DBF	55
10.4	Referenser.....	56
11	Slutsatser.....	56

1 Allmänt

1.1 Bakgrund och syfte

SKI-Rapport 01:17 del A [1.1] behandlar hantering av åldring vid kvalificering av säkerhetsrelaterad elektrisk utrustning i kärnkraftverk. Denna rapport beskriver underlaget till dessa. Syftet med underlagsrapporten är en genomgång av egna och andras FoU-resultat och erfarenheter i de delar som ligger till grund för rekommendationerna. Rapporten innehåller mer grundläggande information och beskrivningar som kan vara av värde för den som arbetar med frågorna samt en del data från undersökningar av olika materials åldringsegenskaper med avseende på tröskelnivåer, doshastighetseffekter, aktiveringsenergies, lämpliga metoder för tillståndsmätning etc.

Rapporten begränsas till säkerhetsrelaterade komponenter, som innehåller åldringsbenägna delar, i huvudsak organiska material (polymerer). Till denna kategori hör kablar och kabelskarvar samt ett antal komponenter som innehåller oljor, tätningar (o-ringar), etc. För komponenter placerade i reaktorinneslutningen är möjligheterna till kontinuerlig övervakning begränsade, liksom i en del fall åtkomligheten för regelmässiga inspektioner. För komponenter placerade utanför reaktorinneslutningen finns bättre möjligheter till täta inspektioner och övervakning.

1.2 Rapportens uppläggning och innehåll

Rapporten redovisar de verktyg som står till förfogande för hantering av åldring av komponenter i kärnkraftverk, inklusive

- Prediktering av miljö som påverkar åldringen (termisk miljö, joniserande strålning, fukt, föroreningar, vibration)
- Program för artificiell åldring före haverimiljöprovning
- Bedömning av kvalificerad livslängd
- Åtgärder för att komplettera initial kvalificering och kontrollera åldringen efter installation (besiktning i samband med revisioner, miljömätning och tillståndskontroll) samt för att förlänga kvalificerad livslängd (fortlöpande kvalificering).

Rapporten innehåller även underlag till val av metoder för artificiell åldring, hur man fastställer kvalificerad livslängd ur denna samt underlag till val av tillståndsindikatorer som är användbara för olika typer av material.

Metoder för tillståndskontroll av åldring efter installation är i huvudsak användbara på relativt enkla komponenter, för vilka det är möjligt att identifiera och mäta på åldringskänsliga delar. Exempel på sådana komponenter är kablar, kabelskarvar, spolar, o-ringar etc. För mer komplexa komponenter är åtgärder efter installation normalt begränsade till komplettering av initial kvalificering, kontroll av driftmiljön samt förlängning av kvalificerad livslängd genom fortlöpande kvalificering.

Rapporten behandlar i huvudsak åldring av komponenter placerade i reaktorinneslutningen, men ett kapitel har medtagits för komponenter utanför reaktorinneslutningen. Vissa av dessa kan vara placerade så att de under normal drift utsätts för relativt höga temperaturer eller i utrymmen som berörs av haveri.

Rapporten begränsas till åldringsrelaterade frågor, men korttidsverkande miljöer kan påverka effekten av åldring. Exempelvis kan en termiskt åldrad komponent vara mer känslig för slag och tillstötning än en icke åldrad komponent. Detsamma gäller hantering i form av exempelvis böjning av kablar, demontering för byte av o-ringar, etc. Det kan således vara väsentligt att vissa prov för kvalificering för korttidsverkande miljöer utförs på komponenter som åldrats. Miljödata för korttidsverkande miljöer i svenska kärnkraftverk finns i Akustikbyrån TR 5.082.01, utgåva 2 [1.2] (komponenter i reaktorinneslutningen) och TR 5.125.01 [1.3] (komponenter utanför reaktorinneslutningen). Provningsmetoder för korttidsverkande miljöer finns i IEC Publication 60068 (Environmental Testing Procedures), [1.4].

Detaljerad beskrivning av polymerers egenskaper, åldringsbeteende och deras orsaker, beskrivning av mätmetoder för mätning av miljö i kärnkraftverk, metoder för mätning av tillståndsindikatorer, mätning av parametrar av betydelse för livslängdsbestämning ur artificiell åldring (fr.a. aktiveringsenergi för termisk åldring) inkl typiska värden för olika material samt bestämning av erforderliga marginaler på grund av begränsat antal provexemplar, har hänförts till bilagor.

1.3 Referenser

[1.1] Spång K., Ståhl G. ”Kvalificering av elkomponenter i kärnkraftverk. Hantering av åldring”, SKI-Rapport 01:17 del A, 2000-06-20 (Ingemansson Technology AB rapport H-14061-r-I)

[1.2] Krosness A., Spång K. ”Miljökvalificering av komponenter i kärnkraftverk. Del I: Komponenter i reaktorinneslutningen”, IFM Akustikbyrån TR 5.082.01, utgåva 2, September 1980

[1.3] Westin, L. ”Miljökvalificering av komponenter i kärnkraftverk. Del 2: Komponenter utanför reaktorinneslutningen”, IFM Akustikbyrå TR 5.125.01, December 1980

[1.4] International Electrotechnical Commission IEC Publication 60068 ”Environmental testing procedures”

2 Terminologi

Ett antal termer med anknytning till åldring av komponenter används i denna rapport. En förklaring till dessa termer lämnas nedan.

Kvalificerad livslängd	Den tidsperiod före ett konstruktionsstyrande haveri för vilken utrustningen har visats innehålla konstruktionskraven vid angivna driftförhållanden. Den kvalificerade livslängden är lika med tiden till dess komponenten måste genomgå förnyad kvalificering eller tas ur bruk
Installerad livstid	Tid till dess komponenten avses utbytas eller kraftverket tas ur drift
Artificiell accelererad åldring	Åldring som genomförs i laboratorium vid högre temperatur, stråldoshastighet, vibrationsnivå, etc. än den komponenten utsätts för i normal drift
Tillståndsmätning	Mätning av värdet på en eller flera tillståndsindikatorer.
Tillståndsindikatorer	Mätbar egenskap som påverkas av åldring och som är relaterad till komponentens funktionella integritet
Fortlöpande kvalificering	Omqualificering av komponent för förlängning av kvalificerad livslängd
Konstruktionsstyrande händelser (design basis events), DBE	Postulerande händelser specificerade i anläggningens säkerhetsrapport vilka anger konstruktionskraven för byggnadsverk och systemfunktioner
Konstruktionsstyrande haveri (design basis accident), DBA	ett specifikt definierat fall av DBE

LOCA (loss of coolant accident)	Kylmedelsförlust som leder till konstruktionsstyrande händelse
Post-LOCA	Efter kylmedelsförlust som leder till konstruktionsstyrande händelse
MSLB (main steamline break)	Brott på huvudångledning

3 Strategier och program för kvalificering av komponenter med hänsyn till åldring

3.1 Syften med program för hantering av åldring

Syftet med program för hantering av åldring av säkerhetsrelaterade komponenter är att säkerställa att komponenterna klarar att fungera under normal drift, extrem drift samt vid en DBE när som helst under sin installerade tid. Komponenter som innehåller för funktionen väsentliga organiska material (polymerer, oljor, etc.) är känsliga för åldring på grund av termisk påverkan och påverkan av joniserande strålning. För sådana komponenter utgör hantering av åldring en mycket väsentlig del av kvalificeringsarbetet.

3.2 Åldringpåverkande faktorer

Åldring av polymerer påverkar hårdhet, brottöjningsdata, elasticitetsmodul, kompressionstålighet, isolationsresistans, spänningstålighet, tålighet mot kemikalier, tålighet mot aggressiva gaser, vibrationstålighet, färg, dielektricitetskonstant, fassammansättning mm. Åldringen kan påverkas av miljöexponering och tillsatser i polymeren. Tabell 3.1 nedan sammanfattar positiv och negativ påverkan.

Tabell 3.1 Faktorerens påverkan på komponenters åldring

Värme	Fukt	Inertgas ¹⁾	Strålning ²⁾	Katalysator	Antioxidant
Starkt negativt	Starkt negativt	positivt	Starkt negativt	negativt	Starkt positivt

1)Undersökningar, redovisade i SKI 97:40 [3.1] visar att kvävgas i reaktorinneslutningen minskar den oxidativa termiska åldringen påtagligt.

2) Påverkan av joniserande strålning beror även av doshastigheten.

3.3 Strategi för kvalificering

Komponenters förmåga att i slutet av sin livstid fungera på avsett sätt i en av haveri påverkad miljö kan ej bedömas med utgångspunkt från enbart erfarenhet, eftersom det finns ringa praktisk erfarenhet av komponenters funktion under haveriförhållanden.

Vi är således hänvisade till laboratoriemässiga prov och uppföljning av komponenters tillstånd i drift som medel att säkerställa deras förmåga att klara ett haveri.

För att verifiera att komponenterna klarar haveri i slutet av sin kvalificerade livslängd åldras de artificiellt innan de utsätts för haverimiljöprovning. Komponenten kan anses vara kvalificerad för det åldrade tillstånd den befann sig i då den genomgick haverimiljöprovet. Syftet med uppföljande verksamhet efter installation är att förvissa sig om att komponenten ej vid något tillfälle har åldrats mer än till det tillstånd den befann sig i vid haverimiljöprovningen (tillståndskontroll) eller att förlänga kvalificerad livslängd genom kompletterande provning (fortlöpande kvalificering).

Haverimiljöprovning sker normalt genom att komponenterna först exponeras för en dos av joniserande strålning som motsvarar haverimiljödosen, därefter (i autoklav) för ett temperatur-tryck förlopp i oftast överhettad ånga som skall simulera omgivningsmiljön i samband med haveri. I vissa fall ingår även sprinkling som en del av haveriförloppet. Komponenter som skall kvalificeras för jordbävning utsätts även för ett jordbävningssimulerande (seismiskt) prov före haverimiljöprovet.

I denna rapport behandlas element som kan ingå i program för åldringshantering, dels för tillämpning vid planering av prov och uppföljande aktiviteter hos nya komponenter som skall installeras ("nya komponenter"), dels för tillämpning på redan installerade komponenter ("gamla komponenter") genom bedömning av kvalificerad livslängd ur de prov som rapporterats och införande av program för fortsatt uppföljning i drift.

Kvalificering av "nya komponenter" omfattar följande element

Före installation:

Initial kvalificering (typprovning) inklusive artificiell accelererad åldring, åtföljd av haverimiljöprovning. Kvalificerad livslängd fastställs.

Ev. förberedelser för provning och tillståndsmätningar efter installation i form av identifiering av lämpliga tillståndsindikatorer och mätning av deras förändring vid åldring till följd av temperatur och joniserande strålning samt installation eller förrådsförvaring av utbyteskomponenter för fortlöpande kvalificering.

Efter installation:

Ev. kompletterande laboratorieprovning med längre tids artificiell åldring för att öka kvalitén på och ev. minska konservatismen i initialt kvalificerad livslängd

Miljömätningar på mest utsatta komponentplatser.

Tillståndsmätningar och/eller förlängning av kvalificerad livslängd genom upprepad artificiell åldring och haverimiljöprovning av utbyteskomponenter. För uppdatering och komplettering av kvalificering av ”gamla komponenter” ingår följande element.

- Genomgång och bedömning av befintlig dokumentation av typprovning, inklusive identifiering av komponentens åldringskänsliga detaljer och material. Uppskattning av initialt kvalificerad livslängd.
- Förberedelser för fortlöpande uppföljning och kompletterande kvalificering genom identifiering av lämpliga tillståndsindikatorer, mätning eller uppskattning av deras förändring med åldring till följd av temperatur och joniserande strålning, inventering av tillgången till identiska komponenter i förråd eller hos leverantören.
- Kompletterande miljömätningar, tillståndsmätningar, fortlöpande kvalificering på samma sätt som för ”nya komponenter”

3.4 Referenser

[3.1] Spång, K. ”Ageing of electrical components in nuclear power plants; Relationships between mechanical and chemical degradation after artificial ageing and dielectric behaviour during LOCA”, SKI Report 97:40, October 1997

4 Typprovning (Initial kvalificering)

4.1 Allmänt

Vid typprovning (initial kvalificering) skall visas att komponenten upprätthåller sin funktion under normal drift samt vid DBE i slutet av sin kvalificerade livslängd.

För komponenter som påverkas av åldring inkluderar typprovningen artificiellt accelererad åldring. Vid typprovningen fastställs och verifieras en kvalificerad livslängd. För att uppnå en lång kvalificerad livslängd med ett relativt kortvarigt prov används höga accelerationsfaktorer, vilket bl.a. förutsätter höga temperaturer och höga stråldoshastigheter i förhållande till de komponenter utsätts för under normal drift.

Typprovning genomförs ofta på grundval av relativt allmänna underlag och metoder. En stor andel av de komponenter som erbjuds av leverantörer är miljökvalificerade enligt

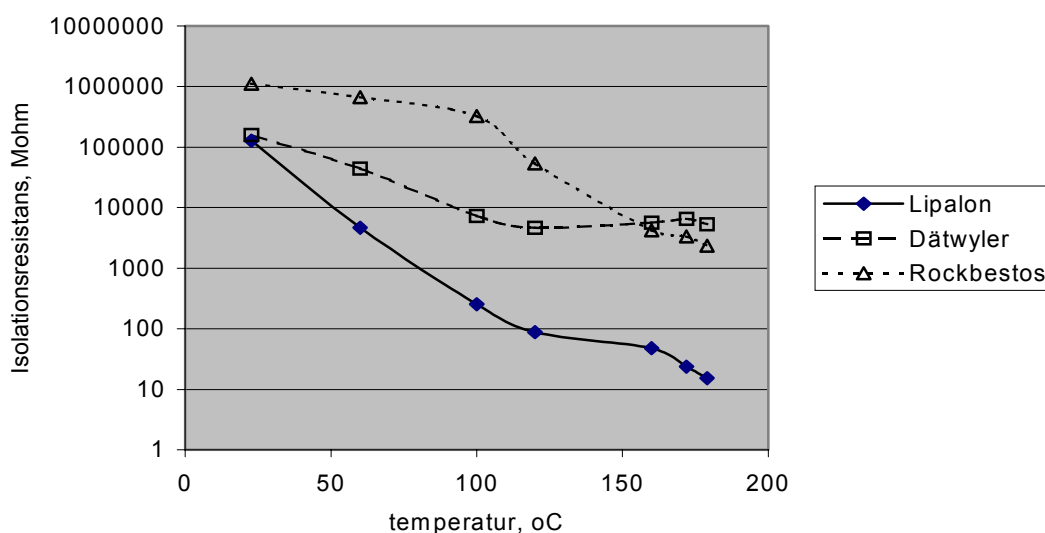
IEEE 323-1974 [4.1] eller IEEE 323-1983 [4.2]. Hänvisning görs även till speciella komponentstandarder, exempelvis IEEE 383-1974 [4.3] för kablar. Kraftverken har tagit fram riktlinjer för typprovning av komponenter, exempelvis KBE EP-154 (1996) [4.4] Miljökvalificering för haveriförhållanden. Hänvisning sker ibland men inte särskilt ofta till internationell standard, t.ex. IEC 60780 [4.5] som har ungefär samma syfte som IEEE 323 men bättre speglar europeisk praxis. Hänvisning kan även ske till andra nationella standarder och regler, exempelvis KTA 3706 [4.6].

