

Utredning kring reaktorinneslutningar -
konstruktion, skador samt kontroller
och provningar

Gabriel Barslivo
Elena Österberg
Behnaz Aghili

Januari 2003

Utredning kring reaktorinneslutningar - konstruktion, skador samt kontroller och provningar

Gabriel Barslivo
Elena Österberg
Behnaz Aghili

Statens kärnkraftinspektion

Januari 2003

Denna rapport har gjorts på uppdrag av Statens kärnkraftinspektion, SKI. Slutsatser och åsikter som framförs i rapporten är författarens/författarnas egna och behöver inte nödvändigtvis sammanfalla med SKI:s.

Sammanfattning

SKI har efter en del inträffade händelser i form av skador under senare tid i reaktorinneslutningarna beslutat att genomföra en övergripande utredning med syfte att bilda ett samlat underlag för SKI:s bedömningar i samband med de frågeställningar som framledes kan uppkomma kring nämnda konstruktion.

I föreliggande utredning har inneslutningarna i de svenska kärnkraftverken studerats översiktligt med avseende på konstruktion, kontroller och provningar, inträffade skador och till följd av dessa vidtagna åtgärder av industrin. Även en viss översiktlig genomgång av internationellt rapporterade skador samt tillämpade kontroller och provningar av inneslutningskonstruktioner har gjorts. Dessutom har behovet av ytterligare åtgärder för att i tid fånga upp skador i de svenska reaktorinneslutningarna studerats.

Utredningen visar att en del skador i de svenska kärnreaktorernas inneslutningar har inträffat under årens lopp. De mest allvarliga händelserna bland dessa är de som inträffade i Forsmark 1 och Barsebäck 2, vilka ledde till hål i inneslutningens tätande funktion. Grundorsaken till dessa händelser, och liksom de flesta av de rapporterade händelserna såväl nationellt som internationellt, kan huvudsakligen hänföras till avvikelser i konstruktion och utförande. Den dominerande skademekanism förefaller vara korrosion av olika slag.

Vidare visar utredningen att de insatser, i form av utredningar och undersökningar, som industrin genomfört till följd av inträffade händelser, och i syfte att tillförsäkra sig om att den egna anläggningen inte är utsatt för liknande skador, har varit omfattande både till inriktning och omfång. Man har bland annat försökt att identifiera eventuella avvikelser och svaga delar i konstruktionen. Vidare har de mot bakgrund av de ovan nämnda händelserna försökt att bedöma risken för korrosion av olika former. Baserat på det redovisade underlaget kan det dock konstateras att omfattningen och inriktningen av de vidtagna kontrollerna och provningarna varierar relativt starkt mellan de olika anläggningsägarna.

Ytterligare en slutsats som kan dras utifrån den sammanställning som gjorts över inträffade skador och genomförda analyser är att eventuella konstruktions-, tillverknings- och montageavvikelser är svåra att upptäcka i efterhand.

Tillståndshavarna drar slutsatsen att förutsättningarna för kemisk påverkan av inneslutningens komponenter antingen saknas, eller också att sådan påverkan kan upptäckas i tid genom direkta eller indirekta kontroller och provningar. Emellertid förutsätter de därvid att inga avvikelser, liknande de som givit upphov till upptäckta skador finns i konstruktionen. Mot bakgrund av de inträffade händelserna har utredningen kommit fram till slutsatsen att det kan finnas ytterligare avvikelser från konstruktions- och tillverkningsunderlagen och som kan leda till skador i framtiden. Detta innebär att inneslutningarna måste underkastas skärpt uppmärksamhet framledes. De tillämpade programmen och metoderna för byggnadskontroller och de globala täthetsprovningarna bör därför studeras och diskuteras vidare. Kompletterande metoder till dessa bör övervägas.

Tillämpbarheten av oförstörande provningsmetoder (OFP) har studerats i utredningen. Det kan konstateras att dessa metoder skulle kunna användas för kontroller av möjliga

defekter. De skulle även kunna möjliggöra bedömningar av mer global karaktär av betonginneslutningarnas status. Emellertid är erfarenheterna av förstörande provningsmetoder begränsade inom det kärntekniska området. Detta i synnerhet för tjocka betongstrukturer och i dessa inbäddade komponenter såsom tätplåten är. Därför krävs det vidare forsknings- och utvecklingsinsatser inklusive fälttester för att klargöra såväl förutsättningarna som möjligheterna och begränsningarna att med större tillförlitlighet kunna tillämpa olika OFP-metoderna för att fastställa tillståndet hos betonginneslutningar.

Under utredningens gång har kompletterande information från anläggningsägarna inkommit. När det gäller uppgifter på konstruktionsmaterial har dessa sammanställts i en separat rapport [2]. En allmän slutsats i denna utredning är att det cement, nämligen LH-cement, som användes för de flesta grova betongkonstruktioner i kärnkraftverken, hade mycket goda egenskaper, kanske till och med bättre än vad som finns tillgång till idag. De senare byggda verken har byggts med andra cement och betongkvaliteter, men då har man delvis kompenserat detta genom val av högre nominella kvaliteter. Av utredningen framgår dock att en del uppgifter på konstruktionsmaterial i inneslutningarna, främst för Barsebäck 2 och Ringhals 1, saknas.

När det gäller de lokala termiska lasterna under normaldrift i inneslutningarnas olika konstruktionsdelar, i synnerhet genomföringar för processrör, visar sammanställningen att temperaturer upp till 174°C kan förekomma. Vilken betydelse detta har i det långa loppet för betongens mekaniska hållfasthet och beständigheten mot kemiska förändringar bör studeras närmare i kommande etapper av utredningen. Det kan nämligen befaras att långvariga temperaturer över 100°C ger upphov till förändrade mekaniska egenskaper av betongmaterialet.

Det finns också frågor kring krypning och krympning av betong och relaxation av förspänningskabelsystemet. Krypning och krympning av betongen har inverkan på förspänningslasten i inneslutningen, vars förspänning vid en övertryckning i samband med ett haveri är en förutsättning för dess hållfasthetsmässiga integritet. De metoder som idag finns för prediktering av krypning och krympning av betongmaterialet samt relaxation i spännkablar förefaller vara osäkra.

Det framgår vidare av de gjorda sammanställningarna i denna rapport att det tryck som beräkningsmässigt maximalt kan uppstå i en del inneslutningar vid vissa svåra haveriförlopp överstiger det tryck vid vilket respektive inneslutningstäthet kunnat verifieras för. I samband med kommande etapper av utredningen bör dock en närmare studie göras av förutsättningarna – vilka systemtekniska antaganden som gjorts – vid beräkning av det maximala trycket vid sådana händelser, innan vidare slutsatser dras.

I utredningen har även potentiella hot mot inneslutningens integritet och dess täta funktion vid rörbrott översiktligt kartlagts. Det kan konstateras att i så gott som alla inneslutningar föreligger sådana potentiella hot mot inneslutningen på ett eller flera ställen vid rörslag. En vidare kartläggning och vidare värdering av dessa hot rekommenderas.

I utredningen har ytterligare frågor identifierats kring vilka vidare studier behövs för att närmare kunna uttala sig om tillståndet, nu och på sikt, hos reaktorinneslutningarna. I slutet av rapporten ges därför förslag till vidare utredningar och andra åtgärder.

Summary

SKI has conducted this review with the aim to establish an evaluation basis in the case of degradations and other issues that may arise in the future regarding concrete containments in the Swedish Nuclear Power Plants. The review was initiated after defects and degradations had been revealed in the Swedish reactor containments.

This review considers the Swedish containments' design, inspection requirements, revealed and possible defects and degradations and also by the utilities undertaken investigations due to some degradations. The need of further actions to be taken to detect possible ongoing degradations has been considered as far as possible.

The investigation shows that a number of degradation instances has been reported during the operation of the plants. The most significant instances are the two in Forsmark unit 1 and Barsebäck unit 2 with a hole in toroid respectively a hole in liner in a penetration vicinity. Like for many other reported instances both in Sweden and world-wide, these instances were attributed to construction and montage deficiencies. The main degradation mechanism was corrosion.

Furthermore, it can be concluded that the utilities have recently conducted extensive investigations in order to assure that there are no more defects and degradations of certain type as mentioned above in their containments. The investigations scope was to review construction drawings and to evaluate weak construction points and risk for corrosion. However, it can be concluded that the scope of investigations varies relatively strong between different utilities.

Another conclusion that can be made based on the review of revealed defects and degradations and the utilities investigations is that possible deviations during construction and montage seem to be very difficult to detect afterwards. Since the utilities investigations had been performed new defects and degradations were revealed in containments. The ground cause even for those instances are deviations from construction and montage. The utilities believe that the risk for degradations due to environment conditions is small, but theirs assumptions are based on nominal design data, i.e. with no significant deviations.