I nedanstående genomgång av initial kvalificering har pågående arbeten för revidering av IEC 60780 och IEEE 323 beaktats, liksom det omfattande arbete som gjorts inom IAEA expertgrupp för kabelåldring.

4.2 Fastställande av funktionskrav under normal drift och vid DBE

Kraven på komponentens funktion definieras av det system den ingår i samt dess uppgift, för säkerhetsrelaterade komponenter speciellt dess uppgift under haveri. För att få en funktionsmässig marginal föreskrivs oftast även egenskaper under haveri som är av betydelse för funktionssäkerheten, t.ex. täthet hos avtätningar (o-ringstäthet etc.), dielektriska egenskaper hos isolation, vanligtvis isolationsresistanser.

Isolationsresistanser anges mellan spänningssatta enheter och andra spänningssatta enheter eller mellan spänningssatta enheter och jord. För kablar är det viktigt att det klart framgår för vilken kabellängd det angivna isolationsvärdet gäller. Figur 4.1 visar resultat av mätningar, redovisade i SKI Report 97:40 [4.7]



Figur 4.1. Isolationsresistansens temperaturberoende, uppmätt mellan ledare och jord på 1m kabel, ur [4.7]

Som framgår av figuren avtar isolationsresistansen vid stigande temperatur. Dessutom avtar isolationsresistansen när isoleringsmaterialet utsätts för fukt, speciellt om det som i DBE sker under högt tryck. Detta innebär att isolationsresistansen under DBE är flera tiopotenser lägre än vid normala driftförhållanden även för icke åldrat isoleringsmaterial. Om tillgängligheten av komponenter för typprovning medger kan det därför vara av betydande intresse att parallellt med att man utsätter artificiellt åldrade komponentexemplar för simulerad DBE även ha med något icke åldrat komponentexemplar för att få information om komponentens dielektriska egenskaper påverkats av åldringen eller enbart av haverimiljön.

Det är viktigt att funktionskraven definieras på ett säkert men ej onödigtvis överdrivet sätt. I ett antal fall har artificiellt åldrade komponenter under DBE uppvisat isolationsresistanser som underskrider generellt uppställda krav, vilka ofta satts till 1 M Ω eller mer. Kretsanalyser och undersökningar i efterhand har i allmänhet visat att den marginal man har med isolationsresistansen 1 M Ω är mycket stor och att man skulle kunna ställa kravet betydligt lägre från början och därmed slippa att antingen underkänna komponenter eller gå igenom processen med ändring av kriterier i efterhand. Det borde i många fall vara lönsamt och tekniskt mer tillfredsställande att innan kraven specificeras göra en noggrannare analys av vilket krav man behöver ställa på isolationsresistanser för att med god marginal klara avsedd funktion.

Vid uppmätning av isolationsresistanser hos kablar och relatering av dessa till funktionskrav bör man ta hänsyn till hur lång kabelbit man provar och mäter på i relation till kabellängden för vilken funktionskraven gäller. Ett sätt är att uppge kravet på isolationsresistans i Ω m eller M Ω km.

4.3 Prediktering av förväntad miljö under normal drift.

Information sammanställs från mätningar och en genomgång görs av förhållanden på de platser där komponenttypen skall installeras. Om kunskaperna är begränsade måste detta kompenseras med konservatism i bedömningarna. Det kan löna sig att lägga ner en hel del arbete på insamling av mätdata och noggrann genomgång av förhållandena på de platser där komponenten skall placeras för att öka säkerheten och minska behovet av marginaler. En relativt snäv prediktering med begränsade marginaler kan vara rimlig om programmet för hantering av åldringen av komponenten inkluderar framtida miljömätningar.

I kapitel 9 redogörs för vad som bör iakttas vid bestämning av miljösträngheter för komponenter i reaktorinneslutningen.

Generell miljöspecifikation för normal driftmiljö, väsentligen baserad på IEC 721-3-3 [4.8], finns i TBE 101 [4.9].

4.4 Uppställning av målsättning för kvalificerad livslängd.

För att komma fram till ett realistiskt krav som kan verifieras på ett betryggande sätt vid den initiala kvalificeringen krävs en genomgång av komponenten med kartläggning av material och funktionsegenskaper som kan påverkas av åldring, speciellt kartläggning av ingående polymera material. Detta kan omfatta införskaffande av uppgifter om materialen och deras sammansättning från producenten eller leverantören, inventering av erfarenheter från egna eller andras undersökningar och prov samt egna kompletterande undersökningar och prov. Av intresse är bl.a. materialens aktiveringsenergies (termisk åldring) och nedbrytningens doshastighetsberoende (åldring i joniserande strålning).

Målsättningen kan vara att komponenten skall klara att fungera på avsett sätt vid ett haveri i slutet av dess installerade livstid, exempelvis så länge kraftverket är i bruk. För materiel som åldras är det ibland ej möjligt att konstruera artificiella prov som säkerställer en livslängd som är lika med installerad tid. Målsättningen för initialt kvalificerad livslängd bör begränsas till vad som kan verifieras med laboratoriemässig provning.

4.5 Program för artificiell åldring i samband med typprovning

4.5.1 Allmänt

Tillgänglig tid i samband med typprovning medger vanligtvis inte åldringstider vid den accelererade åldringen före haverimiljöprov längre än någon månad. Det finns en begränsning för hur lång tids åldringstålighet man kan verifiera med kortvarig provning. De metoder som kan användas för att ta hänsyn till detta är

- Att använda måttliga accelerationsfaktorer och initialt kvalificera för en begränsad livslängd som är kortare än installerad tid och efter installation genomföra program för förlängning av den kvalificerade livslängden.
- Att använda höga accelerationsfaktorer och initialt kvalificera för installerad livstid, att efter installation eventuellt förbättra säkerheten i den kvalificerade livslängden

genom att upprepa provningen med måttliga accelerationsfaktorer under lång tid, samt att inkludera ett program för tillståndskontroll för att kontrollera att komponenterna ej vid någon tidpunkt under hela sin installerade tid åldrats i högre grad än till den nivå på tillståndsparmetrarna vid vilken haverimiljöprovning genomförts med godkänt resultat.

Åldringsprogrammet bör ta hänsyn till de miljöfaktorer som komponenten utsätts för under sitt installerade liv och som är av betydelse för åldringen. Till miljöfaktorer som kan påverka åldringen hos komponenter som innehåller organiska material hör värme, fukt, vibration, joniserande strålning, kemiska faktorer samt kombinationer av dessa faktorer.

4.5.2 Artificiell termisk åldring

4.5.2.1 Modell för accelererad termisk åldring

Termisk åldring är alltid aktuell. Acceleration erhålls genom förhöjd temperatur. Ett antagande om ett Arrhenius-förhållande mellan temperatur och degradationshastighet förutsätts oftast. Accelerationsfaktorn F beräknas ur

$$F = \frac{t_2}{t_1} = e^{\frac{E}{k} \left[\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2} \right]} \quad (4.1)$$

där t_1 = provningstid, t_2 = verklig tid (kvalificerad livslängd), E = aktiveringsenergi (i eV), k = Boltzman's konstant $0,86 \cdot 10^{-4}$ eV/K, T_1 = temperatur (i K) vid normal drift, T_2 = provningstemperatur.

En säkerhetsmarginal bör läggas till provningstemperaturen eller provningstiden. Storleken hos säkerhetsmarginalen beror av ett antal faktorer, bl.a.

- Kunskap om komponentens temperatur under drift. Marginalen kan göras mindre om temperaturen kontrolleras (och mäts).
- Graden av kunskaper om egenskaperna hos ingående organiska material, speciellt tillgång till uppmätta aktiveringsenergies inom aktuellt temperaturområde.
- Provningstoleranser, t.ex. toleranser på temperaturen i nyttoutrymmet hos klimatkammaren.
- Antalet komponentexemplar som provas.

Tillförlitligheten vid verifiering av kvalificerad livslängd begränsas av ovanstående faktorer men även av osäkerhet vid applicering av Arrhenius formel på komplexa komponenter, t.ex. komponenter som innehåller material med olika aktiveringsenergier.

Osäkerheten ökar med ökad accelerationsfaktor, d.v.s. med ökad skillnad mellan provningstemperatur och drifttemperatur. Det är av avgörande betydelse att begränsa accelerationsfaktorn så att samma åldrings- eller degradationsprocesser som förekommer i driftmiljön även förekommer vid den accelererade åldringen. Man får således inte använda en provningstemperatur som innebär att materialet får helt andra egenskaper än de som gäller vid drifttemperaturen, exempelvis genom att man uppnår glas- eller smältpunkten.

Om man inte genom undersökningar kan visa att höga accelerationsfaktorer kan användas med rimlig säkerhet bör faktorn begränsas till max 250.

Nedan illustreras med ett exempel vad kunskaper om materialparametrar och miljö betyder för kvalificerad livslängd ur artificiell termisk åldring:

Exempel:

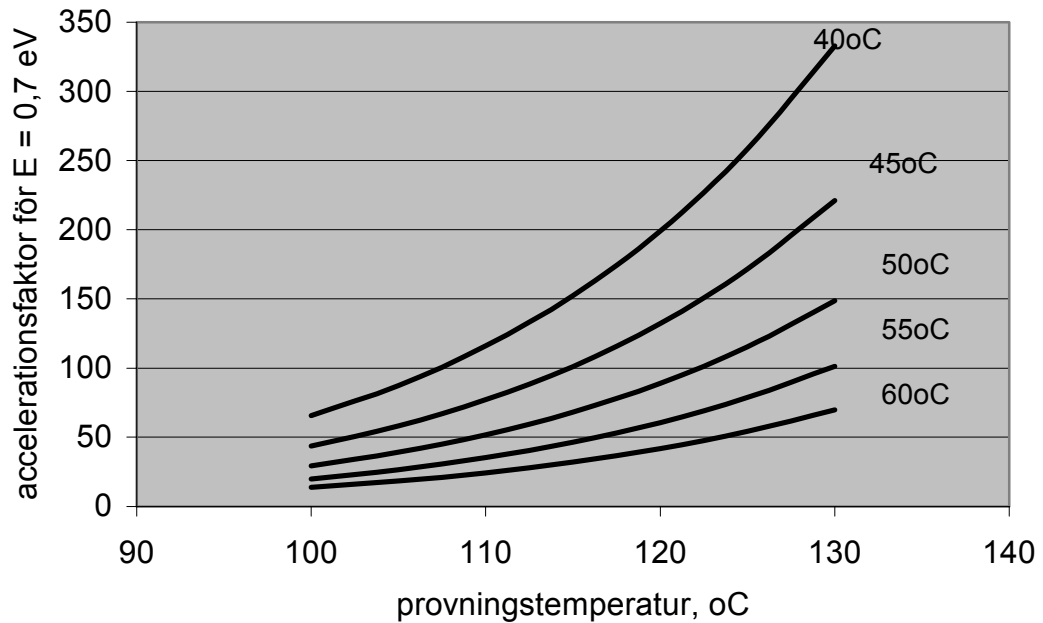
En komponent innehåller en för funktionen viktig beståndsdel som utgörs av ett polymert material (exempelvis en elektrisk isolering eller en tätning). Begränsade kunskaper finns om temperaturen och strålningen under normal drift på den plats där komponenten skall placeras. Vidare finns inga prov redovisade på ingående polymers aktiveringsenergi och doshastighetseffekter på materialets nedbrytning.

En prediktering görs av drifttemperaturen, vilken sätts till ett konservativt värde +55° C, baserat på mätningar i andra positioner och spridning av temperaturer inom PS.

Genom att gå igenom litteraturdata finner man att för aktiveringsenergier för likartade polymerer redovisas värden från 0,75 eV till 1,6 eV (beroende på exakt sammansättning, på vilket sätt och i vilket temperaturintervall aktiveringsenergin bestämts). Man väljer ett konservativt värde 0,7 eV.

Accelererad åldring genomförs med temperaturen +110°C, vid vilken man bedömer att ingen risk föreligger att materialet påverkas av temperaturen på annat sätt än genom successiv termisk åldring. Detta innebär en accelerationsfaktor 35, vilket betyder att man måste åldra termiskt under mer än ett halvår för att uppnå en kvalificerad livslängd lika med 20 år

Figur 4.2 visar hur accelerationsfaktorn varierar med ansatt drifttemperatur och provningstemperatur.



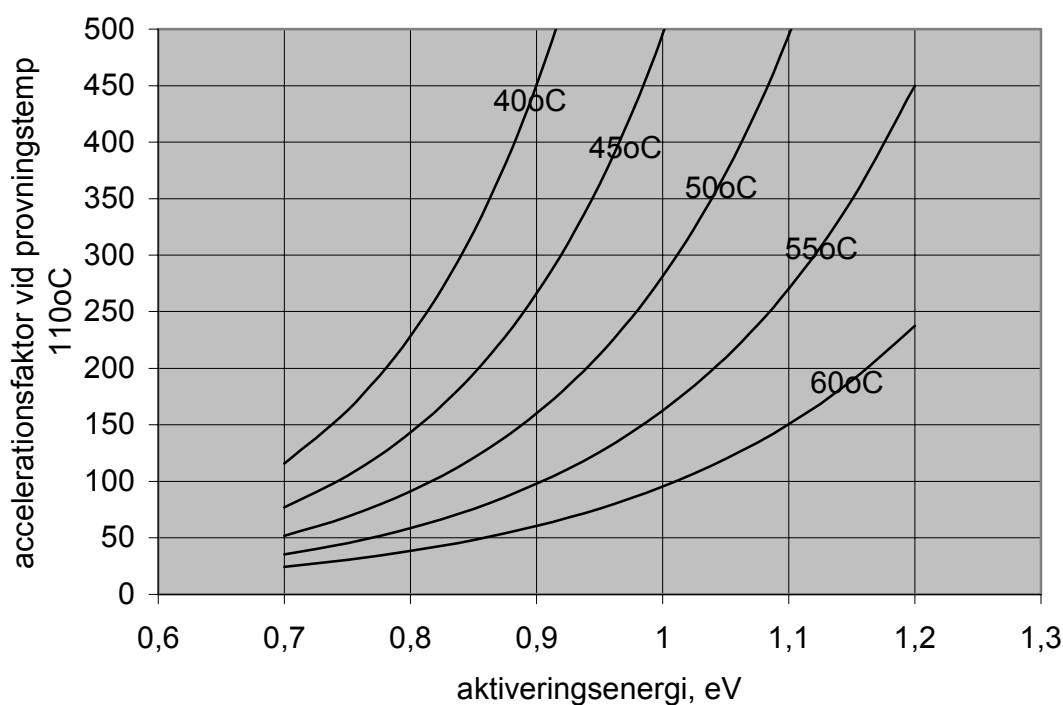
Figur 4.2. Inverkan av provningstemperatur (från 100°C till 130°C) och drifttemperaturer (från 40°C till 60°C) på accelerationsfaktorn vid termisk åldring.

Ur diagrammet kan man utläsa hur man kan öka accelerationsfaktorn genom att minska konservatismen i predikterad drifttemperatur och/eller öka provningstemperaturen. Ökning i provningstemperaturen förutsätter dock att man förvissat sig om att inga mekanismer påverkar komponenten på annat sätt än vid normal drifttemperatur.