Therefore, one can expect that new defects and degradations will be detected in the future. This implies the need of close attention to containments issues in the future. The appropriateness and effectiveness of current inspection methods must be seriously evaluated. The use of complimentary methods must be considered. The NDT-methods have capacity to detect possible defects and degradations. Furthermore, NDT methods can be used for global inspection of a containment structure to assess its overall condition. However, the experiences of the use of NDT methods in the Swedish containments are scarce. The recommendation is to make efforts to apply NDT methods to containment structures.

During the completion of this report complementary documents from the utilities were received. The construction materials are summarised in a separate report [2]. A general conclusion is that the used cement, namely LH-cement, had high properties, even better than what is available today. However, in latest built containments other cement types were used; but this was balanced by the use of higher nominal material qualities.

Nevertheless, some information about construction materials is still missing – particularly for Ringhals unit 1 and Barsebäck unit 2.

The summary shows that the magnitude of local thermal loads during normal operation can be up to 174°C, especially around the penetration pipes in some containments. The impact of long term effects of elevated temperatures on concrete material properties must be studied in the further work.

Furthermore, it can be concluded that the grouted tendons must become a subject for further investigations. Particularly, questions about creep and shrinking phenomena in concrete and relaxation in the tendons have been arisen. The review of experiences aboard shows that the mentioned phenomena can have significant effects on the lost of pretension force. The existing formulas for prediction of the lost of pretension force seem to be uncertain.

A comparison between the peak pressure resulting from a severe accident H5 (an event beyond the original design) and the pressure at which the leak tightness of containment was verified by calculations, shows that for some containments the H5 peak pressure exceeds the pressure at which the leak tightness of containment is verified. However, further analysis are recommended – especially a matter of the technical assumptions – before the final conclusions can be made.

Furthermore, the potential threats against containments due to pipe-whipe have been evaluated [6]. It can be concluded that such treats exist against all units. Further evaluations are required to assess if those threats will really cause problems for containments' integrity. Especially, evaluation of the penetration areas are recommended.

The report has also identified additional questions that must be addressed to assess condition of containments' structures. The questions are summarised in the end of the report, under the section suggestions to further investigations and other actions.

Innehållsförteckning

1	Inledning.....	9
2	Allmänt om inneslutningarnas konstruktion	11
2.1	Säkerhetsfunktion	11
2.2	Skyddssystem	11
2.3	Konstruktion	13
2.3.1	Konstruktionsförutsättningar och belastningar.....	13
2.3.2	Material.....	14
2.3.3	Inneslutningarnas täthet och säkerhetsmarginaler.....	15
3	Skademekanismer och inträffade skador	18
3.1	Skademekanismer.....	18
3.2	Inträffade skador i svenska anläggningar	19
3.3	Skador i utländska anläggningar	20
3.3.1	Anläggningar i USA	20
3.3.2	Övriga länder	21
3.4	Diskussion kring skadeutveckling och skademekanismer.....	22
4	Identifiering av skadekänsliga delar i svenska reaktorinneslutningar	24
4.1	Allmänt om skadekänsliga delar i konstruktionerna	24
4.2	Tillståndshavarnas identifiering av känsliga delar	24
4.3	Kommentarer kring identifiering av känsliga delar.....	26
5	Hot mot inneslutningens integritet vid rörslag	28
5.1	Värderingsmetoder av rörslags- och missillaster	28
5.2	Krav enligt SAR	29
6	Program och metoder för kontroller och provningar.....	30
6.1	Återkommande kontroller av inneslutningar.....	30
6.1.1	Täthetsprovningar.....	30
6.1.2	Tillämpade intervaller för täthetsprovningar.....	31
6.1.3	Täthetsprovningar internationellt	33
6.1.4	Övrig kontroll och provning av inneslutningar i Sverige.....	33
6.1.5	Övriga kontroller och provningar av inneslutningar internationellt.....	34
6.1.6	Kontroller av förspänningskabelsystem	35
6.2	Testkanaler för genomföringar och svetsar i tätplåten	36
6.3	Instrumentering nationellt och internationellt	37
6.4	Slutsatser och kommentarer kring kontroller och provningar	37
7	Oförstörande provningsmetoder för betongkonstruktioner	39
7.1	Allmänt	39
7.2	OFP-metoder och deras tillämpbarhet.....	39
7.3	Svenska erfarenheter	41
7.4	Internationella erfarenheter	42
8	Överväganden och bedömningar	43
9	Förslag till vidare utredningar och tillsynsåtgärder	46
10	Referenser.....	49
11	Projekt kring reaktorinneslutningar	52

Bilagor:

1. En översiktlig sammanställning över inneslutningarnas konstruktion, kontroller och inspektioner av dessa
2. Skador i Sverige, övriga kontroller och provningar och andra åtgärder med anledning av vissa inträffade skador nationellt

- 2.1 FKA:s redovisning
- 2.2 Bilaga 2.2, BKAB:s kompletterande analyser
3. Erfarenheter och skador internationellt
- 3.1 Skador i amerikanska reaktorinneslutningar
4. Skademekanismer
5. Frågelista till kärnkraftverken

1 Inledning

Inneslutningen utgör den yttre barriären mot utsläpp av radioaktiva ämnen till omgivningen i händelse av ett haveri. Ett sådant utgör till exempel ett brott i de större rörledningarna i inneslutningen.

Ett annat funktionskrav på inneslutningen är att den skall fungera som biologiskt strålskydd kring reaktorn och till denna anslutna rör och övriga komponenter som innesluter radioaktiva ämnen. Detta funktionskrav är enligt de säkerhetstekniska analyserna för kärnreaktorerna ständigt aktuellt, inte bara vid ett svårt haveri.

SKI har efter de inträffade händelserna med bland annat den korroderade toroiden i PS kupolens fläns i Forsmark 1 (1997) och korroderade tätplåten i Barsebäck 2 (1993) beslutat att genomföra en utredning med syfte att dels bilda ett samlat underlag för SKI:s bedömningar i samband med eventuella frågeställningar som kan inträffa i framtiden, dels försäkra sig om att inneslutningen uppfyller dagens moderna konstruktionskrav.

Den fas av utredningen som redovisas i denna rapport har bedrivits med fokus på följande:

- Att översiktligt kartlägga inträffade skador både nationellt och internationellt.
- Att översiktligt bedöma de åtgärder som den svenska kärnkraftsindustrin vidtagit efter händelserna i Barsebäck 1993 och Forsmark 1997.
- De kontroller och provningar som sker av inneslutningen samt att bedöma deras ändamålsenlighet översiktligt.
- Möjliga mekanismer som kan ge upphov till skador i inneslutningarna.
- Identifiera potentiella hot mot inneslutningens tätande funktion vid rörbrott.
- Identifiera vilka ytterligare tillsyns-, utrednings- och forskningsinsatser som behövs.

Inom utredningen har omfattande material, både från anläggningsägarna och andra källor studerats, sammanställts och utvärderats.

Utredningen presenteras i denna huvudrapport med de övergripande resonemangen och slutsatserna. Till huvudrapporten hör ett antal bilagda underdokument, ur vilka mera detaljerade uppgifter kan erhållas.

Tillståndshavarna har getts möjlighet att kommentera en tidig version av utredningen. Deras kommentarer har i förekommande fall beaktats så långt som möjligt.

I denna utredning används för tryck enheten absolut bar, bar(a), där annat ej explicit anges.

Utredningen har genomförts inom avdelningen för reaktorsäkerhet inom SKI. Behnaz Aghili har författat delen om skademekanismer, avsnitt 3.1 med tillhörande bilaga 4. Elena Österberg har författat delen om OFP, kap. 7, och bidraget till kap. 2. Kollegor har bidragit till utredningen med material och kommentarer. Författarna tackar alla dessa.

2 Allmänt om inneslutningarnas konstruktion

Konstruktion och utförande av inneslutningarna i svenska kärnkraftverken har sammanställts och framgår av bilaga 1. Presentationen i nämnda bilaga grundar sig huvudsakligen på det som finns i anläggningarnas säkerhetsredovisningar (SAR). De olika konstruktionsdelarna av inneslutningarna har så långt som möjligt beskrivits vad beträffar utformning och tillverkningsmetod. I viss mån har även kringliggande skyddssystem för inneslutningar berörts kort. I de följande avsnitten sammanfattas huvuddragen i inneslutningarnas konstruktion och skyddssystem samt en del andra observationer som kan göras utifrån den gjorda sammanställningen enligt bilaga 1.

2.1 Säkerhetsfunktion

Inneslutningarna utgör den yttersta barriären i djupförsvaret i kärnkraftverkens reaktorer. Inneslutningens primära uppgift, både för reaktorer av kokar- och tryckvattentyp, kan enligt de säkerhetstekniska redovisningarna sammanfattas på följande sätt:

- Vid maximalt antaget haveri innanför inneslutningen uppta det dimensionerande övertrycket och genom inbyggd tätplåt förhindra spridning av radioaktiva produkter till omgivningen.
- Innesluta reaktorns primärsystem.
- Utgöra ett skydd av reaktorns primärsystem mot påverkningar utifrån.

Således är inneslutningen en passiv konstruktion, vilken under normaldrift är obelastad. Den avses bli belastad bara vid haverier.

2.2 Skyddssystem

Unikt för de svenska reaktorerna är att de under 80-talet försågs med ett system, s.k. haverifilter, vilket innebär att vid svåra haverier, till exempel ett stort rörbrott i inneslutningen, skall inneslutningen kunna tryckavlastas på ett kontrollerat sätt samt utsläppen av radioaktiva ämnen till omgivningen filtreras till 99,9%.

Haverifilteranläggningen, som således även utgör ett skyddssystem för inneslutningen, kom till efter särskilda krav från regeringen. Mot bakgrund av de utredningar som genomfördes efter reaktorhaveriet i Three Mile Island utformades och antogs av Sveriges riskdag proposition 1980/81:90. Denna föreskrev att de svenska reaktorerna skulle förses med åtgärder som begränsar konsekvenserna av svåra haverier, sådana haverier som låg utanför de ursprungliga konstruktionsförutsättningarna för reaktorerna. Således föreskrevs att tryckavlastning med filterkammare, innebärande en filtrerad ventilering av inneslutningen vid Barsebäck-reaktorerna, skulle vara klar att tas i bruk 1985. Regeringen beslutade vidare att de andra reaktorerna i landet skulle förses med liknande åtgärder före 1989.

Enligt de krav som regeringen ställde för Barsebäckanläggningen skulle filterutrustningen träda i funktion när trycket i reaktorinneslutningen översteg det s.k. konstruktionstrycket i gällande säkerhetsredovisning. Det tryck vid vilket utrustningen beräknas träda i funktion får dock inte vara så stort att läckage från inneslutningen kan förväntas samt att utrustningen skall vara så utförd att minst 99,9% av reaktorhårdens innehåll av varje radioaktiv isotop, ädelgaser oräknade, kvarhålls i reaktorinneslutningen och filteranläggningen vid avblåsning via filteranläggningen vid ett svårt haveri.

Liknande krav ställdes även på de övriga anläggningarna. Av regeringsbeslutet 1986-02-27 gällande Ringhals 1, 2, 3 och 4 framgår följande riktlinjer för filteranläggningen:

- Händelser med extremt låga sannolikheter beaktas inte.
- Samma grundläggande krav vad avser maximal mängd utsläppta radioaktiva ämnen skall gälla vid alla anläggningar oberoende av läge och effekt.
- Markbeläggning som långvarigt hindrar utnyttjande av större utsläpp bör förhindras.
- Dödsfall i akut strålsjuka skall inte förekomma.

Enligt beslutet kan kraven anses vara uppfyllda om ett utsläpp begränsas till maximalt 0,1% av härdinnehållet av cesiumisotoperna 134 och 137 i en reaktorhård av 1 800 MW termisk effekt förutsatt att övriga nuklider av betydelse ur markanvändningssynpunkt avskiljs i motsvarande proportion som cesium. Vidare framgår av beslutet att det är särskilt viktigt att inneslutningsfunktionen förblir intakt de första tio till femton timmarna efter ett haveri, att tryckavlastningen skall kunna ske under kontrollerade former samt att avlastningsanordningarna skall vara utformade så att de kan träda i funktion oberoende av operatörsingripanden och oberoende av övriga säkerhetssystemens funktion om reaktorinneslutningens konstruktionstryck överskrides i sådan grad att risk för oacceptabla läckage eller för skador på inneslutningen föreligger.

I syfte att uppfylla ovanstående krav har kärnkraftverken valt en lösning genom att bygga en filteranläggning med anslutning till respektive inneslutning. När trycket efter ett haveri, utanför den ursprungliga designen, uppnår en viss nivå i inneslutningen aktiveras filtersystemet (system 362) passivt genom att ett sprängbleck, som är placerat i öppningen till ledningarna i inneslutningen, sprängs och ångan leds genom s.k. stenkondensator eller vattenskrubber, innan avlastning så småningom sker till omgivningen. Därigenom filtreras utsläppen av radioaktiva ämnen till omgivningen. I BWR-anläggningarna har man dessutom ytterligare ett system (system 361) där man under de första minuterna efter vissa haverier där PS-funktionen sätts helt eller delvis ur spel, tar ner trycket i inneslutningen genom att avlasta direkt till fria atmosfären. Efter 10–20 minuter, beroende på anläggning, stängs system 361 av. Därefter sker avlastningen via system 362. I bilaga 1 redogörs något närmare för dessa två system i de olika anläggningarna.

Ett annat skyddssystem, som skall kunna träda i funktion vid ett haveri, till exempel stort rörbrott i inneslutningen, är det s.k. vattensprinklingsystemet, som skall ta ner trycket i inneslutningen. Med undantag av Barsebäck 2 har man i alla block även ett system för att fylla inneslutningen med vatten till ovanför härdnivån och därigenom hålla resteffekten under kontroll i det långa tidsloppet efter ett svårt haveri. För

närvarande är ett system för vattenfyllning av reaktorinneslutningen i Barsebäck under införande [43].

2.3 Konstruktion

Konstruktionen av inneslutningarna i de svenska anläggningarna har översiktligt beskrivits i bilaga 1. Några principiella drag hos konstruktionen är följande:

- Samtliga inneslutningar i de svenska kärnkraftverken utgörs av förspända betongkonstruktioner. Förspänningen är i både vertikal- och horisontell och är avsedd att förhindra dragbelastningar i betongen till följd av de belastningar som kan uppträda vid ett haveri. Den gjorda genomgången visar att förspänningskablarna i Ringhals 2–4 och Forsmark 1–3 ligger foderrör som antingen är injekterade med fettliknande produkter eller torrluftventilerade. Kablarna i dessa är åtkomliga för inspektioner och byten. Inspektioner utförs enligt särskilda program. När det gäller de övriga inneslutningarna, Oskarshamn 1–3, Barsebäck 2 och Ringhals 1, är däremot förspänningskablarna, vilka också ligger i foderrör, injekterade med cement och är inte på samma sätt åtkomliga för inspektioner. I Ringhals 1 ligger dock ett antal kablar (18 st.), som monterades som en extra förstärkning efter det att defekter upptäcktes i vissa av de ordinarie kablarna efter montage, på utsidan av inneslutningen och är delvis åtkomliga för inspektion.

När det gäller förspänningssystemens utformning kan alltså två konstruktionsfilosofier skönjas. Vattenfalls anläggningar har, förutom Ringhals 1, byggts med ej ingjutna kabelsystem, som går att prova och byta ut vid behov, medan de en gång av Sydkraftägda verken har ett ingjutet kabelsystem.

- Inneslutningarnas cylindriska vägg har gjutits i två koncentriska delar med en total vägg tjocklek av 1,0–1,5 meter, beroende på reaktor anläggning. Inre delens tjocklek är 0,2 till 0,3 m.
- Alla inneslutningar har en ingjuten tätplåt med uppgift att hindra utsläpp från inneslutningen vid ett haveri. Tätplåten är belägen mellan de två koncentriska delarna, och är 4–8 mm tjock, i en del fall av rostfritt material. Oftast har tätplåten också använts som motgjutsform under byggnationen.
- Tätplåten i kokarvattenreaktorernas bottenplatta ligger på botten av kondensationsbassängen och är fritt exponerad. I vissa äldre anläggningar, Ringhals 1 och Oskarshamn 2, är tätplåten i de övre delarna av inneslutningen också fritt exponerad, och således ej skyddad. Även i det sfäriska taket i PWR-inneslutningarna är tätplåten fritt exponerad.

2.3.1 Konstruktionsförutsättningar och belastningar

De händelser som inneslutningarna ursprungligen är dimensionerade mot är, som framgått tidigare, det tryck som kan uppstå vid ett stort rörbrott eller motsvarande, s.k. LOCA-händelser – Loss of Coolant Accident. Konstruktionstrycket varierar enligt SAR mellan 4,5–6 bar, beroende på anläggning.

I SAR för vissa inneslutningar finns det en relativt god beskrivning av konstruktionsförutsättningarna för inneslutningarna och de belastningar som uppträder i denna. För andra inneslutningar finns klara brister i dessa avseenden.

En del anläggningsägare har på eget initiativ inom ramen för moderniseringsprojekt såsom BOKA tagit fram nya konstruktionsförutsättningar, och i viss mån genomfört detaljerade strukturmekaniska analyser med beaktande av dessa nya konstruktionsförutsättningar. De inneslutningar som tagit fram nya konstruktionsförutsättningar är Oskarshamn 1–3, Barsebäck 2 samt Forsmark 3 [1]. Av det tillgängliga underlaget framgår att endast Oskarshamn 2 och Barsebäck 2 gjort en värdering av inneslutningarnas konstruktion med hänsyn till de nya konstruktionsförutsättningarna.