Om man t. ex. kan minska predikterad temperatur under normal drift till 45°C genom noggrannare studier eller alternativt val av placering, ökar accelerationsfaktorn till 77.

Om man dessutom genom noggrannare undersökning av materialet finner att man kan öka temperaturen under termisk åldring till 120°C, ökar accelerationsfaktorn till 132.

Mätning av aktiveringsenergin inom aktuellt temperaturintervall är ännu ett steg mot minskning av erforderlig konservatism. Figur 4.3 visar hur höjning av värdet på aktiveringsenergin påverkar accelerationsfaktorn.



Figur 4.3. Inverkan av aktiveringsenergi vid olika drifttemperaturer (från 40°C till 60°C) på accelerationsfaktorn vid termisk åldring.

Antag att man genom mätningar i det relevanta temperaturintervallet finner ett värde på aktiveringsenergin som ligger nära 1 eV och väljer 0,9 som utgångspunkt. Accelerationsfaktorn blir då drygt 250. Artificiell åldring vid 110°C under en månad ger en kvalificerad livslängd av 20 år.

4.5.2.2 Omgivningstemperatur och komponenttemperatur

Enbart kunskaper om den omgivande luftens temperatur är inte tillräckligt för att bestämma temperaturmiljön för en komponent om det finns betydande värmekällor i närheten som komponenten ej är avskärmd från eller om komponenten är värmeavgivande (egenuppvärmd). Se vidare kap 8.2.3, som beskriver hur man kan bestämma lämplig provningstemperatur med hänsyn till egenuppvärmning.

4.5.2.3 Aktiveringsenergi

Bestämning av kvalificerad livslängd ur artificiell termisk åldring beror som ovan illustrerats i hög grad av den ansatta aktiveringsenergin.

Aktiveringsenergin kan variera stort för en och samma polymer beroende på additiver i form av färgpigment, mjukgörare, brandhämmare, antioxidanter m.m. Det är därför mycket osäkert att använda data som hämtas ur rapporter från mätningar som inte gjorts på exakt samma materialkombination. Om sådana data skall användas bör man ha information från många olika mätningar på polymeren i olika sammansättningar och

välja ett konservativt värde ur dessa. KBE EP-154 [4.4] anger att om inte aktiveringsenergin är känd skall 0,8 eV användas.

Som framgår av en rad utredningar, bl.a. SKI Report 97:40 [4.7], kan aktiveringsenergin variera med temperaturen och sannolikt även med grad av degradering. Man bör därför använda en aktiveringsenergi som är representativ för de förhållanden som gäller för provningen.

Om komponenten innehåller flera åldringskänsliga detaljer, kan man använda aktiveringsenergin för det material som har lägst sådan. Detta kan i vissa fall innebära en kraftig överprovning av de ingående material som har högre aktiveringsenergi. Man kan minska denna genom att först åldra de detaljer som har lägst aktiveringsenergi, montera in dem och sedan åldra den hopmonterade komponenten. Ett typiskt exempel redovisas nedan.

Exempel:

En PS-genomföring innehåller de åldringskänsliga materialen epoxy (ingjutning), EPR (o-ringar) och Silikongummi (o-ringar). Medeltemperaturen i genomföringen vid normal drift beräknas vara +55°C. Genom mätningar och en konservativ bedömning av resultaten av dessa har man funnit att aktiveringsenergin för epoxyn är 1,2 eV, för o-ringarna av EPR 0,95 eV samt för o-ringarna av silikongummi 0,85 eV. Genomföringarna är komplicerade att ta ut och prova och installation av extra exemplar för fortlöpande kvalificering är inte realistiskt på grund av att de dels är komplexa och skrymmande, dels används för genomföring av kablar som belastas med 500-550 A vid slutet av bränslecykeln och därmed egenuppvärms, vilket gör det komplicerat att installera extra exemplar. Man vill därför kvalificera initialt med sikte på 40 år och verifiera successivt med hjälp av tillståndskontroll.

Man vill begränsa accelerationsfaktorn till 250, vilket innebär en provningstid om minst $40 \cdot 365 / 250 = 60$ dygn. Med hjälp av Arrhenius formel räknas ut att man för epoxyn (aktiveringsenergin 1,2 eV) behöver en provningstemperatur om 105°C för att uppnå accelerationsfaktorn 250 (ger accelerationsfaktorn 278). Man väljer då denna temperatur för provning av hela den sammanbyggda enheten. För o-ringarna av EPR (aktiveringsenergi 0,95 eV) innebär provning vid 105°C accelerationsfaktorn 86 och den kvalificerade livslängden vid provning under 60 dygn blir då endast 14 år. Motsvarande för silikongummit (aktiveringsenergi 0,85 eV) är accelerationsfaktorn drygt 54 och kvalificerad livslängd 9 år. För att uppnå en kvalificerad livslängd om 40 år för hela genomföringen behöver man föråldra o-ringarna av EPDM resp silikongummi motsvarande 26 resp 31 års exponering vid +55°C innan de monteras in i den kompletta genomföringen (som därefter åldras under 60 dygn vid +105°C före haverimiljöprovningen). För att uppnå detta kan man exempelvis föråldra o-ringarna av EPR och silikongummi under 38 dygn vid +120°C resp. 45 dygn vid +130°C .

För en del komponenter är det endast vissa av ingående polymermaterial som är intressanta ur integritetssynpunkt. För en kabel är exempelvis ledarisoleringens integritet av stor betydelse, medan mantelns integritet är av mindre vikt.

Åldringen av o-ringar i form av sättning påverkas av inspänningen, vilken därför kan behöva simuleras vid artificiell åldring för att ge tillräcklig information om påverkan på o-ringens funktion.

4.5.2.4 Bedömning av aktiveringsenergi från komponentleverantören

En del komponent- och polymerleverantörer tillhandahåller uppgifter om materialens aktiveringsenergi. Uppgifterna är viktiga bl. a. som information om leverantörens grund för angivna livslängdsuppgifter. Det kan emellertid vara viktigt att ta reda på vad leverantörens antaganden om aktiveringsenergi grundas på. Den för bedömning av åldring intressanta aktiveringsenergin kan exempelvis avvika från leverantörsuppgifterna beroende på att de senare ofta baseras på brottöjningsdata framtagna från provning av folier degraderade vid relativt höga temperaturer.

Aktiveringsenergin bestämd på folier av använt material kan dessutom avvika från de värden vi är intresserade av på grund av hög temperatur på tex en termoplast vid extrudering, tillsats av stabilisatorer, smörjning av verktyg vid komponenttillverkning, borrar, fräsning, stansning av komponenten osv. Leverantörens uppgifter kan normalt användas som riktvärde eller jämförelsetal för att identifiera det material som begränsar komponentens livslängd. Det livslängdsbegränsade materialet (materialen) bör därefter undersökas med avseende på aktiveringsenergi i sin leveransform. Denna aktiveringsenergi kan användas för en noggrannare livslängdsbestämning och dessutom utgöra en stabil grund för bestämning av kontrollintervall då komponenten skall ingå i ett tillståndskontrollprogram. Säkrare bestämning innebär att intervallen för tillståndskontroller kan optimeras och att marginaler för livslängdsosäkerhet kan minimeras.

4.5.2.5 Provningstoleranser

IEC 60068-2-2 Tests B: Dry heat [4.10] används för värmeprovning av komponenter i de flesta miljöprovningstilläggslaboratorier. Provkammare av god kvalitet klarar normalt att innehålla de krav på temperaturlösligheter m.m. som anges i denna norm. Det innebär att man kan räkna med att provningstemperaturen ligger inom $\pm 2^{\circ}\text{C}$ av specificerat värde. De marginaler man måste ta till för att kompensera för provningstoleranserna är således små och kan normalt försummas i relation till andra osäkerheter.

4.5.2.6 Antal provade exemplar. Osäkerhet på grund av spridning

Få undersökningar är kända som redovisar spridningen i nedbrytning på grund av åldring hos olika komponentexemplar som utsätts för samma termiska åldringsprov. I SKI Report 93:39 [4.11] görs en teoretisk genomgång av hur marginaler på grund av begränsat antal provexemplar kan beräknas.

Begränsat antal provexemplar innebär att

- Det finns en avvikelse mellan det medelvärde på degradationen som erhålls och ett sant medelvärde (d.v.s. medelvärdet om ett mycket stort antal ex hade provats)
- Det finns en avvikelse mellan den standardavvikelse på degradationen som erhålls och en sann standardavvikelse (d.v.s. standardavvikelsen som uppmätts om ett mycket stort antal ex provats)

Detta betyder att man inte enbart ur spridningen i resultat av provning av ett fåtal exemplar kan ange vilka marginaler som krävs utan man måste också ta med i beräkningen det begränsade antalet provade exemplar.

Beräkningen av erforderlig marginal på grund av det begränsade antalet provade exemplar kan göras på följande sätt:

Antal provade exemplar -	n
Medelvärde på uppmätt tillståndsindikator -	x_m
Standardavvikelse för uppmätt tillståndsindikator -	s
Sannolikhet att medelvärde plus marginal på detta överskrids -	α
Sannolikhet att standardavvikelsen + marginal på denna överskrids -	α

För det sanna medelvärdet gäller

$$\mu < x_m + \frac{t_{n-1,\alpha} \cdot s}{\sqrt{n}} = A \quad (4.2)$$

För den sanna variansen gäller

$$\sigma^2 < \frac{(n-1) \cdot s^2}{\chi_{n-1,1-\alpha}^2} = B \quad (4.3)$$

där

$t_{n-1,\alpha}$ är student-t fördelningen för n frihetsgrader och sannolikheten α

$\chi_{n-1,1-\alpha}^2$ är chi-kvadrat fördelningen för n-1 frihetsgrader och sannolikheten $1-\alpha$

Sannolikheten att summan av medelvärde + k *standardavvikelsen överskrider $A + k*B$ är α^2 (eftersom sannolikheten att A skall överskridas är α och sannolikheten att B skall överskridas är α och medelvärde och varians är oberoende av varandra).

Exempel:

En komponenttyp genomgår artificiell åldring, följt av DBE-simulering. Man har angett som krav för att godkänna komponenten att isolationsresistansen mätt mellan vissa angivna punkter ej får understiga 100 kΩ under DBE.

Fem exemplar provas. De uppvisar följande lägsta isolationsresistanser under DBE: 260, 287, 195, 370 och 205 kΩ. Vi vill ur resultaten utröna om ett slumpvis utvald komponentexemplar innehåller kravet med 90 % sannolikhet, $(1-\alpha) = 0,90$; detta innebär för vardera av A och B ovan att man skall sätta $\alpha = \sqrt{0,1}$, d.v.s.ca 0,333, d.v.s. vi skall bestämma sant medelvärde och varians med 67% konfidens.

De uppmätta värdena på isolationsresistansen har medelvärdet 213 kΩ, standardavvikelsen 31kΩ.

Det sanna medelvärdet är med 66,7% konfidens

$$\mu > 213 - \frac{t_{4,0,333} \cdot 31}{\sqrt{5}} = 213 - \frac{1,093 \cdot 31}{\sqrt{5}} = 198 \text{ k}\Omega$$

Den sanna standardavvikelsen är med 66,7% konfidens

$$\sigma < \sqrt{\frac{4 \cdot 31^2}{\chi_{4,0,667}^2}} = \frac{2 \cdot 31}{\sqrt{2,3}} = 41 \text{ k}\Omega$$

Det värde som med 90% sannolikhet överskrides är $\mu - 1,28\sigma$, d.v.s. större än $198 - 1,28 \cdot 41 = 145 \text{ k}\Omega$. En slumpvis utvald komponent har alltså med 90% sannolikhet ett isoleringsvärde större än 145 kΩ.

SKI rapport 93:39 [4.11] redovisar även hur marginaler, framräknade ur resultat av avvikelser i degradering av olika provningsexemplar, kan omräknas till marginaler i provningstemperatur. En experimentell studie av på så sätt framtagna marginaler redovisas, som omfattar tre kabeltyper, två typer av o-ringar samt en typ av solenoidspolar, samtliga utsatta för termisk åldring under 48 dagar vid 120°C. Resultaten visar att avvikelserna mellan provexemplar inte är försumbara även när provföremålen tagits ur samma leverans.

4.5.3 Åldring i joniserande strålning

En prediktering av den joniserande strålningens doshastighet under normal drift behövs som underlag till kvalificering för en bestämd livslängd. I de flesta utrymmen innanför reaktorinneslutningen är doshastigheten för gammastrålning normalt betydligt lägre än

0,1 Gy/h. I de mest utsatta positionerna (nära rörledningar och i övre delen av reaktorinneslutningen) kan doshastigheten uppgå till högre värden, storleksordningen 1 Gy/h [4.12].

Artificiellt accelererad provning för verifiering av åldringseffekter av joniserande strålning inkluderar utsättande av provobjektet för den totala förväntade livslängdsdosen (före DBE) på kort tid, vilket innebär kraftigt förhöjd doshastighet i förhållande till den som förekommer under normal drift. Accelerationsfaktorn definieras som kvoten mellan doshastigheten vid provning och doshastigheten under normal drift.

Den säkerhetsmarginal som bör läggas till vid verifiering av kvalificerad livslängd beror av en rad faktorer, inklusive

- Kunskap om doshastighet under normal drift. Mindre marginal fordras om doshastigheten kontrolleras (och mäts) under hela den kvalificerade livslängden.
- Kunskap om inverkan av doshastigheten på degraderingen av i komponenten ingående material.
- Provningstoleranser, t.ex. toleranser på grund av osäkerhet i doshastighet och inhomogenitet i bestrålningen.
- Antal komponentexemplar som provas.

I allmänhet gäller för komponenter att man inte kunnat påvisa någon betydande påverkan från strålning vid totaldoser under 1 kGy [4.13]. Undantag är komponenter som innehåller Teflon (känslighetströskel ned till några kGy) eller vanliga mikroprocessorer (känslighetströskel några Gy). [4.13] anger följande tröskelvärden för polymerer, under vilka strålningen kan anses ha försumbar inverkan.

Tabell 4.1 Tröskelvärden för joniserande strålning (ur [4.13])

Elastomerer		Termoplaster		Hartser	
<i>Material</i>	<i>kGy</i>	<i>Material</i>	<i>kGy</i>	<i>Material</i>	<i>kGy</i>
EPR/EPDM	10	XLPE/XLPO	10	Epoxy	2000
Neopren	10	PVC	1	Polyimid (Kapton),PI	100
CSPE	5	Polyeten, PE	3,8	Fenol	3-3900
Nitril (Buna N)	10	ETFE (Tefsel)	10	Polyester	1-790
Butyl	7			Melamin	67
Viton	1				
Silikon	10				

ABB Atom har gjort motsvarande bedömningar, som bl.a. omfattar huvuddelen av materialen i tabellen ovan. De överensstämmer väl med värdena i tabellen fränsett PVC och Polyeten (PE), där ABB anger 10 kGy resp. 100 kGy som tröskelvärden. Därutöver ger ABB följande tröskelvärden:

PEEK, PEAK	100 kGy
PTFE	1 kGy
EVA	10 kGy

För de flesta organiska material beror degradationen orsakad av en given total strålningsdos av doshastigheten. Olika praxis tillämpas i olika länder. IEEE 323 begränsar doshastigheten till 10 kGy/h, KTA [4.6] föreskriver 0,5 kGy/h (100 h) för simulering av åldringsdos, i Japan föreskrivs 1 kGy/h. KBE EP-154 [4.4] anger 1 kGy/h. Senare tiders undersökningar med mycket låga doshastigheter i England, Tyskland och Frankrike visar på doshastighetseffekter som kräver mycket lägre doshastigheter, av storleksordningen 3-10 Gy/h för att framträda fullt ut. För vissa material är beroendet relativt måttligt. Doshastighetsberoendet är mindre om materialet är väl stabiliserat med antioxidanter.

Tabell 4.2 är en sammanställning av tillgängliga data om doshastighetsberoende för material av det slag som förekommer i kablar och andra isoleringar och o-ringar i kärnkraftverk.

Tabell 4.2 Doshastighetsberoenden

Material	Doshastighetsberoende vid jämförelse mellan hög och medelhög doshastighet	Doshastighetsberoende vid jämförelse mellan hög och låg doshastighet
EVA	liten	Stor (30)
EPR/EPDM	liten	Måttlig till stor (3-8)
XLPE	liten	Måttlig till stor (3-10)
SiR	Måttlig (3)	Stor (12)
Viton		Stor
PEEK	Liten	Liten

Med hög, medelhög och låg doshastighet avses 1-10 kGy/h, omkring 100 Gy/h respektive 1-10 Gy/h.

De faktorer som ges inom parentes är i FoU-resultat funna kvoter mellan de totaldoser som för olika doshastigheter krävs för att minska kvoten mellan brottöjningsgräns för åldrat och icke åldrat material, e/e_0 , till ungefär hälften.

De totaldoser (under 3 kGy) vi kan räkna med under normal drift för huvuddelen av placeringar av säkerhetsrelaterade komponenter i svenska kärnkraftverk leder för de flesta komponenter ej till nämnvärd degradering, även om man tar hänsyn till doshastighetseffekten. För komponenter som är placerade så att de är exponerade för högre dos under normal drift bör man beräkna totaldosen och jämföra med den dos komponenten utsätts för under haveri. Om den senare är minst en 10-faktor högre kan man för de flesta komponenter nöja sig med att simulera haverimiljödosen (med doshastighet motsvarande haverimiljön). För enstaka material (t.ex. EVA, PVC) kan man behöva en skillnad på mer än en 10-faktor för att dosen under normal drift och därmed doshastighetseffekten skall kunna försummas.

Om komponenten endast skall fungera i initialskedet av ett haveri kan dosen under normal drift bli dimensionerande, varvid man måste ta till erforderlig marginal för att ta hänsyn till doshastighetseffekter.

Hur man kan ta hänsyn till osäkerheten på grund av att man provar ett begränsat antal exemplar framgår av det föregående avsnittet om termisk åldring.

4.5.4 Andra miljöfaktorer som kan vara av betydelse för nedbrytningen på grund av åldring

Fukt kan medföra att åldringshastigheten ökar, vilket framgår av en rad undersökningar som bl.a. redovisats i IFM Akustikbyrå TR 5.299.03 [4.14]. Normalt utsätts inte våra säkerhetsrelaterade komponenter i reaktorinneslutningen för fuktig atmosfär vid normal drift. I de fall en betydande tids exponering mot fukt konstateras, exempelvis från läckande ångledningar, kan den risk som uppkommit på grund av detta behöva observeras.

Exponering för svaveldioxid kan leda till ändringar i kontaktresistans hos kontaktytor av alla metaller utom ädelmetaller. Svavelväte påverkar i första hand silver och silverlegeringar. Acceleration av korrosiv miljö kan ske genom

- Förhöjd temperatur
- Förhöjd relativ fuktighet

- Ökning av förutsättningarna för kondensation (snabb temperaturhöjning vid hög relativ fuktighet)
- Ökning av koncentrationen av korrosiva gaser/substanser
- Mekanisk stress

Metoder för acceleration och provning i korrosiva miljöer (saltdimma, svaveldioxid, svavelväte, m.m.) återfinns i olika delar av IEC 60068.

Ozonhalten i luft är oftast högre i kustområden (där våra kärnkraftverk är placerade) än i inlandet, vilket beror på att ozon absorberas mer vid transport över landområden än över vatten. Betydande halter av ozon kan förekomma i utrymmen utanför reaktorinneslutningen. Ozon bryter framför allt ner elastomerer.

Mekanisk åldring avser egenskapsförändringar orsakade av mekanisk påverkan såsom

- Böjning kan orsaka sprickor eller göra materialet sprött.
- Slitage påverkar såväl den elektriska som mekaniska hållfastheten
- Yttre påverkan såsom slag kan ge permanenta skador t.ex. hack eller jack som påverkar i första hand materialets elektriska egenskaper.
- Vibrationer kan orsaka nötning vilket leder till försämring av såväl mekaniska som elektriska egenskaper.
- Konstant last ger en komprimering av de flesta polymerer vilket leder till att komponenten deformeras.

Provresultat som redovisas i SKI Report 97:40 [4.7] tyder på att termiskt åldrade kablar som utsätts för kraftig vibration intermitterant under drift riskerar att uppvisa sämre isolation under DBE än sådana som ej vibrerats. Kunskaperna är begränsade, men innebär ändå att man bör vara observant på en risk för minskad åldringstålighet hos komponenter som sitter monterade i vibrerande struktur eller av någon annan anledning kommit att utsättas för kraftiga vibrationer.

4.5.5 Provningssekvens och kombinerade miljöfaktorer

I driftmiljön förekommer joniserande strålning och förhöjd temperatur samtidigt. Vid artificiell åldring i laboratorium appliceras miljöfaktorerna i sekvens. Ett antal studier har genomförts som för vissa material visar att hög temperatur och joniserande strålning samverkar så att den nedbrytande effekten är påtagligt större om de förekommer

samtidigt än om de appliceras i följd. Resurser saknas vanligen för att genomföra provningen som en kombinerad provning. Man får då istället applicera miljöfaktorerna i den följd som ger störst påverkan samt lägga till en marginal för att täcka in synergieffekter.

Exempel finns även på undersökningar som visar att kombinerad åldring vid hög temperatur och doshastighet ger upphov till mindre degradation än om den utförs som sekvens med dessa temperaturer och doshastigheterna. Det är alltså inte säkert att ett kombinerat prov ger bättre realism om det sker under accelererade miljöförhållanden.

En rad studier har även genomförts som jämför påverkan på nedbrytningen av organiska material av sekvensen hög temperatur - joniserande strålning och sekvensen joniserande strålning - hög temperatur. Det anses vanligast att sekvensen joniserande strålning - termisk åldring leder till störst påverkan, vilket kan vara en lämplig utgångspunkt om uppgift saknas. Dock uppvisar t.ex. våra egna mätningar på kablar typ Hypalon (CSPE/CSPE), Dätwyler (EPDM/EPDM) och Rockbestos (CSPE/XLPE) en varierande bild [4.11].

4.6 DBE-provning

Komponenter som skall fungera under DBE utsätts för en DBE-simulerande provning efter åldring, som normalt omfattar bestrålning till en dos motsvarande den som erhålls under DBE inklusive marginal, följt av ett termodynamiskt prov i het ånga under högt tryck enligt en specificerad profil. Driftförhållanden under haveri för våra kärnkraftverk beskrivs i TBE 102:1, [4.15] och motsvarande haverimiljöprovning beskrivs i KBE EP-154, [4.4].

Doshastigheten kan göras lika med den under DBE förväntade. Undersökningar av om kombinationen av strålning med den termodynamiska exponeringen under DBE innefattar någon påtaglig synergi är inte kända. Däremot noteras att man i allmänhet tar till avsevärd marginal vid val av stråldosen för DBE-simuleringen.

För post-DBE gäller i svenska kraftverk för vissa komponenter krav på funktion under 30 dygn. Provning för verifiering av detta bör ske under lika lång tid; accelererad åldring rekommenderas ej eftersom verklig tid är relativt kort och vi inte har någon etablerad metod att accelerera fuktinverkan på åldring. Metoder finns angivna i ref 4.14, men de är i allmänhet komponentspecifika och ej generellt tillämpbara.

4.7 Referenser

[4.1] IEEE 323-1974 "Standard for qualifying class 1E equipment for nuclear power generating stations", The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc.

[4.2] IEEE 323-1983 "Standard for qualifying class 1E equipment for nuclear power generating stations", The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc.

[4.3] IEEE 383-1974 "Standard for type test of class 1E electric cables, field splices, and connections for nuclear power generating stations", The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc.

[4.4] KBE EP-154 "Miljökvalificering för haveriförhållanden", Svenska kärnkraftverken, 1996.

[4.5] IEC 60780 "Qualification of electrical equipment of the safety system for nuclear power plants, 1997 (revision, finns som committee draft 45A/252/CDV)

[4.6] KTA 3706 "Wiederkehrender Nachweis der Kühlmittelverlust-Störfallfestigkeit von elektro- und leittechnischen Komponenten des Sicherheitssystems", Kerntechnischer Ausschuss (KTA).

[4.7] Spång, K. "Ageing of electrical components in nuclear power plants; Relationships between mechanical and chemical degradation after artificial ageing and dielectric behaviour during LOCA", SKI Report 97:40, October 1997

[4.8] IEC 60721-3-3 Classification of environmental conditions – Part 3 Classification of groups of environmental parameters and their severities – Section 3: stationary use at weatherprotected locations

[4.9] TBE 101 "Miljöspecifikation för normal driftmiljö", 1996

[4.10] IEC 60068-2-2 Environmental Testing – Part 2: Tests. Tests B: Dry Heat

[4.11] Spång, K. "Methodology for artificial ageing of electrical components in nuclear power plants; Results of experimental studies", SKI Report 93:39, December 1993

[4.12] Krosness A., Spång K. "Miljökvalificering av komponenter i kärnkraftverk. Del I: Komponenter i reaktorinneslutningen", IFM Akustikbyrå TR 5.082.01, utgåva 2, September 1980

[4.13] Aging Management Guidelines for Commercial Nuclear Power plants – Electrical cable and Terminations. Contractor Report SAND96-0344, September 1996 (Specified dissemination)

[4.14] Spång, K. "Långtidsverkan av miljöpåkänningar på säkerhetsrelaterade elkompnenter i kärnkraftverk. State-of-the-art", IFM Akustikbyrån TR 5.299.03, September 1984

[4.15] TBE 102:1 "Miljöspecifikation för haverimiljöförhållanden", 1996

Övriga rapporter av intresse för kapitel 4, som ej direkt refererats till i texten:

[4.16] NUREG/CR-4301, SAND85-1309 "status Report on Equipment Qualification Issues Research and Resolution", Sandia national laboratories, November 1986

[4.17] EPRI NP-2129 "Radiation Effects on Organic Materials in Nuclear Plants", prepared by Georgia Institute of Technology, November 1981

[4.18] "Effects of low irradiation dose rates on microprocessors to simulate operation in nuclear installations. A safety approach", A. Laviro m.fl. Proceeding Opera 89, September 1989, pp 137-144 (Visar att ökad doshastighet leder till fler fel för en given dos; provat med 5, 50 och 500 • Gy/s. 40% felat vid ca 300, 180, 150 Gy).

[4.19] Operability of Nuclear Power Systems in Normal and Adverse Environments. Albuquerque, New Mexico, September 20-October 3, 1986 Proceedings

[4.20] K.T. Gillen and R.L. Clough "Occurrence and implications of radiation dose-rate effects for material aging studies" Radiat. Phys. Chem, 18, 679 (1981)

5 Aktiviteter efter installation för att upprätthålla kvalificering genom kompletterande provning och kontrollmätningar

5.1 Allmänt

Typprovning av komponenter före installation ger en viss grad av säkerhet att komponenten klarar att fungera tillfredsställande i olika situationer inklusive under haveri. Graden av åldringskänslighet, komplexitet, tekniska förutsättningar och möjligheter, kostnader för uppföljande mätningar och provning i relation till kostnader för utbyte av komponenter m.m. får påverka omfattningen och utformningen av kompletterande program för att säkerställa och upprätthålla kvalificerad livslängd. De metoder som kan användas för att efter installation förbättra tillförlitligheten i initialt kvalificerad livslängd och upprätthålla och eventuellt förlänga denna beskrivs nedan. De kan användas som delar i ett totalt program i vilket initial kvalificering och uppföljande kvalificeringsarbete efter installation utgör kompletterande element. De kan även

användas för att komplettera kvalificeringsarbetet för installerade komponenter för vilka en värdering av utförd initial kvalificering visar på ett behov av kompletterande kvalificering och uppföljning.

För att vidmakthålla och ev. förlänga kvalificerad livslängd kan man använda sig av tillståndsmätning eller upprepad miljöprovning. I det förra fallet identifieras någon eller några tillståndsindikatorer, vilkas förändring med termisk åldring och åldring i joniserande strålning bestäms och vilkas värde vid haveri-provning kan utgöra gränsen för kvalificerat tillstånd. Tillståndet mäts regelbundet efter installation för kontroll av att komponenten ej åldras snabbare än vad som indikerats vid bestämning av kvalificerad livslängd i samband med typprovningen. För att förlänga kvalificerad livslängd upprepas artificiell åldring och haverimiljö-simulering på komponenter som tas ut och ersätts av nya eller ur förråd eller av extra komponentexemplar som installerats för att användas för detta ändamål. Metoderna beskrivs mer i detalj längre fram.

5.2 Förberedelser för provning och kontrollmätningar efter installation

5.2.1 Installation och/eller lagring av komponenter för uppföljande provning

Om fortlöpande kvalificering genom uppföljande provning skall kunna ske efter installation måste komponentexemplar finnas tillgängliga som utsatts för minst samma åldring som de ordinarie komponenter, vilkas livslängd skall verifieras och ev. förlängas.

Även tillståndskontroll av sådant slag som innebär att komponenten påverkas (förstörande tillståndsmätning) kräver tillgång till utbyteskomponenter eller extra komponenter som installerats enbart för att användas till sådan provning eller mätning.

I de fall utbyteskomponenter skall användas, d.v.s. provning eller mätningar utföras på ordinarie installerade komponenter som byts ut, är det viktigt att dessa utbyteskomponenter lagras under kontrollerade förhållanden i mild miljö (kontrollerad temperatur och luftfuktighet). Det är även viktigt att komponenterna är väl dokumenterade beträffande identitet med de som tidigare provats och med de som installerats.

En viktig förutsättning för fortlöpande kvalificering och tillståndsmätning är att man har tillförlitliga uppgifter (helst genom mätning) om miljöhistoriken för de exemplar på

vilka man genomför provning eller tillståndsmätning samt om miljöhistoriken för de komponenter som skall kvalificeras.

Som framgår nedan kan man ersätta artificiell åldring som ett led i upprepad provning vid fortlöpande kvalificering med att utnyttja komponenter som utsatts för strängare miljö under normal drift (i hot-spots) än de som skall kvalificeras. Om man installerar komponenter för detta ändamål är det extra viktigt att man har kontroll på vilken miljö de utsätts för.