Det bör tilläggas att de nya konstruktionsförutsättningar, som tagits ännu ej är bedömda av SKI. Inte heller är de genomförda strukturmekaniska analyserna för Barsebäck 2 och Oskarshamn 2 bedömda av SKI.

Det kan konstateras att någon enhetlig och systematisk redovisning av vare sig konstruktionsförutsättningar eller belastningar för inneslutningarna finns i anläggningarnas SAR. Inte heller finns uppgifter om en del belastningar och kombineringen av dessa. Inom andra områden för mekaniska komponenter, såsom rör och andra tryckkärl, finns en relativt välutvecklad praxis inom branschen när det gäller konstruktionsförutsättningar. Motsvarande praxis behöver på sikt utvecklas för betongstrukturer. Därför bör på sikt gemensamma riktlinjer när det gäller konstruktionsförutsättningar för betongstrukturer tas fram. Vidare bör belastningsunderlaget ses över på ett systematiskt sätt.

Enligt kompletterande underlag från Forsmark är förspänningskabelsystemet dimensionerat för 30 år. Det bör emellertid noteras att dessa delar i Forsmark är åtkomliga för inspektioner och är utbytbara tack vare sin konstruktion. De övriga anläggningarna uppger att vid konstruktionsskedet satte man inte upp några explicita dimensioneringskriterier med hänsyn till tekniska livslängden. Man antog därvid att inneslutningarna skulle hålla tillräckligt länge, för minst 40 år, genom att följa då aktuella byggnadsnormer, [37–41].

Av det kompletterande underlaget, [41], från OKG framgår att lokala betongtemperaturen kring genomföringar i biologiska skyddet under normaldrift kan uppgå till 174°C. För inneslutningen i Barsebäck 2 uppges att temperaturen i betongen runt 313-genomföringar kan variera mellan 60 och 120°C [38]. För Ringhals 1 uppges enligt [40] att den lokala temperaturen i vissa extremfall, utan att beskriva dessa närmare, kan uppgå till 100°C. Lika hög temperatur, 100°C, uppges kunna uppstå under normaldrift i övre delen av PWR-kupolens insida. För övriga inneslutningar framgår att lokala temperaturerna i betongen under normaldrift håller sig under 100°C.

2.3.2 Material

I SAR finns för de olika delarna av inneslutningarna materialtyp och kvalitet angiven endast i enstaka fall. Därför har kompletterande uppgifter begärts in från kraftföretagen,

bland annat för att översiktligt kunna bedöma riskerna för uppkomst av skador, samt för andra bedömningar av konstruktionen. Dessa uppgifter har sammanställts i en separat utredning [2]. En allmän slutsats i denna utredning är att det cement, nämligen LH-cement, som användes för de flesta grova betongkonstruktioner i kärnkraftverken, hade mycket goda egenskaper, kanske till och med bättre än vad som finns tillgång till idag. De senare byggda verken har byggts med andra cement- och betongkvaliteter, men då har man delvis kompenserat detta genom val av högre nominella kvaliteter.

Av utredningen framgår dock att en del uppgifter på använda material i inneslutningarna, främst för Barsebäck 2 och Ringhals 1, fortfarande saknas. I samband med arbetet att samla in uppgifter på använda konstruktionsmaterial har det framkommit att en del anläggningsägare haft svårigheter med att återfinna begärda uppgifter. Orsaken till detta tros vara brister i dokumentation av inneslutningarnas konstruktion och utförande.

Frågan om anläggningarnas dokumentation när det gäller inneslutningarnas konstruktion behöver ses över. I SKI:s föreskrifter, SKIFS 1998:1, ställs nämligen otvetydiga krav på att teknisk anläggningsdokumentation skall förvaras så länge den kärntekniska verksamheten bedrivs. Exempel på nödvändig anläggningsdokumentation är materialdata som ofta behövs för att kunna analysera och fastställa orsaken till inträffade skador. Desamma gäller för att kunna göra skaderiskbedömningar och liknande vid utveckling av kontrollprogram.

2.3.3 Inneslutningarnas täthet och säkerhetsmarginaler

Tätheten hos en del av inneslutningarna har under senare tid verifierats med mer moderna beräkningsmetoder för betydligt högre tryck än det beräknade vid tiden för konstruktion. I syfte att ge en uppfattning om eventuella inbyggda marginaler i konstruktionen av inneslutningarna har vissa data på tryck dels enligt SAR, dels enligt svaren från tillståndshavarna på SKI:s frågor enligt bilaga 5, sammanställts i tabell 1 nedan.

Av denna sammanställning framgår att tätheten hos inneslutningarna är verifierade för ett tryck som, förutom Ringhals 3 och 4, överstiger konstruktionstrycket med ca en faktor 1,4. När det gäller Ringhals 3 och 4 visar pågående analyser att bottenplattan kan spricka vid ett tryck på ca 6,5 bar, eller ca 1,3 bar över konstruktionstrycket respektive 1,8 bar över beräknade maximalt trycket.

Vidare framgår att det beräknade trycket som maximalt kan uppstå vid en s.k. H4-händelse¹, ligger under det tryck vid vilket det har beräknats att inneslutningens täthet upprätthålls. Marginalerna här är 1,5–2 bar beroende på anläggning.

Vid s.k. H5-händelse², vilken utgör en händelse utanför de ursprungliga konstruktionskraven för inneslutningarna och som betecknas som mycket osannolik³, är

¹ H4 är en händelse inom design, och motsvarar LOCA

² H5 är en händelse utanför ursprunglig design och motsvarar LOCA kombinerad med fel i PS funktion, eller total blackout av anläggningen. En av förutsättningarna vid det maximalt beräknade trycket vid en H5 händelse är att system 361 fungerar på avsett sätt. För en del anläggningar förutsätts därvid även system 362 fungera. Det har dock ej gjorts en systematisk genomgång inom ramen för denna utredning av de förutsättningarna som gäller vid de beräknade H5-trycken.

det beräknade maximala inneslutningstrycket för alla anläggningar inte redovisad. Det framgår dock att beräknat maximalt tryck i Oskarshamn 1, 2 och Barsebäck 2 är högre än det tryck vid vilket tätheten har beräknats vara uppfyllt. Hypotetiskt skulle alltså inneslutningarnas täthetsfunktion i dessa block därför kunna gå förlorad efter ett sådant haveri. I samband med kommande etapper av utredningen bör dock en närmare studie göras av förutsättningarna – vilka systemtekniska antaganden som gjorts – vid beräkning av det maximala trycket vid H5-händelser, innan vidare slutsatser dras. Därvid bör sådana studier göras mot bakgrund av de fel som under årens har rapporterats i dessa system. Det har nämligen under årens lopp rapporterats till SKI flera fall med felkalibrering och felaktiga installationer av sprängbleck och felaktiga driftläggningar av övriga komponenter i system 361/362. Detta framgår ur sammandrag från databasen STAGBAS⁴. Antagandena om huruvida system 361 och 362 antas fungera vid H5-händelser torde kunna påverka amplituden av de beräknade trycklasterna på ett avgörande sätt.

	(a) Konst.data, Tryck (H4)	(b) Täthetsprov. enl. SAR (App. J)	(c) Tryck vid vilket tätheten upprätthålls enl. analyser	(d) Tryckavs. via system 361/362	(e) Maximalt tryck vid (H4/H5)
Inneslutning	Bar	Bar	Bar	Bar	Bar
Oskarshamn 1	4,5	2,75	6,5-7	6/5	4,4/7,5, [37,38]
Ringhals 1	5,2	3	7,5	6,5/5,4	5,1/ , [40]
Barsebäck 2	5	3	7	6,5/6,5	(<5)/7,5, [41]
Oskarshamn 2	5	3,0	7	6,5/5,5	4,56/7,5, [37,38]
Forsmark 1, 2	5,5	3,6	8	7,5/5,7	(<5,5)/7,5, [39]
Forsmark 3	6	3,4	9	7,5/5,7	(<6)/7,5, [39]
Oskarshamn 3	6	3,5	8,5	6,5/5,5	5/8, [37,38]
Ringhals 2	5,14	3,02	8	NA/5	4,65, [40]
Ringhals 3	5,22	2,83	8 ⁵ (6,5)	NA/5	4,91, [40]
Ringhals 4	5,22	2,83	8 (6,5)	NA/5	4,72, [40]

NA= Not applicable.

Tabell 1 – Sammanställning av a) konstruktionstryck, b) det tryck som de återkommande täthetsprovningarna genomförs vid, c) det tryck som konstruktionens tätande funktion verifierats för genom teoretiska analyser, d) trycken vid vilken de tryckavlastande systemen 361 och 362 utlöser, samt e) det beräknade maximala trycket som kan uppkomma vid H4-och H5-händelse.

Skulle det efter ytterligare studier visa sig att tätheten hos dessa inneslutningar vid H5-händelser kan äventyras kan nytta med regeringens beslut, vilket beskrivs kort under avsnittet om skyddssystem ovan, att införa de konsekvenslindrande systemen vid ett svårt haveri diskuteras.

³ Enligt förslag till revidering av SKI:s föreskrift 1998:1 om säkerhet i vissa kärntekniska anläggningar

⁴ STAGBAS är en databas inom SKI för registrering och dokumentering av rapporterade händelser samt bedömningar och klassningar av dessa.

⁵ Av det kompletterande underlaget, [40], från Ringhals framgår att pågående analyser visar att bottenplattan till inneslutningarna i Ringhals 3 och 4 spricker vid 6,5 bar. Vid 6,7 bar uppges, utan närmare beskrivningar, att risk finns för att bottenplattorna brister.

Vid de övriga anläggningarna är beräknat maximalt tryck vid H5- händelser under det tryck vid vilket respektive inneslutning beräknats vara tät.

En ytterligare observation som kan göras av denna sammanställning är att utlösningstrycket för system 362 är vald något olika relativt konstruktionstrycket i de olika anläggningarna. I de nyare anläggningarna Oskarshamn 3 och Forsmark 3 samt i Ringhals 2–4 ligger utlösningstrycket marginellt under konstruktionstrycket, medan i de äldre anläggningarna Oskarshamn 1, Oskarshamn 2, Barsebäck 2 och Ringhals 1 är denna satt över konstruktionstrycket, men som framgått ovan är utlösningstrycket i samtliga block satt under det tryck vid vilket tätheten hos inneslutningen beräknats vara uppfyllt.

3 Skademekanismer och inträffade skador

3.1 Skademekanismer

Med åren ändras betongens egenskaper. Orsaken är både påverkan från miljön och att betongens mikrostruktur förändras. Betongens långtidsegenskaper beror alltså på hur bra den motstår dessa skademekanismer. De skademekanismer som är av intresse för betongkonstruktioner och dess beståndsdelar har i generella termer kort beskrivits i bilaga 4. Det kan sägas att betongens egenskaper och dess motstånd mot de olika skademekaniserna är mycket beroende av den betongkvalitet som har använts, och den miljö som betongen utsätts för.

Kokarvattenreaktorerna har en inneslutning som ligger helt och hållet inomhus. Dessa konstruktioner är därmed inte känsliga för skademekanismer som huvudsakligen orsakas av yttre förhållanden, t.ex. karbonatisering utvändigt, frostangrepp, abrasion eller erosion. Inneslutningarna för reaktorerna av PWR-typ (Ringhals 2–4) står däremot utomhus. Dessa är påmålade med skyddslager. Dessa skyddslager skyddar dock inte mot diffusion av koldioxid. Av de enstaka prover som Ringhals har genomfört, vilka redovisas i bilaga 2, framgår att karbonatiseringsdjupet är försumbar och ej kan påverka armeringen.

Invändig karbonatisering skulle dock kunna förekomma i både BWR och PWR. Det vore önskvärt att kunna bedöma om och hur karbonatisering har fortskridit invändigt i inneslutningen. Därför är vidare undersökningar av bland annat förekomsten och effekterna av karbonatisering planerade inom två pågående SKI-projekt, [43, 44].

För att bedöma risken för urlakning, sulfatangrepp, sura angrepp och alkalieballastreaktioner måste kunskaper om betongens kvalitet och dess vattencementtal vara tillgängliga. Av utredningen enligt [2] framgår att högkvalitativ betong har använts vid tillverkningen av inneslutningarna. Riskerna för nedbrytning av betongen bedöms därför vara små. Dessutom har ett forskningsprojekt vid Barsebäck 1 initierats som bl.a. syftar på att ytterligare klarlägga betongens tillstånd efter långtidsdrift [43].

Under normaldrift ligger de globala temperaturerna i inneslutningarna i intervallet 20–60°C, beroende på anläggning. Temperaturer av denna storleksordning bedöms inte påverka betongmaterialets mekaniska och kemiska egenskaper nämnvärt i det långa tidsförloppet. Däremot förekommer under normaldrift lokala temperaturer som överstiger 100°C, enligt industrins redovisningar i en del fall upp till 174°C. Så höga temperaturer kan befaras påverka betongstrukturernas mekaniska egenskaper med sprickningar som följd. I redovisningarna från tillståndshavarna uppger de dock att det utförs vissa regelbundna kontroller med hänsyn till sprickningar. Kartläggning av eventuella materialförändringar på grund av höga temperaturer är planerade inom projektet vid Barsebäck [43].

Skademekanismer som är aktuella för inneslutningens armeringsjärn är bestrålning och korrosion. Armeringsjärnet är, som berördes ovan, inbäddat i betongen. Bestrålningen torde därför inte vålla något problem för det inbäddade och skyddade armeringsjärnet.

Däremot är det oklart vilka bestrålningsnivåer själva betongen i vissa avskärmningsstrukturer närmast reaktortanken utsätts för, och vilken inverkan detta eventuellt kan ha på betongens egenskaper. Denna frågeställning avses att bli utredd i kommande etapper av utredningen. Korrosion av armeringsjärnet på grund av betongens karbonatisering eller diffusion av kloridjoner i betongen bedöms inte förekomma i sådan omfattning att det kan vålla större skador.

Spännarmeringen utgör det viktigaste konstruktionselementet för inneslutningens förmåga att klara sin funktion. I de fall spännarmeringen är ingjuten finns mycket liten möjlighet att fortlöpande kontrollera eventuell korrosion i dessa. I korrosiva miljöer finns stora risker för att spännarmeringen får skador. Tillståndskontroll av de spännarmeringar som är inbäddade i fett, kan göras utan större problem. Möjligheterna att säkerställa den ingjutna spännarmeringens status, med hjälp av någon form av oförstörande provning, bör utredas.

I de svenska kärnkraftverkens inneslutningar ingår en tätplåt. Tätplåten kan drabbas av korrosion, vilket ges exempel på i avsnitt 3.2. I detta sammanhang är inte allmän korrosion något större problem eftersom detta har tagits med i beräkningarna vanligen genom att tjock plåt har använts. Lokalkorrosion bör inte orsaka något problem om konstruktionen är utförd i enlighet med gällande krav och ritningar, och inga skador i det skyddande skiktet har rapporterats där vatten läckt in på tätplåten så att en korrosiv miljö kunnat uppstå.

Med tanke på de skador som har förekommit i de svenska anläggningarna bedöms just avvikelser från ritningsenligt utförande utgöra de mest potentiella riskerna för utveckling av skador.

3.2 Inträffade skador i svenska anläggningar

Under åren har en del skador i betonginneslutningen i de svenska kärnkraftverken inträffat. Uppgifter om de inträffade skadorna har sammanställts i bilaga 2. Sammanställningen baserar sig på dels underlag som anläggningsägarna inkommit med inom ramen för denna utredning, dels det som sedan tidigare har återfunnits i SKI:s dokumentation. I nämnda sammanställning finns dessutom i möjligaste mån orsakerna till de inträffade skadorna angivna.

Bland de mest allvarliga skador som under årens lopp har rapporterats är de som inträffade i Forsmark 1 1997 och Barsebäck 2 1993 med korroderad toroid och tätplåt, vilka ledde till hål i inneslutningens tätande funktion. Skadan i Forsmark 1 upptäcktes vid täthetsprovning av inneslutningen. Det kunde därvid konstateras att yttre och inre toroid var otät. Den yttre var kraftigt korroderad. På den inre hade ett hål uppstått på grund av korrosion. De båda toroiderna demonterades för kontroll, som visade att korrosion av toroiden hade skett på grund av att isoleringen var fuktig. I samband med kontrollen upptäcktes också att en plastfilm var anbringad som skydd för isoleringen. Dess uppgift var att skydda isoleringen från att bli blöt i samband med ingjutningen. Plastfilmen var applicerad på sådant sätt att inläckande vatten från ovanliggande bassänger samlades upp i en ficka i anslutning till ramarnas nedre del. När plastfilmen avlägsnades rann en större mängd vatten ut.

Även den nämnda skadan med korroderad tätplåt i Barsebäck 2 upptäcktes vid täthetsprovning. De vidare undersökningarna visade att inneslutningens tätplåt i ett område uppvisade korrosionsskador, vilka lett till hålbildning. Orsaken till skadorna befanns vara att återgjutningen av hålrum invid rörgenomföringen i samband med tillverkningen inte hade skett på avsett sätt. Bland annat hade vatten blivit kvar i hålrummet. När sedan betong med svällmedel hade pressats in i hålrummet, reagerade vattnet med svällmedlet och medförde att betongen blev porös. Dessutom var hålrummet enbart delvis fyllt med betong. Detta hade lett till en onormal miljö i vilken korrosion av tätplåten kunde fortgå. Orsaken till skadorna ansågs vara ett systematiskt fel vid betongarbeten i anslutning till genomföringar.

Ytterligare en brist av icke ringa betydelse som har rapporterats är den i Oskarshamn 1 där ett hål i tätplåten till inneslutningens takplatta kvarlämnades utan återsvetsning efter cementinjekteringen vid tillverkningen. Orsaken till denna brist är otillräckliga kontroller vid byggnationen.