5.2.2 Identifiering av tillståndsindikatorer och deras förändring med åldring

Om tillståndskontroll skall inkluderas i program för upprätthållande av kvalificerad livslängd är det nödvändigt att

- Identifiera tillståndsindikatorer som är tillämpliga för komponenten
- Ta fram information om hur värdena på dessa indikatorer förändras med åldring
- Fastställa gränsvärde på tillståndsindikatorerna för vilket säker funktion i DBE är verifierad

I kapitel 9 redovisas de mest användbara indikatorerna, hur de mäts och deras tillämplighet på olika polymera material. En väsentlig fördel är om mätning kan ske utan att komponenten påverkas (icke-förstörande mätning). Detta minskar omfattning av arbete i samband med bestämning av förändring med åldring, fastställande av gränsvärde och tillståndsmätningar i fält. Det bör dock noteras att man även kan använda metoder som är förstörande.

Vibration av polymerdetaljer som utsatts för termisk åldring eller åldring i joniserande strålning kan ge upphov till sprickbildning i polymeren. Komponenter i reaktorinneslutningen utsätts i allmänhet ej för nämnvärd vibration. I de fall detta sker skall man dock vara observant på att tillståndsmätningar normalt inte ger information om sprickbildning i polymerer som påverkar deras dielektriska egenskaper.

Nedsättning av dielektriska egenskaper på grund av sprickbildning visar sig endast vid mätning i fuktig miljö, speciellt under DBE-förhållanden.

5.3 Kompletterande provning och kontrollmätningar

Efter installation kan man använda miljömätningar och kompletterande provning för att öka tillförlitligheten hos kvalificerad livslängd. Resultat av miljömätningar och kompletterande provning kan även leda till revidering av den kvalificerade livslängden.

5.3.1 Mätning av miljön för installerade komponenter

Mätning av miljön, fr.a. temperatur och joniserande strålning, i utrymmen som är representativa för komponenternas placering utgör en viktig aktivitet för att minska osäkerheten i ur typproven bestämd kvalificerad livslängd. Mätningar av miljön för komponenter behandlas i kapitel 8.

5.3.2 Kompletterande långtidsprov i laboratorium

Den tid för artificiell åldring som står till förfogande vid typprovning är begränsad. Detta medför att initialt bestämd kvalificerad livslängd antingen är begränsad på grund av den begränsade artificiella åldringen eller bygger på prov med höga accelerationsfaktorer, vilket innebär en betydande osäkerhet.

En möjlighet att avsevärt förbättra kvalitén hos den ur typproven fastställda livslängden är att efter installation genomföra en upprepning av typprovet med betydligt längre tids artificiell åldring. Detta är speciellt betydelsefullt där osäkerheten är stor på grund av risk att höga accelerationsfaktorer innebär provning under förhållanden som inte är representativa för driftmiljön. Undersökningar presenterade av Sandia [5.1] tyder på att accelerering av termisk åldring med höga temperaturer i en del fall kan innebära liknande effekter som hög doshastighet vid joniserande strålning genom att endast oxidationen i materialets ytskikt motsvarar accelerationen men ej oxidationen längre in i materialet (diffusionsbegränsad oxidation).

Kompletterande långtidsprov i laboratorium kan även vara befogat för tidigare installerade komponenter för vilka man vid en genomgång av provprotokoll funnit att kvalitén på bestämning av kvalificerad livslängd är otillräcklig, exempelvis genom att den bygger på mycket kraftigt accelererad åldring. Det kan också vara aktuellt att acceptera en komponenttyp för installation på grundval av leverantörens redovisade prov, (baserade på krav från andra användare) som vi anser kvalificera för kortare tid men där det råder osäkerhet om utförda prov har en omfattning som säkerställer funktion i DBE efter längre tid.

Framtagning av lämpliga tillståndsindikatorer och deras förändring med tid under artificiell accelererad åldring är tidsödande och kan därmed vara svårt att genomföra i samband med typprovning. Om man avser att använda tillståndskontroll för att följa upp komponenternas åldring i drift kan man istället genomföra dessa undersökningar i samband med kompletterande långtidsprov.

5.3.3 Kompletterande mätningar och studier av parametrar av betydelse för bedömning av accelerationsfaktorer vid artificiell åldring (aktiveringsenergi, doshastighetseffekter, synergieffekter m.m.)

I samband med bestämning av kvalificerad livslängd ur typprovning finns det vanligtvis inte särskilt mycket tid för att göra egna studier av ingående materials egenskaper av typ aktiveringsenergi, doshastighetskänslighet, synergieffekter av kombinerad strålning och temperatur etc. De antaganden man gjort vid bestämning av kvalificerad livslängd ur typprovning eller kompletterande långtidsprov i laboratorium kan vara behäftade med stor osäkerhet. Säkrare värden på dessa parametrar kan tas fram genom mätningar efter installation (på komponentexemplar som ej installerats).

5.3.4 Revidering av kvalificerad livslängd

En eller flera av ovanstående insatser (miljömätning, kompletterande laboratoriemässig långtidsprovning, mätning av materialegenskaper av betydelse för accelerationsfaktorer) ger underlag till en revidering av kvalificerad livslängd, som genom dessa åtgärder även kan ges betydligt ökad realism och tillförlitlighet. I de fall kvalificerad livslängd fastställts genom användning av Arrhenius samband för termisk åldring, formel (4.1), bestäms en reviderad accelerationsfaktor (F) genom insättning av reviderade värden på temperatur och aktiveringsenergi vid normal drift (T_1 resp ϕ i formel (4.1)).

5.4 Observation av komponenters åldring genom tillståndsmätningar och inspektioner

Artificiell provning i laboratorium ger, om den utförs med måttliga accelerationsfaktorer och i övrigt efter väl underbyggda miljöprognoser och provningsmetoder, en hög grad av säkerhet att komponenterna fungerar under normal drift, extrem drift och DBE under begränsad installerad tid (kvalificerad livslängd). Allteftersom installerad tid ökar, ökar osäkerheten i livslängdsbedömningar och graden av åldringsbetingade materialförändringar. För att efter en längre tids drift fastställa att åldringen ej fortskridit i högre takt än den man förväntat kan man använda tillståndsmätningar och inspektioner.

Valet av tillståndsindikatorer beror av komponentens åldringskänsliga material, åtkomlighet m.m. Om möjligt bör man välja metoder som är icke påverkande, d.v.s. som inte innebär att komponenten måste bytas ut. Metoder som är påverkande, t.ex. brottöjning, kan användas om man har god tillgång till utbyteskomponenter och någorlunda lätt kan byta ut komponenterna eller om man har ett betydande antal extra komponenter placerade i representativa utrymmen.

Inspektioner i samband med revisionsavställningar är ett viktigt komplement till tillståndsmätningar. Sådana inspektioner kan utnyttjas för att identifiera utrymmen med förhöjd miljö, s.k. hotspots. Vid inspektioner kan man identifiera miljöinducerad påverkan på kablar och komponenter, skador på termisk isolering av varma rörledningar etc., som kan förvärra hot-spots, m.m. Bl.a. följande observationer på kablar etc. kan indikera hot-spots: Missfärgning, utträngning av mjukgörare, sprickor i ytmaterial, styvhet. Även observationer på omgivande struktur (färgförändringar, etc.) kan avslöja hot-spots.

5.5 Förlängning av kvalificerad livslängd genom fortlöpande kvalificering

Den kvalificerade livslängden kan förlängas genom att man tar ut komponenter som varit placerade på platser som är representativa för de hårdast miljöexponerade komponenterna, åldrar dem artificiellt i laboratorium och kontrollerar deras funktion under simulerad DBE. Denna procedur genomförs första gången när komponenten närmar sig den installationstid som den med god marginal kvalificerats för vid typprovningen (initialt kvalificerad livslängd) och upprepas sedan med fastställda tidsintervall till dess den inte längre klarar förlängd kvalificering eller av andra orsaker byts ut.

Metoden kan användas för nya installationer, varvid man installerar extra komponentexemplar på hårt miljöexponerade platser. Man kan även välja placeringar för extra komponenter som är utsatta för kraftigare miljöexponering (hot-spots) än vad som är representativt för komponenttypens normala placering och därmed hoppa över den artificiella åldringen före DBE-provningen, eftersom man kan tillgodogöra sig skillnaden i exponering i dessa hot-spots och i normala placeringar för att öka den kvalificerade livslängden.

Metoden kan även användas för att öka kvalificerad livslängd för komponenter som finns installerade och där man inte har tillgång till extra installerade exemplar. Det finns två möjligheter

- Uttag av ordinarie komponenter för fortlöpande kvalificering och byta ut dem mot nya eller komponenter från förråd, om sådana finns tillgängliga.
- Installation av extra komponentexemplar enligt ovan som åldrats artificiellt i laboratorium (med mycket måttliga accelerationsfaktorer) till en åldringsgrad som beräknas motsvara installerad tid hos de installerade komponenterna.

Det är av vikt att känna till miljöhistoriken för de komponenter som tas ut för fortlöpande kvalificering och för typiska placeringar av de installerade komponenter som skall kvalificeras. SKI rapport 93:39 [5.2] redovisar en undersökning av hur mycket närmare verklig degradation efter en viss lång tid t man kommer vid användning av artificiell åldring med låga accelerationsfaktorer och en provningstid motsvarande livslängden $< t$ plus fortlöpande kvalificering, jämfört med användning av typprov med högre accelerationsfaktorer och en provningstid motsvarande livslängden t . De resultat som redovisas indikerar en betydande förbättring av realismen med fortlöpande kvalificering. I en del fall (t.ex. på kabel typ Hypalon) innebar artificiell åldring med höga accelerationsfaktorer mycket mindre påverkan än motsvarande fortlöpande kvalificering trots relativt konservativa antaganden om aktiveringsenergi.

5.6 Referenser

[5.1] Kenneth T. Gillen, Mat Celina and Roger L. Clough "Limitations of the Arrhenius Methodology", WRSF Information Meeting, Bethesda, Maryland, October 26-28, 1998

[5.2] Spång, K. "Methodology for artificial ageing of electrical components in nuclear power plants; Results of experimental studies", SKI Report 93:39, December 1993

6 Sammanfattning av program för hantering av åldring av "nya" och "gamla" komponenter

6.1 Allmänt

I samband med inköp och kvalificering av nya komponenter som skall installeras i kärnkraftverk kan man ta fram komplett program för att täcka in åldringsproblematiken som byggs upp med hjälp av tillämpliga delar av tillgänglig metodik. För komponenter som redan är installerade och för vilka man önskar följa upp och komplettera befintlig kvalificering eller utöka kvalificerad livslängd kan man också välja ut lämpliga delar ur tidigare beskriven metodik. Här görs en sammanfattande översikt av möjligheterna.

Följande situationer särskiljes:

- Ny komponent för vilken ett kvalificeringsprogram skall tas fram för såväl typprovning som ev. uppföljande provning och mätningar.
- Ny komponent där man vill värdera av leverantören eller andra användare genomförd och rapporterad typprovning mot bakgrund av de egna kraven och behoven samt ev. komplettera med utökad provning och program för uppföljande mätningar.
- Komponent som idag finns installerad i kärnkraftverk och för vilken rapporter om tidigare genomförd miljöprovning i samband med typprovning föreligger. Man önskar omvärdera kvalificerad livslängd från tidigare prov samt införa uppföljande aktiviteter för att försäkra sig om kvalificerad livslängd och eventuell förlängning av denna.

6.2 "Ny" komponent

6.2.1 Kompletta miljökvalificeringsprogram

Ett komplett kvalificeringsprogram för ny komponent kan innefatta

- Specificering av målsättning för installerad livstid,
- Typprovning med fastställande av initial kvalificerad livslängd, se kapitel 3.
- Program för mätning av komponentmiljön under normal drift.
- Efter installation ev. utökad laboriemässig åldring, följt av DBE för att öka tillförlitligheten och ev. minska erforderlig konservatism hos fastställd initial livslängd. Kan även inkludera studier av aktiveringsenergier, doshastighetsberoenden, synergieffekter av simultana miljöfaktorer m.m.
- Program för tillståndskontroll, vilket inkluderar mätning av tillståndsindikatorer i samband med typprovning eller utökad laboriemässig åldring och program för tillståndsmätning under drift (i samband med avställning). Om tillståndsmätningen är förstörande ingår även att installera extra komponenter för tillståndsmätning eller förbereda för möjlighet till utbyte och ersättning med komponenter ur förråd. Alternativt, program för fortlöpande kvalificering, som inkluderar metodik för denna och beslut om hur och när uttag av komponenter skall ske. Installation av extra komponentexemplar i samband med att ordinarie komponenter installeras, vilket föregås av en analys av driftmiljöerna i olika placeringar och val av placering av de extra komponentexemplaren. Placeringen bör representera de strängaste driftmiljöerna för komponenttypen. Programmet omfattar artificiell åldring och DBE-simulering i samband med provningen för utökning av kvalificerad livslängd.

6.2.2 Kvalificeringsprogram för ny komponent för vilken viss kvalificeringsdokumentation föreligger

Vid inköp av komponenter för användning i kärnkraftverk har man ofta tillgång till rapporter från kvalificering för mera generell användning i kärnkraftverk, inklusive accelererad åldring och DBE-simulering. Program för hantering av åldring kan då inkludera en värdering av kvalificerad livslängd samt ett program för kompletterande provning och uppföljning.

Uppföljningen kan ske genom mätning av komponentmiljön under normal drift samt införande av tillståndsmätning (se schema i punkt 6.2.3) eller fortlöpande kvalificering. Om tillståndsmätning skall införas krävs att en kompletterande provning genomförs för att mäta tillståndsindikatorernas förändring med tid vid artificiell åldring samt deras värde före godkänd genomförd DBE-simulering.

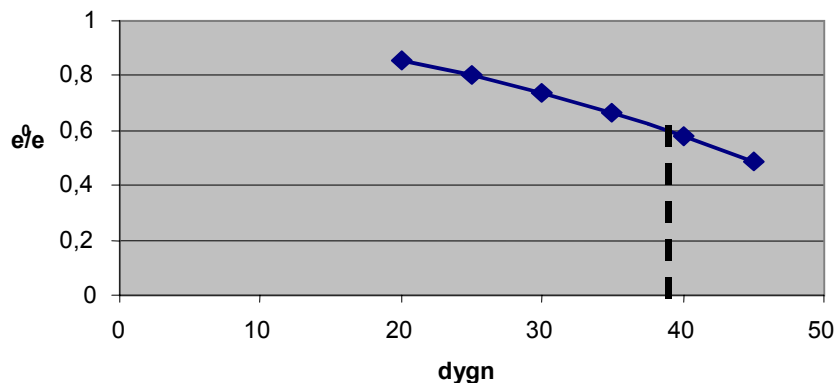
I de fall komponenten kvalificerats för en viss livslängd genom användning av väsentligt högre accelerationsfaktorer än man kan acceptera (exempelvis väsentligt högre än 250 vid termisk åldring) kan man återföra kvalificeringen till rimlig accelerationsfaktor utan att upprepa DBE-simuleringen på sätt som illustreras av följande exempel.