Bland övriga inträffade händelser kan bland annat nämnas vattensamling i utrymmet mellan toroid och betong i Forsmark 3, vattenförekomst på insidan av inneslutningens tätplåt i Ringhals 2, vittring av betong på utsidan av inneslutningen i Ringhals 3, skadade förspänningskablar i Forsmark 3, och den s.k. Pluggen i Barsebäck 2, vilket var en felborrning i mellanbjälklaget, och som sedan inte åtgärdats innan anläggningen togs i drift.

Det kan konstateras med ett fåtal undantag där orsaken till händelsen inte kunnat fastställas, att de inträffade skadorna huvudsakligen berott på icke-ritningsenligt utförande vid tillverkning och montage. Skademekanismen har oftast varit korrosion av olika slag.

3.3 Skador i utländska anläggningar

Baserad på tillgänglig dokumentation, producerad inom ramen för olika internationella samarbetsgrupper, främst OECD/NEA och IAEA, har en genomgång av inträffade skador internationellt gjorts och återfinns sammanställda i bilaga 3. Av denna sammanställning kan det konstateras att bilden av de rapporterade skadorna är ganska spridd. I de amerikanska anläggningarna har flest skador rapporterats, medan i de europeiska anläggningarna är omfattningen mycket mindre. Det har inte kunnat klarläggas om detta beror på att färre skador inträffat i europeiska anläggningar eller om rapporteringsbenägenheten är lägre.

3.3.1 Anläggningar i USA

I takt med att anläggningarna blir äldre börjar allt fler skador i de amerikanska inneslutningarna observeras. Dessa skador uppges i de flesta fall ha sin orsak i miljörelaterade faktorer, men även byggnadsfel och felaktigt materialval uppges som orsak till de konstaterade skadorna. Det uppges att minst 66 skador av olika slag har inträffat under årens lopp samt att en fjärdedel av alla inneslutningar har haft någon form av korrosionsskador, och att nära hälften av alla inneslutningar av betong rapporterat skador i den för- eller efterspända betongen.

Det uppges vidare att sedan mitten på 80-talet har 32 stycken korrosionsskador rapporterats. Dessa har varit i såväl tätplåt som i andra stålkomponenter vilka ingår i betongkonstruktionen. I två av de rapporterade skadefallen har korrosionsangreppen penetrerat genom tätplåten. I ytterliga fyra fall har angreppen varit av sådan grad att halva tjockleken av tätplåten lokalt har korroderat bort. Det uppges att endast fyra fall av de totalt rapporterade skadorna har upptäckts genom planerade kontroller och provningar, eller sådana vilka föregår de s.k. integrala provningarna av inneslutningen. Hela 7 stycken skador har upptäckts genom till provningar och kontroller av inneslutningen icke relaterade aktiviteter.

Förhållandet att endast en mindre andel av skadefallen upptäckts genom planerade kontroller och provningar reser frågor om de tillämpade kontrollprogrammets effektivitet och tillförlitlighet. Dessa frågor kan emellertid inte besvaras utan att studera de enskilda skadefallen.

Det bör i detta sammanhang noteras att tryckvattenreaktorerna i USA i huvudsak är av tre typer vad avser tätplåtens placering:

- Förspänd betong med tätplåten fritt exponerad på insidan av betongväggen.
- Armerad betong med tätplåten fritt exponerad på insidan av betongväggen.
- Cylindrisk eller sfärisk stålkärl som utgör själva inneslutningen.

Motsvarande uppgifter för kokarvattenreaktorerna finns inte i de tillgängliga referenserna. Emellertid är av de totalt 109 reaktorerna i drift 1997, [3], 41 stycken förspända betongkonstruktioner (prestressed concrete containment), 31 stycken armerad betong (reinforced concrete containments) och 37 stycken inneslutning av stål (steel containment). Inneslutningar med ingjuten tätplåt är enligt uppgift sällsynt förekommande i USA.

3.3.2 Övriga länder

Bland övriga länders rapporteringar över inträffade skador i inneslutningarnas konstruktioner, och som bedömts ha relevans för svenska förhållanden kan nämnas följande:

Belgien

Det finns inga nämnvärda skador i de belgiska reaktorinneslutningarna presenterade i litteraturen. Emellertid omnämns överbelastning i åtdragningsplattorna i förankringspositionerna för förspänningskablarna. Enligt vad som framgår kan på grund av de återkommande testerna en viss överbelastning ha skett i vissa komponenter här. Farhågor om att vissa komponenter tillhörande förspänningsystemet till och med kan brista i samband med de återkommande testerna nämns som en konsekvens.

Schweiz

Bland skadorna nämns korrosion i kupolens yta (PWR), sprickor i täckningsmaterial och vattenläckage från bränslebassängen.

Frankrike

De skador som finns rapporterade härrör från korrosion i den 6 mm tjocka ingjutna tätplåten och relativt stor förlust av förspänningskraften i spännkablarna. Det framgår att korrosionen av tätplåten har inträffat i huvudsakligen i två områden: längs hela omkretsen av tätplåten i den koniska väggen i närheten av den övre bottenplattan och under övergången mellan den koniska delen och den 1 m tjocka bottenplattan. I en del fall hade korrosionen penetrerat genom tätplåten och bildat 10 cm i diameter stort hål. Orsaken anges bland annat vara stagnation av vätska i testkanaler för täthetskontroller av svetsar under konstruktionen av inneslutningarna. Defekterna, som tydligen inte kunde upptäckas med de återkommande täthetsprovningarna, åtgärdades på sedvanligt sätt genom att bila och svetsa tätplåten.

England

Det framgår att man har haft problem med förspänningsanordningar, med töjda och spruckna dorn, för förspänningskablarna. Vidare har man konstaterat en vis relaxation av förspänningskraften i förspänningskablarna, men dessa uppges i stort sätt vara inom design. Enligt av vad som kan förstås av det som finns återgivet i litteraturen uppges korrosion och relaxation av förspänningslasten som de största potentiella problemen för inneslutningarna.

3.4 Diskussion kring skadeutveckling och skademekanismer

En jämförelse och bedömning av de internationellt rapporterade skadorna i reaktorinneslutningar eller andra betongkonstruktioner och relevansen av dessa för de svenska anläggningarna, bör självklart göras mot bakgrund av eventuella olikheter i konstruktion, materialkvalitet, utförande och de standarder som legat till grund för konstruktioner. Dessa kan ha en avgörande betydelse för konstruktionernas tålighet mot olika former av skador. De svenska reaktorinneslutningarna har till stor del konstruerats och byggts efter nationella standarder, till skillnad från övriga mekaniska komponenter såsom rör- och reaktortankkärlkomponenter där amerikanska normer ofta varit styrande i förhållandevis större omfattning. Detta gäller inte bara för svenska utan även för övriga västeuropeiska reaktorer. Orsaken till detta torde bero på att de amerikanska normerna för betongkonstruktioner i kärnreaktorer inte var så välutvecklade i kombination med att det nationellt fanns en gedigen erfarenhet av grova betongkonstruktioner.

En väsentlig aspekt som skulle kunna vara värd att beakta vid en jämförandestudie mellan de skador som upptäckts i svenska reaktorinneslutningarna och utländska reaktorinneslutningar är de kontroller som utförts under byggnationen. Detta mot bakgrund av att de flesta inträffade skadorna, såväl nationellt som internationellt kan hänföras till icke-konstruktionsenligt utförande. Förmågan att upptäcka denna typ av skador i efterhand förefaller vara begränsat i dagsläget. Ett alternativ skulle kunna vara att tillämpa oförstörande provningsmetoder (OFP). Erfarenheterna av dessa metoder i kärntekniska anläggningar med grova betongkonstruktioner är dock för närvarande begränsade inom landet. Detta diskuteras vidare i kap 7.

En jämförelse mellan svenska och utländska erfarenheter av skador och andra brister i inneslutningar visar även att en hel del skador inte uppdagats inom de ordinarie kontrollerna och provningarna. Närmare beskrivningar av dessa skador och hur de upptäckts saknas i det tillgängliga underlaget. Därför kan inte i dagsläget några mer långtgående slutsatser dras om vad detta betyder för ändamålsenligheten och tillförlitligheten hos de ordinarie kontrollerna och provningarna.

När det gäller skademekanismer visar den översiktliga genomgången att miljöbetingelserna i svenska inneslutningar är sådan att risken för olika miljöbetingade skador eller andra försämringar generellt sett är liten. Å andra sidan visar de inträffade skadorna att avvikelser från ritningsenligt utförande har lett skador i ett senare skede. Därför kan risken för olika skademekanismer inte enbart baseras på driftmiljöbetingelserna och den nominella konstruktionen, utan måste bedömas mot bakgrund av de rapporterade skadorna.