Exempel

En kabel som vid normal drift väntas utsättas för max 50 °C (inklusive marginal) har av leverantören kvalificerats genom artificiell åldring under 4 dygn vid 142 °C åtföljt av DBE-simulering med godkända prestanda. Aktiveringsenergin för mantelmaterial och isolerematerial har visats vara drygt 1 eV. Detta ger accelerationsfaktorn knappt 3000, vilken lagts till grund för en uppgift från tillverkaren att kabeln är kvalificerad för 30 års livslängd.

För att ta reda på hur lång tid kabeln kan anses kvalificerad för vid användning av måttlig accelerationsfaktor (< 250) görs följande provning. Några samples av kabeln placeras i värmekammare vid en temperatur lika med 142 °C och tillståndet mäts genom brottöjningsprov före (brottöjning e_0 mm) och efter 4 dygns åldring (e mm) på kabelmanteln och isoleringen. e/e_0 visar sig vara strax över 0,6 för såväl mantel som isolering. Kabeln har således genomgått DBE-simulering med godkända prestanda vid detta tillstånd.

Några samples av kabeln placeras i värmekammare vid en temperatur 110 °C, vilket motsvarar accelerationsfaktorn 212 vid aktiveringsenergin 1 eV. Samples tas ut vart 5:e dygn med början efter 20 dygn och brottöjningen mäts. Resultatet illustreras i Figur 6.1.

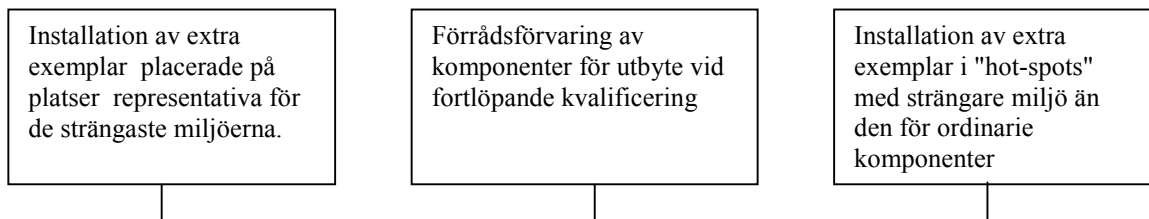


Figur 6.1 e/e_0 som funktion av exponeringstid vid 110 °C

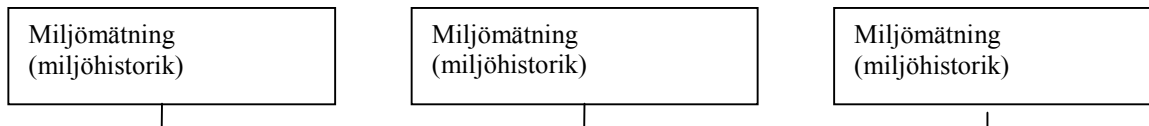
Det framgår av Figur 6.1 att kabeln kan exponeras för 110 °C under knappt 40 dygn innan den degraderat till det tillstånd den är kvalificerad för. Med accelerationsfaktorn 212 innebär detta således att en kvalificerad livslängd om drygt 20 år verifierats med måttlig accelerationsfaktor.

6.2.3 Schema för förlängning av kvalificerad livslängd genom fortlöpande kvalificering

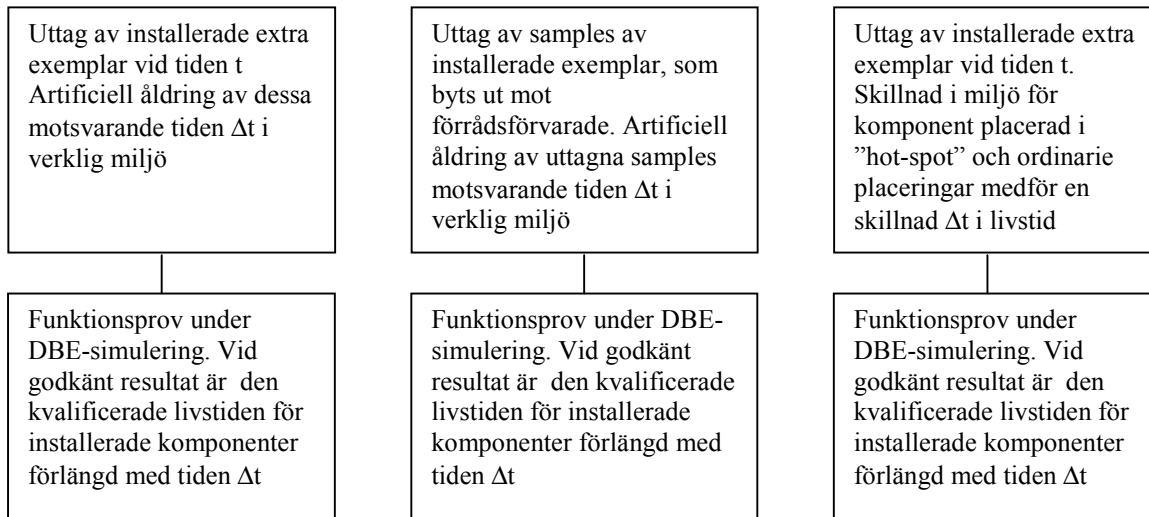
Vid installation:



Under normal drift:



Vid tidpunkten t_1 , i god tid innan initialt kvalificerad livslängd löpt ut:



6.3 ”Gammal” (tidigare installerad) komponent

6.3.1 Kompletterande miljö kvalificering

För en installerad komponent, som varit i drift under en tid och för vilken man önskar komplettera, verifiera och ev. förlänga kvalificerad livslängd, kan man genomföra en genomgång av kvalificeringsdokumentationen, kompletterande mätningar och provning i de fall kvalificeringsdokumentationen inte ger tillfredsställande underlag samt ett program för tillståndskontroll eller fortlöpande kvalificering. Metoderna och deras tillämpning på denna situation beskrivs i tidigare avsnitt.

6.3.2 Schema för förlängning av kvalificerad livslängd genom fortlöpande kvalificering

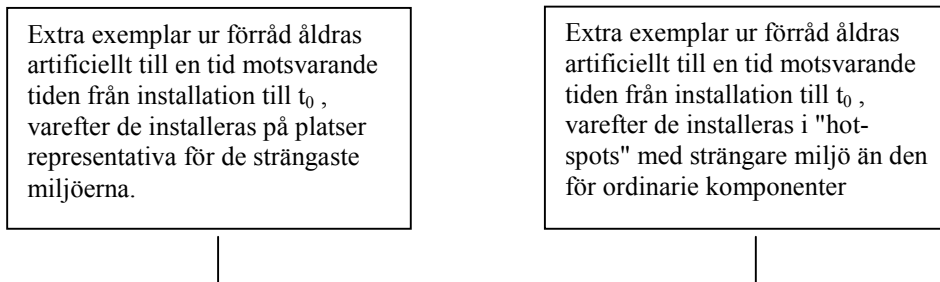
Fortlöpande kvalificering för förlängning av kvalificerad livslängd hos ”gamla” komponenter kräver tillgång till förrådsförvarade identiska komponentexemplar eller nya komponenter som kan ersätta sådana som tas ut för prov för förlängning av kvalificerad livslängd. Nedanstående schema illustrerar olika alternativ.

Innan laboratorieprov påbörjas för förlängning av kvalificerad livslängd bör mer precisa och korrekta uppgifter om komponentmiljön inhämtas genom mätning under normal drift i utsatta komponentpositioner. Resultaten av dessa mätningar utnyttjas för bestämning av accelerationsfaktorer vid laboratorieprovningen.

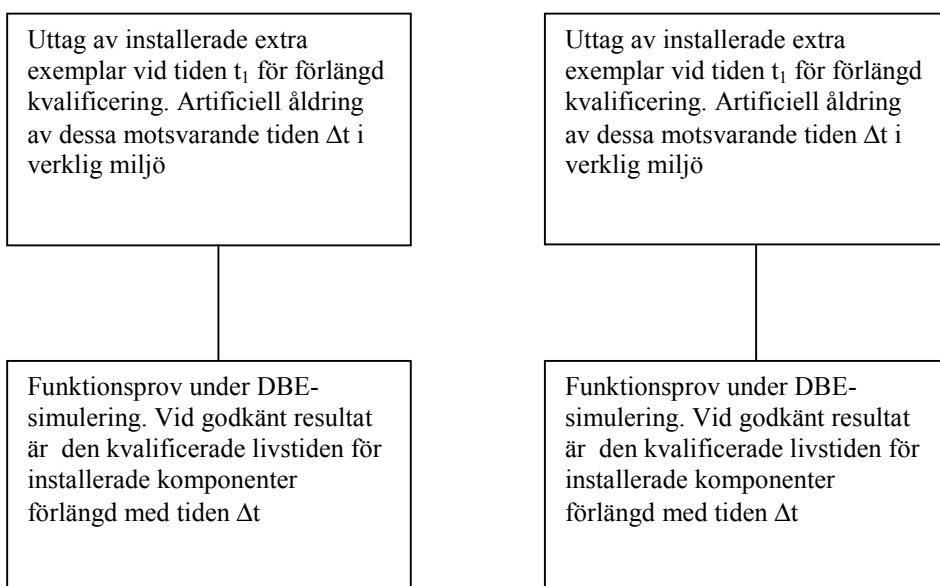
I nedanstående schema förutsätts tillgång till identiska komponenter i förråd. Installerade komponenter antas ha varit i drift under tiden Δt_0 .

Som alternativ kan fortlöpande kvalificering utföras på samma sätt som för ”nya” komponenter genom uttag av samples av installerade exemplar, som byts ut mot förrådsförvarade. Uttagna samples åldras artificiellt (vid förhöjd temperatur) motsvarande tiden $\bullet t$ i verklig miljö, varefter de utsätts för funktionsprov under DBE-simulering. Vid godkänt resultat är den kvalificerade livslängden för installerade komponenter förlängd med tiden Δt

Förberedelse för att möjliggöra fortlöpande kvalificering (görs vid tiden t_0):



Vid tidpunkten t_1 , i god tid innan initialt kvalificerad livslängd löpt ut:



6.4 Fortlöpande kvalificering av delkomponent

Fortlöpande kvalificering förutsätts normalt tillämpas på komplett komponent. För komplexa komponenter som är sammansatta av delkomponenter, av vilka endast någon enstaka innehåller åldringskänsliga delar, kan man i vissa fall begränsa åtgärderna för fortlöpande kvalificering till åldringskänslig delkomponent. Detta kräver en noggrann analys som visar att påverkan av åldring hos den åldringskänsliga delkomponenten på den sammansatta komponentens funktion under DBE kan fastställas i ett prov där endast den åldrade delkomponentens prestanda under DBE-simulering verifieras.

7 Komponenter utanför reaktorinneslutningen

7.1 Hantering av åldring

En omfattande studie av miljöförhållanden för säkerhetsrelaterade komponenter som är placerade utanför reaktorinneslutningen genomfördes under 1980 och finns redovisad i IFM Akustikbyrån TR 5.125.01 [7.1]. TBE 101 [7.2] specificerar två klasser av normal driftmiljö utanför reaktorinneslutningen (Stränghet A: utrymmen där inga varma processsystem är installerade, Stränghet B: varma processutrymmen).

Effekterna av långtidsverkan kan behöva beaktas för komponenter som skall fungera under lång tid, speciellt sådana som är placerade i utrymmen som berörs av haveri. För komponenter som är placerade i utrymmen som ej berörs av haveri bedöms åldringsprovning normalt ej nödvändig. Det bör vara tillräckligt med kvalificering genom analys samt regelbundna funktionskontroller och inspektioner.

Övervakning av komponenternas funktioner är dock ej alltid tillräckligt. Man kan behöva införa periodiskt inspektionsprogram där komponenterna demonteras och kritiska komponenter (med t.ex. silverbeläggning) inspekteras och utbyts då tillämpliga korrosionsgränsvärden uppnåtts. Nedbrytning av elastomerer (t.ex. O-ringar) kan påskyndas om förvaringen är olämplig eller om O-ringarna monterats i "varma" elkompneter utanför kritiska utrymme.

För komponenter som är placerade i utrymmen som berörs av haveri är sådana kontroller ej tillräckliga eftersom de inte visar om komponenten är i stånd att fungera på avsett sätt i samband med haveri. Det finns för dessa komponenter anledning att genom kunskaper om ingående materials åldringsbeständighet eller helst genom artificiell åldring och prov i simulerad haverimiljö, ev. kombinerat med tillståndskontroller enligt tidigare kapitel säkerställa funktion i haverimiljö vid slutet av kvalificerad livslängd.

Mycket varierande miljöer uppträder i utrymmen utanför inneslutningen i samband med haverier. Stora variationer föreligger mellan olika haveriförlopp och olika kärnkraftverk. Även inom ett och samma utrymme förekommer lokala variationer. I TR 5.125.01 [7.1] görs en uppdelning av de utrymmen som påverkas av haveri i

- Primärhändelserum – utrymme innehållande varma, trycksatta system eller kalla system där rörbrott kan inträffa. Komponenter placerade i närheten av brottställe i primärhändelserum är utsatta för den strängaste haverimiljön.

- Avlastningsväg – kan utgöras av flera utrymmen i en kedja. För avlastningsvägar förutsätts att utflödet i samband med haveri pågår minst så länge att jämvikt uppnås. Spridning kan även ske direkt via ventilationskanaler och över avloppssystem.
- Genomströmningsutrymme – utrymme anslutet till avlastningsväg med inströmningsmöjlighet och med möjlighet till genomströmning. Miljöspridning till utrymmet antas ske aktivt med ventilationssystem från avlastningsväg med gas/ånga. För vätskor blir nivåskillnaden den drivande kraften.
- ”Blindtarm” – utrymme anslutet till avlastningsväg med inströmningsmöjlighet men ej med möjlighet till genomströmning. Hit räknas utrymmen av typ anslutande korridor till avlastningsväg, etc.
- Läckageutrymme – utrymme som riskerar att utsättas för läckage från något av övriga utrymmen i en haverisituation, främst från avlastningsväg. Läckage av gas/ånga kan ske genom dörrspringor o.dyl. Vattenläckage kan ske genom sprickor och tätningar i bjälklag m.m.

En genomgång av miljöerna för olika utrymmen finns dokumenterad eller kommer inom kort att dokumenteras för de enskilda kärnkraftverken.

Integrerad 40-årsdos av joniserande strålning (gammastrålning) i utrymmen gränsande till reaktorinneslutningen under normal drift anges i TR 5.125.01 [7.1] till 50 Gy, i övriga utrymmen mindre än 5 Gy. I utrymmen med filterceller, jonbytare, avklingningstankar kan högre integrerade doser förekomma. Detta gäller även utrymmen nära ångledning.

Dessa strålningsdoser ligger betydligt under vad som normalt påverkar nedbrytningen av organiska material med undantag av vissa teflonmaterial.

Den integrerade dosen i samband med haveri kan uppgå till 40 kGy omedelbart intill rörledning som cirkulerar vatten innehållande fissionsprodukter. 1 m från rörledningen är nivån en tiopotens lägre. I övriga utrymmen är haveridosen väsentligt lägre – av storleksordningen några tiotal Gy. Endast för komponenter i speciellt utsatta positioner behöver således haverimiljöprovning inkludera (föregås av) joniserande strålning.