Ytterligare forskning och utredning behövs för att på en mer faktamässig grund bedöma skadebenägenheten hos olika delar av inneslutningen. I detta syfte har två stycken projekt kring materialfrågor initierats [43, 44]. I det ena projektet, [44], som bedrivs vid Lunds Tekniska Högskola, ingår att genomföra inledande teoretiska studier över miljöbetingande förändringsprocesser som kan påverka de använda materialen i de svenska reaktorinneslutningarna. Det andra projektet, [43], som administreras av Scanscot Technology AB, omfattar bland annat att genom uttag och genomförande av materialprovningar i reaktorinneslutningen i Barsebäck 1 få fram aktuella materialegenskaperna för de olika beståndsdelarna, som behövs för de strukturmekaniska analyserna inom CONMOD-projektet [45], och även att leverera underlag för studier inom projektet om förändringsprocesser. CONMOD-projektet beskrivs under avsnitt 4.3.

4 Identifiering av skadekänsliga delar i svenska reaktorinneslutningar

4.1 Allmänt om skadekänsliga delar i konstruktionerna

En generell kartläggning av de mest skadekänsliga snitten i inneslutningarnas konstruktion låter sig inte göras. Därtill skulle det krävas tillgång till detaljrutningar och annan konstruktionsdokumentation samt relativt omfattande arbetsinsatser, vilket faller utanför ramen för denna utredning. Vissa konstruktionsdetaljer kan dock på rent allmänna grunder och erfarenheter av konstruktioner i allmänhet pekas ut i detta avseende. Dessa är i allmänhet sådana där man har geometriska- och/eller materialmässiga diskontinuiteter. Exempel på sådana diskontinuiteter i inneslutningarnas konstruktioner utgör:

- Infästningen till mellanbjälklag.
- Övergången mellan bottenplatta och cylindriska väggen.
- Övergången mellan kupol och cylindriska väggen och.
- Genomföringar av olika slag – processrör genomföringar, el-genomföringar, personslussar etc.

Många av dessa snitt är även identifierade och bedömda i de genomgångar som industrin genomfört till följd av SKI:s cirkulärskrivelse från 1997 med anledning av då inträffade skador. Anläggningsägarnas identifiering och bedömningar av olika konstruktionsdelar framgår i de följande avsnitten. Mera detaljerade beskrivningar av deras åtgärder framgår av bilaga 2.

Andra känsliga delar kan sägas vara sådana konstruktionsdelar som är svåra eller inte åtkomliga för kontroller och provningar, och som kan befaras bli utsatta för olika skador eller andra försämringar. Sådana svårprovade delar utgör i dagsläget ingjutna element såsom tätplåt och förspänningskablar.

4.2 Tillståndshavarnas identifiering av känsliga delar

Efter de tidigare nämnda skadorna i Forsmark 1 och Barsebäck 2 med den korroderade toroiden och tätplåten gick SKI ut med ett brev till samtliga tillståndshavare att göra en inventering av potentiella hot mot integriteten och täthetsfunktionen hos inneslutningen [4]. Den begärda inventeringen avsåg en genomgång av i första hand inneslutningar och i andra hand övriga byggnadsstrukturer, och därvid inte bara beakta det ritningsenliga utförandet utan även sådana avvikelser som erfarenhetsmässigt kan förekomma, samt bedöma dessa avvikelsernas betydelse för täthet och integritet hos konstruktionerna.

SKI efterlyste vidare att anläggningsägarna för de fall där avvikelserna kunde leda till utveckling av skador på inneslutningens täthetsfunktion eller integritet skulle göra en bedömning av möjligheterna att kunna upptäcka dessa med de aktuella

kontrollprogrammen och täthetsprovningarna för inneslutningar, som tillämpades eller planerades att bli tillämpade.

Dessutom har SKI inom ramen för denna utredning inhämtat mer detaljerade uppgifter om kontroller och provningar som genomförs av inneslutningarna, utöver de som finns beskrivna i de säkerhetstekniska driftförutsättningarna (STF) för respektive kärnkraftsreaktor.

Anläggningsägarnas redovisningar av dels genomförda åtgärder efter de nämnda skadorna, dels det som inkommit med anledning av SKI:s förfrågningar har bearbetats och sammanställts mera i detalj i bilaga 2. Några slutsatser som kan dras från denna sammanställning är:

- Med anledning av skadorna i Forsmark 1 med korroderade toroiden och Barsebäck 2 med korroderade tätplåten har anläggningsägarna genomfört relativt omfattande utredningar, genomgång av ritningsunderlag och andra kontroller för att om möjligt identifiera dels eventuella avvikelser i inneslutningarnas konstruktion, dels svaga punkter i konstruktionen vilka kan behöva följas upp närmare. Emellertid varierar omfattningen och inriktningen av dessa utredningar och genomgångar hos de olika kärnkraftverken relativt stort.
- En del särskilda kontroller och provningar, utöver de ordinarie som regleras i STF, har under årens lopp genomförts. Dessa har delvis varit som en följd av de uppmaningar som SKI gått ut med till samtliga tillståndshavare efter skadorna i Barsebäck och Forsmark. Bland de större proverna kan nämnas betongprover i inneslutningen i Oskarshamn 1 och Ringhals 3 samt toroidproverna i Ringhals 1 och 2. Emellertid är många av de vidtagna åtgärderna av engångskaraktär. Att döma av det redovisade underlaget förefaller anläggningsägarna sakna ett aktivt program för att med jämna mellanrum kontrollera eller genomföra vissa provningar. Detta möjligen med undantag av Forsmark där man har presenterat ett program med uppföljningsplaner av olika identifierade åtgärder, både på kort och lång sikt.
- I en del fall har man identifierat ett antal punkter som underkastas vidare uppmärksamhet, antingen genom de ordinarie kontrollåtgärderna eller också genom särskilda uppföljningsprogram. Detta gäller speciellt Forsmark 3, där man enligt vad som framgår av det presenterade underlaget gjort den mest omfattande genomgången över tänkbara hot mot inneslutningens täta funktion och presenterat ett uppföljningsprogram.
- I övrigt kan man konstatera av den redovisning som anläggningsägarna har gjort att inga svaga punkter i inneslutningarnas konstruktion identifierats med anledning av de i SKI:s brev ställda frågorna.

Av de kompletterande underlagen enligt [37–41] framgår vidare att vissa tillståndshavare gjort nya bedömningar av svaga punkter i inneslutningarnas konstruktion. Bland dessa kan nämnas bottenplattan i Ringhals 3 och 4. Som framgått i avsnitt 2.3.3 visar hittills framkomna resultat av pågående analyser att bottenplattan kan spricka vid 6,5 bar, 1,3 bar över konstruktionstrycket respektive 1,5 bar över öppningstrycket för system 361/362.

4.3 Kommentarer kring identifiering av känsliga delar

Anläggningsägarna har i sina analyser konstaterat att det är tillräckligt med de ordinarie täthetsprovningarna och byggnadsbesiktningarna, sedan man på ett översiktligt sätt gått igenom konstruktionerna. Mot bakgrund av de inträffade skadorna och dess orsaker, vilka till största delen både nationellt och internationellt beror på avvikelser i konstruktion, tillverkning och eller montage, kan emellertid i vissa avseenden de ordinarie kontrollerna och provningarnas tillräcklighet ifrågasättas. Detta speciellt med tanke på att de globala täthetsprovningarna i de svenska anläggningarna med undantag av Forsmark, som numera genomför ett av de tre proverna per 10 år vid fullt DBA-tryck (Design Basis Accident), genomförs vid ett tryck motsvarande halva DBA-trycket. Händelsen i Forsmark med korroderade toroiden torde kunna fungera som ett tecken på att de så kallade integrala proverna vid halva DBA-trycket kan ifrågasättas, och inte är tillräckliga för att tidigt fånga upp eventuella skador i täta skalet. Om täthetsprovningarna i Forsmark 1 hade utförts vid det höga trycket hade man sannolikt upptäckt skadan långt tidigare än vad man gjort.

Att döma av det presenterade underlaget har tillståndhavarna en relativt okritisk tilltro till de integrala provernas förmåga att upptäcka vissa skador. Emellertid kan hos en del anläggningsägare konstateras att de avser att med större uppmärksamhet än hittills följa upp resultaten från de återkommande täthetsprovningarna.

Vidare är de refererade byggnadsbesiktningarna begränsade bara till synliga och åtkomliga ytor. Eventuell korrosion eller annan degradering av ingjutna komponenter, såsom armeringsjärn och tätplåt, är omöjliga att upptäcka med dessa metoder. Därför måste alternativa undersöknings- och provningsmetoder på sikt övervägas. Kompletterande redovisningar [37–41] från tillståndhavarna har bekräftat att någon övervakning av tillståndet hos de ingjutna förspänningskablarna inte sker. Det bör noteras att de amerikanska myndigheterna numera föreskriver betydligt mera noggranna byggnadsbesiktningar, i och med nya hänvisningar i 10CFR55a, [5].