Komponenter placerade i utrymmen utomhus eller delvis öppna och ventilerade utrymmen kan utsättas för svavelväte, klorider (saltdimma), sand och damm.

Tillsammans med fukt kan detta leda till korrosion och kemisk påverkan som minskar livslängden.

Tillfälligt kan komponenterna utsättas för svetsgaser (fluorider, kvävedioxid, ozon, fosgen, etc.) samt rök och sot i samband med revisioner. Detta kan bidra till nedbrytningen. Nedbrytningen kan även påverkas av förekomst av höga ozon-halter i luften.

Förhöjda temperaturer under normal drift kan föreligga på grund av strålningsvärme från varma system. I utrymmen som inte innehåller varma system bör man kunna räkna med 25 °C på sommaren, något lägre på vintern, förutsatt att komponenten ej är placerad nära ett fönster så att den exponeras för solstrålning. Termisk åldring kan försummas i dessa fall.

Undersökningar redovisade i SKI Report 97:40 [7.3] indikerar att intermittent vibration kan påtagligt minska isolationsresistanser i haverimiljö hos termiskt åldrade kablar. Komponenter placerade utanför reaktorinneslutningen kan utsättas för vibrationer. Detta kan gälla komponenter som är monterade i samma struktur som vibrerande maskiner (motorer, pumpar, etc.) eller som utgör underlag för trycksatta mediaförande ledningar, komponenter som är monterade på trycksatta mediaförande ledningar. Komponenter innehållande organiskt material som åldrats termiskt kan även försämra sina funktionsegenskaper om de utsätts för slag och tillfälliga stötar.

Kvalificeringsprogram för hantering av åldring bör således genomföras för säkerhetsrelaterade komponenter i utrymmen som utsätts för påtaglig påverkan av haverimiljö. För säkerhetsrelaterade komponenter i utrymmen som ej påtagligt påverkas av haverimiljö bör det vara tillräckligt att göra regelmässiga kontroller av komponenternas funktion.

7.2 Referenser

[7.1] Westin, L. "Miljöqualificering av komponenter i kärnkraftverk. Del 2: Komponenter utanför reaktorinneslutningen", IFM Akustikbyrå TR 5.125.01, December 1980

[7.2] TBE 101 "Miljöspecifikation för normal driftmiljö", 1996-12-12

[7.3] Spång, K. "Ageing of electrical components in nuclear power plants; Relationships between mechanical and chemical degradation after artificial ageing and dielectric behaviour during LOCA", SKI Report 97:40, October 1997.

8 Metodik för mätning av komponenters driftmiljö

8.1 Bakgrund

Prediktering av en komponents kvalificerade livslängd bygger på antaganden om miljön för komponenten under normal drift. Begränsningar i kunskaper om och kontroll av driftmiljön måste kompenseras med marginaler på antagna miljösträngheter vilket resulterar i ett konservativt mått på den kvalificerade livslängden. Mätning och kontroll av driftmiljön är således ett viktigt instrument för att begränsa graden av konservatism utan att minska säkerheten i den predikterade kvalificerade livslängden. Den uppmätta och kontrollerade miljön är normalt mildare än den man förutsatt vid predikteringen, vilket innebär att den från typprovningen verifierade livslängden kan förlängas som följd av mätresultaten.

De miljöfaktorer som i första hand bidrar till åldring av komponenter i reaktorinneslutningen är temperatur och joniserande strålning. Det är således viktigast att kontrollera dessa faktorer. I vissa placeringar, och/eller under vissa omständigheter, kan det vara av intresse att även kontrollera andra faktorer, exempelvis relativ fuktighet, föroreningar och vibration. I detta avsnitt beskrivs metoder och teknik för miljömätningar med tillämpning på kontroll av miljön hos komponenter i kärnkraftverk.

En tillfredsställande information om fördelning av temperaturer och joniserande strålning i reaktorinneslutningen kan fås om temperaturgivare och dosimetrar placeras på de mest utsatta komponentplaceringarna samt ett urval av övriga platser vilkas miljö är representativ för flertalet komponentplaceringar. Mätningarna bör omfatta minst två hela perioder mellan avställningar, vilka bör täcka in normala kortvariga fluktuationer samt påverkan av årstid.

8.2 Temperatur, mätkrav

Temperaturen hos en passiv (ej egenuppvärmd) komponent bestäms helt av omgivningen. Två faktorer dominerar: den omgivande luftens temperatur och omgivande ytors värmeutstrålning. Enbart kunskaper om den omgivande luftens temperatur är således inte tillräckligt för att bestämma temperaturmiljön för en

komponent om det finns betydande värmekällor i närheten som komponenten ej är avskärmd från.

Temperaturen hos en aktiv (egenuppvärmd) komponent bestäms dessutom av egenuppvärmningen och avledning av värme från komponenten till omgivningen genom konvektion, strålning och värmeledning.

8.2.1 Lufttemperaturen

Mätning av lufttemperaturen bör göras med givare som är skärmd från värmestrålning från omgivande ytor. Om luften är tämligen stillastående, d.v.s. luftrörelserna i huvudsak bestäms av konvektion, kan lufttemperaturen variera avsevärt lokalt beroende på närhet till värmekällor. Man kan därför behöva flera givare i ett utrymme för att få fram värden på lufttemperaturen som är lämpliga att använda för bestämning av de temperaturer komponenterna utsätts för i normal drift.

8.2.2 Strålning från omgivande ytor

Om komponenten är direkt exponerad för ytor i närheten som är varmare än lufttemperaturen blir komponenttemperaturen högre än den som ges av enbart lufttemperaturen. Hur mycket värmestrålningen påverkar komponentens temperatur beror i första hand av luftcirkulationen omkring komponenten (ju högre luftcirkulation desto mindre inflytande av värmestrålningen) och av värmeabsorptionskoefficienterna hos strålande och mottagande ytor. (Om strålande och mottagande ytor ej är blankpolerade kan absorptionskoefficienten konservativt antas nära 1). Teoretiska beräkningar av resulterande komponenttemperatur från kännedom om lufttemperatur, luftflöden och absorptionskoefficienter samt geometri hos värmestrålande ytor och mottagarytor är möjliga men tämligen komplicerade och bygger på data som oftast ej fullt ut är tillgängliga eller som är osäkra.

Mätning av komponentens temperatur är oftast ett enklare och mer tillförlitligt sätt men innebär att man måste placera givare på representativa ytor hos alla intressanta komponenter som är så placerade att de utsätts för värmestrålning. Man kan också tänka sig att använda någon form av globtermometer som mäter en ekvivalent temperatur som kombinerar lufttemperaturen med strålningsinverkan.

För att erhålla en lång livslängd hos åldringskänsliga komponenter är det naturligtvis bäst om man kan placera dem så att de är avskärmade från värmestrålning från omgivande ytor.

8.2.3 Mätning av temperatur hos värmeavgivande komponenter

Accelerationsfaktorn enligt Arrhenius formel för termisk åldring baseras vanligtvis på skillnaden mellan omgivningstemperatur under normal drift och provkammarens temperatur vid accelererad termisk åldring. För en egenuppvärmd komponent innebär detta en överskattning av accelerationsfaktorn av två skäl:

- Accelerationsfaktorn är lägre för en viss given temperaturskillnad i ett högre än ett lägre temperaturintervall.
- En egenuppvärmd komponent avger värme till omgivningen genom konvektion, strålning och ledning. Egenuppvärmningens betydelse för komponenttemperaturen avtar med ökad omgivningstemperatur. Detta innebär att skillnaden i komponentens temperatur vid provning är lägre än vid drift

Sammantaget innebär detta att den faktiska accelerationsfaktorn som använts vid provning är lägre än den man beräknar ur Arrheniusformel om man sätter in provningstemperatur och drifttemperatur. Om man genomför artificiell åldring vid en viss omgivningstemperatur som är högre än drifttemperaturen och fastställer accelerationsfaktorn med hjälp av Arrhenius formel måste således en kompensation införas om man inte skall underskatta åldringen under drift. Detta illustreras med exemplet nedan.

Exempel:

En komponent har yttemperaturen 70°C vid omgivningstemperaturen 40°C (omgivande luft antas ej forcerat cirkulerad, enbart egenkonvektion). Om den utsätts för omgivningstemperaturen 100°C i en kammare utan forcerad luftcirkulation blir yttemperaturen ca 124°C (fås genom extrapolering av nomogrammet i IEC 60068-2-2, Appendix A, [8.1]), d.v.s. komponenttemperaturens differens mellan accelererad termisk åldring och drift är 54°C medan provningstemperaturen skiljer sig 60°C från drifttemperaturen.

Problemet löses enklast genom att man före åldringsprovningen mäter komponentens temperatur vid en provkammartemperatur som är lika med drifttemperaturen. Vid beräkning av accelerationsfaktorn används komponenttemperaturen istället för omgivningstemperaturen.

I exemplet ovan gäller, om vi använder komponenttemperaturerna för beräkning av accelerationsfaktorn, vid ett antagande om en aktiveringsenergi lika med 0,8 eV:

$$F = e^{\frac{E}{k} \left[\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2} \right]}$$

där $T_1 = 343$, $T_2 = 397$, $E = 0,8$ och $k = 0,86 \cdot 10^{-4}$, vilket ger $F = 40$

Om man istället skulle jämföra kammartemperaturen vid provning (T_2 lika med 373) med omgivningstemperaturen under drift (T_1 lika med 313) får man accelerationsfaktorn $F = 119,2$. Den kvalificerade livslängden överskattas således med en faktor tre.

8.3 Mätning av joniserande strålning

Eftersom strålningsfältet kan variera avsevärt inom reaktorinneslutningen behöver mätningar utföras i närheten av åldringskritiska komponenter, ej enbart i allmänna utrymmen. Generellt gäller att strålningsdoser av betydelse för åldringen endast förekommer för ett fåtal komponentplaceringar, normalt i en sektor på maximalt ett par meters avstånd från primärkretsar och ånggeneratorer samt i övre delen av PS. Det bör således vara tillräckligt att mäta stråldoser på sådana ställen.

Påverkan på åldringen av organiska material av aktuella flöden av termiska och snabba neutroner är försumbar jämfört med gammastrålningen.

8.4 Övriga miljöfaktorer, förekomst

Vibration förekommer endast undantagsvis vid normal drift. Under normal drift är den relativa fuktigheten låg, typiskt under 20%,. (gäller säkerhetsrelaterade komponenter, som ej förekommer i wet-well i våra BWR) och föroreningsgraden låg.

8.5 Lokalisering av hot-spots

Lokalt kan förekomma miljösträngheter (temperatur, strålning, fuktighet, kemiska föroreningar, vibration) som är högre än de som gäller för normala placeringar. Kartläggning av eventuella hot-spots är ett viktigt led i hantering av åldringsproblematiken. Vägledning för upptäckt och hantering av hot-spots finns i en nyligen publicerad EPRI-rapport (EPRI TR-109619), [8.2]. Av störst betydelse för upptäckt av hot-spots är visuell inspektion av komponenter och synliga kablar i samband med revisionsavställningar (se kapitel 5.4).

8.6 Referenser

[8.1] IEC 60068-2-2 Environmental Testing – Part 2: Tests. Tests B: Dry Heat

[8.2] Electric Power Research Institute EPRI Report TR-109619 (1999) ”Weinacht, R. ”Guideline for the management of adverse localised equipment”

9 Metodik för bestämning av polymerers åldringsrelaterade egenskaper (tillståndsindikatorer)

9.1 Allmänt

Mätning av tillståndsindikatorer är användbart som ett led i hantering av åldring av komponenter, förutsatt att man kan komma åt att göra tillståndsmätningar på komponentdelar som är avgörande för åldringen. I de fall påverkande (destructive) mätningar kan användas kan tillståndsmätningar vara aktuellt även för relativt komplexa komponenter. Icke förstörande (non-destructive) mätningar begränsas i stort sett till komponenter för vilka åldringen kan hänföras till för mätning eller mikro-sampling åtkomliga delar, vanligtvis ytan (t.ex. kablar).

9.2 Icke påverkande tillståndsmätningar (non-destructive)

Identifiering och mätning av tillståndsindikatorer som är kopplade till komponenters åldring utgör en mycket väsentlig komponent i kvalificeringsarbetet enligt tidigare kapitel. Icke påverkande mätningar, d.v.s. mätningar som inte riskerar att skada komponenten, är speciellt intressanta, dels därför att de under det initiala kvalificeringsarbetet kan användas för att på en och samma komponent följa förändringarna i tillståndsindikatorns värde som funktion av tid vid accelererad termisk åldring, dels därför att de kan användas för tillståndsmätning på installerade komponenter utan att dessa behöver bytas ut. Till icke påverkande tillståndsindikatorer hör indentermodul och OIT. Den senare metoden kräver dock en liten mängd material som måste skrapas från komponenten.

Ett problem med icke påverkande mätningar är att dessa endast kan utföras på ytan av mätobjektet. Detta innebär att man endast mäter tillståndet hos yttre delar, exempelvis manteln till en kabel. Samtidigt gäller att det är i huvudsak ledarisoleringens dielektriska egenskaper som avgör funktion under haveri. Mantelns tillstånd är inte nödvändigtvis representativt för ledarisoleringens tillstånd, dels på grund av att mantelisolering och ledarisolering inte alltid är samma material, dels på grund av att mantelisoleringens yta är exponerad mot omgivningsatmosfären, vilket kan innebära snabbare nedbrytning på grund av oxidation än för ledarisoleringen.

Det finns emellertid god anledning att anta att det finns en positiv korrelation mellan manteln och ledarisoleringens degradation som följd av åldring. Detta skulle innebära att om manteln vid en viss tidpunkt uppvisar ett värde på tillståndssindikatorn som indikerar en mindre degradation än den för vilken kabeln DBE-kvalificerats så är även ledarisoleringen i ett bättre skick än då kabeln DBE-kvalificerades. Detta är ett hållbart antagande, förutsatt att den artificiella accelererade åldringen inte innebär ett problem på grund av doshastighetseffekter och analoga effekter vid termisk provning. Om så är fallet leder förhöjd temperatur och förhöjd doshastighet till att vi får en gradient av oxidationen från ytan till inre delar som är större vid provning än i verklig driftmiljö. Detta innebär att det inre av kabeln, d.v.s. ledarisoleringen, har degraderat längre i fält än vid provning vid ett visst värde på tillståndssindikatorn, mätt på manteln. Detta understryker vikten av att man vid provningen undviker höga accelerationsfaktorer.

9.3 Påverkande tillståndsmätningar (destructive)

Användning av påverkande tillståndsmätningar medger dels ett större urval av metoder, dels att man kan komma tillrätta med det gradientproblem som beskrevs i förra avsnittet. Man kan då mäta djupare i materialet, t.ex. för kablar tillståndet hos ledarisoleringen. Nackdelen är att det är mer komplicerat att få fram degradation-åldringsförloppet i samband med initial kvalificering och att det krävs utbyteskomponenter eller extra installerade exemplar för tillståndsmätning i fält.

Vid mätning av tidsförloppet av tillståndet som funktion av åldringstid vid artificiell accelererad åldring före haverimiljöprovning kan man använda sig av ett antal extra komponentexemplar som följer med i åldringen men ej genomgår haverimiljöprov. Vid varje tidpunkt som skall motsvara en punkt på degradation-tid kurvan tas ett exemplar ut och används för tillståndsmätningen. Det sista extra exemplaret tas ut sedan åldringen slutförts före haverimiljöprovningen. Detta får då anses ha ett tillstånd som komponenten är kvalificerad för (förutsatt att provningen i haverimiljö ger godkänt resultat).

Höga temperaturer kan innebära problem även genom att materialet reagerar på annat sätt över än under en viss temperatur (språng). Detta kan inte lösas enbart med tillståndsmätning på inre materialdelar vid provning och i drift. Däremot borde det vara möjligt att helt komma förbi problemen med doshastighetseffekter om man mäter på inre delar och ersätter kvalificerad livslängd med kvalificerat tillstånd.

9.4 Samband mellan värden på tillståndsp parametrar före haveri och funktion under haveri

Det är mycket tunt med systematiska studier om relationer mellan grad av degradation, mätt med någon tillståndsindikator, och beteende (exempelvis isolationsvärden) vid DBE. Våra egna undersökningar, redovisade i SKI Report 97:40 [9.1] är de enda publicerade som vi känner till. Dessa uppvisar en skiftande bild, men det finns en positiv korrelation i varje fall för en del av de metoder som beskrivs nedan.

Det är av betydande värde om en sådan korrelation finns, eftersom man då kan extrapolera mätresultaten. Det är dock inte en förutsättning att en sådan korrelation finns för att man skall kunna använda tillståndsmätning som kontroll av att komponenten vid ett visst tillfälle ej åldrats utöver dess tillstånd vid kvalificeringen i haverimiljöprov. Det är tillräckligt att tillståndsvärdet är korrelerat till åldringsgraden, vilket kan förutsättas gälla för de tillståndsindikatorer som redovisas nedan.

En viktig egenskap hos en praktiskt användbar tillståndsindikator är att den visar en degradationstrend som förändras successivt. Indikering av trender som ej förändras under lång tid för att sedan genomgå en plötslig, drastisk förändring är ej användbara för fältmätningar. De medger inte att man från en viss marginal till det värde som komponenten kvalificerats för genom haverimiljöprov, indikerad vid ett visst måttillfälle, kan visa att komponenten klarar sin funktion om ett haveri skulle inträffa före nästa måttillfälle (exempelvis före nästa revision).

9.5 Tillståndsindikatorer som kan komma till användning i samband med kvalificering för och kontroll av åldring

Under senare år har hos oss och andra bedrivits omfattande studier och praktiska prov med ett stort antal tillståndsindikatorer. De som vi funnit av störst intresse beskrivs nedan. Tillståndsindikatorerna kan klassificeras enligt följande.

- Kemiska indikatorer – mikrokolorimetri, DSC-OIT (Differential Scanning – Oxidation Induction Time), TGA-OIT (Thermogravimetric – Oxidation Induction Time)
- Mekaniska indikatorer – brottöjning, indenter, mikrohårdhet
- Elektriska (dielektriska) indikatorer – isolationsresistans, förlustfaktor, etc.

9.6 Sammanfattning av metodernas tillämpbarhet

Tabell 9.1 och 9.2 sammanfattar de viktigaste egenskaperna hos tillståndsindikatorerna och deras användbarhet.

Tabell 9.1 Egenskaper hos tillståndsindikatorer

Metod	Förstörande metod	Provtagning eller provnings svårighet	Provning med komp i drift	Tillförlitlighet	Lämplig vid tillstånds-kontroll	Anmärkning
Mikro-kalorimetri	Ja 1-2gram material behövs	Medel	Nej	Mycket God	Ej lämplig - Dyr	Kan genom sin känslighet användas för degradationsbestämning av material som andra metoder inte klarar
DSC-OIT	Nej 10mg material behövs	Enkel	Nej	Mycket god	Mycket lämplig	Beprövad metod
Termo-gravimetri	Nej 10mg material behövs	Enkel	Nej	God	Lämplig	DSC-OIT är bättre
Brottöjning	Ja	Medel	Nej	Mycket god	Mycket lämplig	Beprövad industri standard
Indenter	Nej	Enkel	Ja	Mycket god	Mycket lämplig	Beprövad metod. Ej Polyolefiner. Portabel
Microhårdhet	Ja	Medel	Nej	Mycket god	Lämplig	Bra på mindre eller komplexa komponenter
Dielektr.spektroskopi (förlustfaktor)	Nej	Svår	Ja	Medel	Ej lämplig	Portabel
Isolations-resistans.	Nej	Enkel	Ja	God	Mätning vid förhöjd temp kan användas	Används metoden för IR mätning vid förhöjd temp krävs provning på demonterad komponent
Nära IR	Nej	Enkel	Ja	Mycket god	Ej lämplig, under utveckling	Portabel. Erfarenhet saknas
Strömanalys	Nej	Svår	Nej	Låg	Ej lämplig	Svårtolkat resultat
Vridning	Ja	Svår	Nej	Mycket låg	Ej lämplig	Klumpig metod
Bobbinprov	Ja	Enkel	Nej	Låg	Ej lämplig	Ger endast godkänd/ej godkänd

Tabell 9.2. Tillståndsindikatorer användbarhet (korrelation mellan mätvärde och graden av exponering för åldringspåverkande miljöfaktorer) för olika material

Material	Mikrokalorimetri	OIT	Brottöjning	Mikrohårdhet	Dielektrisk spektroskopi	Indenter
EPDM	God korrelation	Mycket god korrelation*	Mycket god korrelation*	Okänt	God korrelation	Mycket god korrelation
XLPE	Okänt	Mycket god korrelation*	Svag till god korrelation	Låg korrelation	God korrelation	Svag korrelation
CSPE	Mycket god korrelation*	Kan användas om materialet innehåller antioxidanter eller vissa andra stabilisatorer.	God korrelation	God korrelation	Okänt	Mycket god korrelation
EPR	Okänt	Mycket god korrelation	Mycket god korrelation	Okänt	Okänt	Mycket god korrelation
EVA	God korrelation	God korrelation	God korrelation	Okänt	Okänt	Mycket god korrelation
SIR	Okänt	God korrelation	God korrelation	Mycket god korrelation. Speciellt lämplig för mycket små komp.*	Okänt	Mycket god korrelation
PEEK	Okänt	Okänt	God korrelation*	Okänt	Okänt	Okänt
PI	Okänt	Okänt	God korrelation	God korrelation	Okänt	Okänt
Viton	Okänt	Måttlig korrelation (Beror på vitontypen)	God korrelation	Mycket god korrelation	Okänt	God korrelation
PVC	Okänt	God korr.	God korrelation	Okänt	Okänt	God korrelation

* Tydliga resultat från arbeten genomförda inom Westinghouse.

Utöver de egenskaper som redovisas i tabellen är det av intresse om man kan ange ett gränsvärde på en tillståndsindikator som erfarenhetsmässigt innebär att komponenten är funktionsduglig så länge gränsvärdet ej överskrids. Sådana gränsvärden förekommer ofta för kvoten mellan brottöjning för åldrat och icke åldrat material, e/e_0 . För de flesta isolermaterial gäller att materialet anses acceptabelt om e/e_0 överskrider 0,5. En del källor anger 0,2 som acceptabelt värde. Det finns emellertid inga omfattande undersökningar som kopplar dessa värden till beteende under haveriförhållanden.

Typiskt värde på kvoten mellan indentermodul för åldrat och icke åldrat material, M/M_0 motsvarande e/e_0 lika med 0,5 är $M/M_0 = 1,5$. Typiskt värde motsvarande e/e_0 lika med 0,2 är $M/M_0 = 2,5$. Dessa värden kan med ungefär samma fog användas som

gränsvärden. Gränsvärden av detta slag kan ha ett intresse vid en första kontroll men bör inte ersätta provning som inkluderar haverimiljöprov.

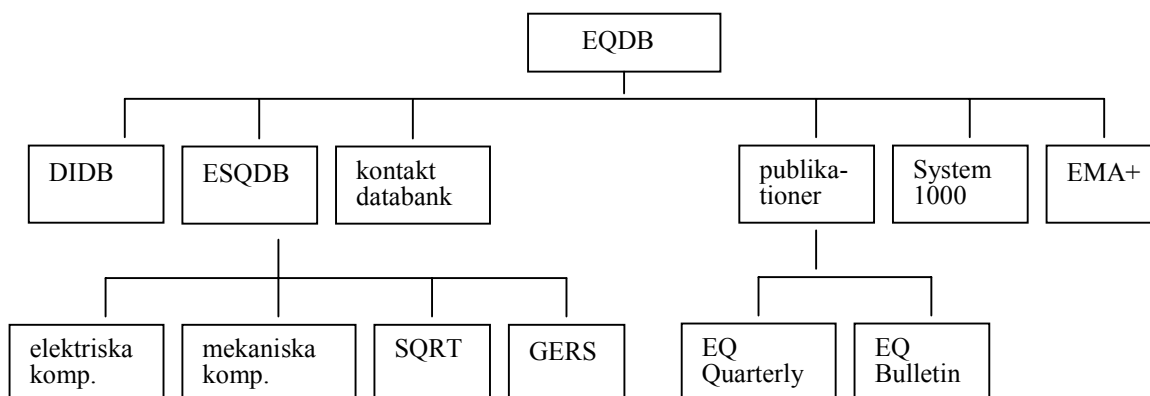
9.7 Referenser

[9.1] Spång, K. "Ageing of electrical components in nuclear power plants; Relationships between mechanical and chemical degradation after artificial ageing and dielectric behaviour during LOCA", SKI Report 97:40, October 1997.

10 Databaser

10.1 EQDB

1979 beslöt EPRI att bekosta utvecklingen av en databas för komponentkvalificering, Equipment Qualification Data Bank (EQDB). Den skulle förses med information från kraftbolagen om kvalificering av elektrisk och mekanisk utrustning i kärnkraftverk, inklusive seismisk kvalificering samt effekter av joniserande strålning och värme på icke-metalliska material (åldring). Den skulle innehålla en katalog över utrustning som har kvalificerats av leverantören för användning i kärnkraftverk. EQDB sköts av NUS Information Services på licens från EPRI. Uppbyggnaden av databanken framgår av nedanstående schema.



DIDB står för Document Information Data Bank, som innehåller EPRI EQ Reference Manual (som bl.a. innehåller information om forskning och utveckling inom området komponentkvalificering), sammandrag av alla NRC granskningar av komponentkvalificering, bibliografi över provrapporter samt (sedan 1989) avvikelserapporter

ESQDB står för Environmental & Seismic Data Bank, som utöver databaser för elektriska och mekaniska komponenter även innehåller SQRT som står för Seismic Qualification Review Team och GERS som står för Generic Equipment Ruggedness Spectrum Test Data.

Kontakt databasen (Contact Data Bank) innehåller databaser för kontakter med kraftbolag och med komponenttillverkare

System 1000 Aging and Radiation Library innehåller bl.a. över 1500 registreringar från Arrheniusprov och mer än 4100 registreringar från strålningsprov.

EMA+ står för Expert Materials Analyst Plus, som bl.a. innehåller filer av åldringsinformation samt en databas med kemiska benämningar.

Information om databasen EQDB finns bl.a. i ENS proceedings 1986 [10.1], Paper från EPRI/NUS/NUGEQ EQ symposium i Clearwater 1998 [10.2] och EPRI Equipment Qualification Reference Manual 1992 [10.3].

10.2 EQMS (Environmental Qualification Management System)

EQMS är ett elektroniskt verktyg för hantering av data från miljökvalificering som utvecklats av EPRI tillsammans med ett antal av de kraftbolag som är medlemmar i EPRI/PSE. Det omfattar följande:

- EQMS mjukvara
- En sammanställning av provrapporter (miljökvalificering)
- Standardiserad utvärdering ur miljökvalificeringssynpunkt av ett urval av provrapporter samt för ett antal vanligt förekommande miljökvalificerade komponenter.

Utöver databaser för provrapporter och utvärderingsmetoder innehåller mjukvaran databaser för dokumentation av utrymmen med avseende på miljö under såväl normal drift som extrem drift och DBE.

10.3 IAEA DATA.DBF

I samband med IAEA's co-ordinated research programme (CRP) för hantering av åldring av I&C kablar har data om åldring i joniserande strålning av kabelmaterial

insamlats från deltagarna och lagts in i en databas. Den är begränsad till tre kabelmaterial som används i en stor del av världens kärnkraftverk:

- XLPE – tvärbunden polyeten
- EPR/EPDM – etenpropen-baserade polymerer
- EVA – etenvinylacetat-baserade polymerer

Databasen körs på FoxPro mjukvara. Databasen, hur den installeras och används samt ett betydande antal utdrag ur innehållet presenteras i detalj i AEAT-0199 [10.4]. Den innehåller framför allt data från mätning av tillstånd (exempelvis brottöjningsgräns) hos kabelmaterial som åldrats i joniserande strålning vid olika temperaturer.

10.4 Referenser

[10.1] Brett D.A. Sliter G.E. "EPRI equipment qualification data bank" Proceedings ENS symposium "Operability of nuclear power systems in normal and adverse environments", Albuquerque, 1986

[10.2] "EQDB: A comprehensive equipment qualification resource" NUS Information Services. Presenterat vid EQ Technical Conference i Clearwater, Florida, November 1998

[10.3] Holzman P.M., Sliter G.E., Carfagno S.P. "Nuclear power plant equipment qualification reference manual" Electric Power Research Institute, 1992

[10.4] Burnay S.G. "Radiation testing database for XLPE, EPR and EVA cable materials" AEA Technology Report AEAT-0199, March 1996

11 Slutsatser

Program för kvalificering av åldringskänsliga komponenter i kärnkraftverk som skall klara att i slutet av sin installerade tid fungera under haveri förutsätter en kombination av initial kvalificering med accelererad åldring följt av haverimiljöprovning och uppföljande aktiviteter efter installation. Det är en i forskningskretsar inom området vedertagen uppfattning att enbart initial kvalificering endast kan garantera en begränsad livslängd, som oftast är kortare än den avsedda installerade tiden. Metoder för uppföljande kvalificering utvecklas och prövas på många håll och ligger till grund för pågående revidering av IEEE 323, IEC 60780, nationella bestämmelser och för de

resultat som nu presenteras från IAEA's expertgrupp för hantering av åldring av kablar i kärnkraftverk.

Det finns idag ett tillfredsställande underlag i form av forskningsresultat för att man skall kunna utforma fungerande strategier och kompletta program för hänsynstagande till åldring under installerad tid vid anskaffning och installation av nya komponenter. De metoder för uppföljande kvalificering efter installation som utvecklats kan även användas för att uppdatera och komplettera kvalificeringen av sedan en längre tid i drift varande komponenter. Utvecklingen av sådana metoder har utgjort ett viktigt inslag i arbetet med förlängning av tillstånd för drift av kärnkraftverk i USA från 40 till 60 år.

Denna rapport ger underlag och verktyg för val av strategier och program samt en del data av betydelse för bestämning av kvalificerad livslängd från typprovning och för val av tillståndsindikatorer i den uppföljande kvalificeringen. Med detta som grund har det varit möjligt att utarbeta konkreta rekommendationer och vägledning för program, lämnade i SKI-Rapport 01:17 del A.