Händelsen i Barsebäck 2 med den s.k. Pluggen visar återigen svårigheterna med att i efterhand, genom utredningar och genomgångar av ritningsunderlag, upptäcka eventuella avvikelser i konstruktionen.

Med tanke på arten av en del av de inträffade och rapporterade skadorna, vilka haft sin orsak i olika konstruktionsavvikelser, och det faktum att de inte upptäckts förrän hål bildats i täta skalet, tyder på behovet av alternativa kontroll- och provningsmetoder. Detta dessutom med tanke på att de ordinarie byggnadsbesiktningarna är begränsade till synliga och åtkomliga ytstrukturer. Det finns starka begränsningar i dagens kontroller och provningar för att i tid upptäcka pågående skador i ingjutna element, väsentliga antingen för den strukturmekaniska bärförmågan eller tätfunktion hos inneslutningen. Exempel på denna typ av element är ingjutna förspänningskablar, vilka är högst väsentliga för integriteten hos inneslutningen.

Långtidsfenomen såsom krypning och krympning av betong och relaxation av förspänningskablarna adresseras inte i de presenterade utredningarna från anläggningsägarna. Dessa fenomen är speciellt viktiga att få ökad kunskap om för de inneslutningar vilka har ingjutna förspänningskablar.

Inte heller adresseras betongstrukturers påverkan av höga drifttemperaturer. Lokalt kring genomföringar för primära processrör kan temperaturer över 174°C förekomma. I sådana snitt kan betongmaterialets hållfasthet med tiden bli nedsatta.

Tillståndshavarna drar slutsatsen att förutsättningarna för miljöbetingade skador eller andra kemiska försämringar av inneslutningens komponenter antingen saknas, eller också genom direkta eller indirekta kontroller och provningar upptäcks. Emellertid förutsätter de därvid att inga avvikelser finns i konstruktionen. Detta kan emellertid mot bakgrund av inträffade händelser inte uteslutas.

Med tanke på en del ovanstående frågeställningar är SKI tillsammans med de svenska anläggningsägarna medfinansier till ett EU-projekt, som går under beteckningen CONMOD, [45]. Detta projekt syftar till att med hjälp av strukturmekaniska analyser och OFP-metoder ta fram en metod för bedömning av tillståndet hos en typisk inneslutning liknande den som finns i Barsebäck 1. Studierna i fråga, som genomförs för inneslutningen i Barsebäck 1, omfattar även att beakta skadeerfarenheter vid analyser av svaga konstruktionsdelar, liksom att testa vissa OFP-metoder i fält. Än så länge har endast en första omgång av de planerade strukturmekaniska analyserna genomförts. Dessa är baserade på nominell konstruktion av inneslutningen. Utvärderingen av dessa liksom de ytterligare planerade strukturmekaniska analyserna är planerade bli klara under närmaste året. Projektet har utvidgats med materialprovningar, [44], för att bland annat få fram aktuella mekaniska materialegenskaper, som behövs i de slutliga strukturmekaniska analyserna.

5 Hot mot inneslutningens integritet vid rörslag

Inneslutningens funktion är bland annat att under svåra haverier förhindra utsläpp av olika radioaktiva ämnen. Ett sådant haveri är till exempel ett stort rörbrott i primärsystemet innanför inneslutningen. I händelse av ett rörbrott kan dels rörslag, dels andra laster såsom flödeslaster uppstå. Dessa laster beror av bland annat rördimensionen och övriga konstruktioner såsom rörbrottsförankringar som mer eller mindre kan mildra effekten av rörslaget. Dessa laster kan i sin tur och i värsta fall tänkas ge upphov till andra sekundära laster, såsom missiler, som kan vara lika allvarliga ur säkerhetssynpunkt.

För att identifiera eventuella hot mot inneslutningsfunktionen har en separat utredning genomförts [6]. I utredningen har samtliga reaktorinneslutningar för kokarvattenreaktorerna i landet studerats med hänsyn till rörslag vid brott i huvudmatarvatten- och ångledningssystemet. Utifrån detaljritningar på rörsystem och andra komponenter har s.k. sammanställningsritningar upprättats. Från dessa kan slutsatser om i vilka snitt ett rörbrott resultera i direkta slag mot inneslutningens innervägg. Slutsatsen i utredningen är att det finns ett flertal olika ställen i varje inneslutning som kan drabbas av direkta rörslag. Det bör därvid särskilt noteras att i Ringhals 1 och Oskarshamn 1 kan direkta slag mot oskyddade täthetsplåten i den koniska delen av den s.k. dry-wells övre del erhållas.

Vid bedömning av dessa ställen har hänsyn till funktionen av rörbrottsförankringar tagits. Det har därvid antagits att varje rörbrottsförankring fungerar på avsett sätt, nämligen hindra och mildra effekten av rörslaget. Dock har i genomgången hänsyn till att eventuellt andra rörsystem eller andra komponenter som kan finnas i vägen för rörslaget mot inneslutningsväggen inte beaktats. Vidare har i utredningen rörslag mot genomföringsområdet, vilket utgör rörsträckan mellan inre och yttre skalventilen, inte studerats på grund av mängden av sådana genomföringar.

En väsentlig aspekt är därför att på ett systematiskt sätt undersöka vilka hot som kan finnas och uppkomma mot inneslutningen och dess täthetsfunktion vid olika situationer, däribland i utredningen, [6], identifierade direkta rörslag och jetstrålekrafter.

5.1 Värderingsmetoder av rörslags- och missillaster

I den mån hänsyn till rörslags- och missillaster tagits vid den ursprungliga konstruktionen av inneslutningarna har de använda analys- och utvärderingsmetoderna varit baserade på relativt förenklade empiriska samband. Detta till exempel för Forsmarks inneslutningar, [6]. För att få en närmare uppfattning om de beräkningskriterier som då, vid tiden för konstruktionen av de svenska inneslutningarna, kan ha tillämpats har därför ytterligare en separat utredning genomförts [7].

I denna utredning har olika typer av missillaster och rörslag och de traditionella beräkningsmetoderna för utvärdering av dynamisk verkan mellan dessa och träffade

strukturer gått igenom. Därvid gjorda förenklingar och dess möjliga effekter har beskrivits. Vidare har de mera moderna sätten att beakta samma typ av fenomen översiktligt presenterats och osäkerheterna i dessa berörts.

En slutsats från denna utredning är att de mer traditionella beräkningsmetoderna, vilka baseras på relativt enkla empiriska samband uppställda utifrån ballistiska försök inom militärindustrin, är behäftade med vissa begränsningar och osäkerheter. Detta speciellt för komplexa strukturer. En ytterligare slutsats som dras i utredningen [7] är att de flesta av dessa brister numera kan elimineras med de moderna beräkningsmetoderna, vilka bygger på datorbaserade numeriska beräkningsmetoder (FEM). De FEM-baserade beräkningsmetoderna ger dessutom på ett mera adekvat och integrerat sätt effektiva möjligheter att studera rörlag mot strukturer. Emellertid påpekas att de nya beräkningsmetoderna behöver i vissa avseenden verifieras mot experiment. Vidare påpekas i utredningen att antagandena om tidsförloppet hos det brutna röret och materialmodellen för betongarmerade strukturer behöver studeras närmare.

Mot bakgrund av de begränsningar som finns i de traditionella beräkningsmetoderna och vars verkan är svårbedömda är det motiverat med nya verifierande analyser med mer moderna metoder. Detta för att förvissa sig om att det fortfarande föreligger tillräckligt konservativa resultat ur säkerhetssynpunkt i de fall rörlag eller missiler skulle kunna göra ett allvarligt hot mot en för säkerheten väsentlig komponent.

5.2 Krav enligt SAR

I samband med ett tidigare arbete angående rörbrottsskydd [8] kunde det konstateras att i SAR fanns med vissa undantag⁶ krav på att effekterna till följd av rörlag och missiler skall omhändertas. Det kunde vidare konstateras att det emellertid inte framgick hur och i vilken omfattning dessa skulle beaktas. Inte heller finns, av vad som är känt fram till idag, någon samlad redovisning från respektive anläggning i vilken omfattning dessa aspekter har studerats och vilka risker som eventuellt har identifierats på grund av missiler eller rörlag eller vilka åtgärder vidtagits för att eliminera eventuellt identifierade risker. Detta är speciellt viktigt med tanke på de brister som identifierats i de beräknings- och värderingsmetoder som användes vid de ursprungliga analyserna av rörlags- och missileffekter.

⁶ Vid tidpunkten för det refererade arbetets genomförande skulle frågan om rörlag mm för Oskarshamn 2 och Barsebäck1/ 2 adresseras inom BOKA-projektet, vilket pågick för tillfället.

6 Program och metoder för kontroller och provningar

I syfte att klarställa vilka kontroller och provningar som anläggningsägarna utför av inneslutningen har dels STF och SAR gått igenom. Kontroller och provningar av inneslutningen och dess konstruktionsdelar indelas i denna utredning enligt följande:

- Föreskrivna kontroller och provningar. Dessa utgör de återkommande täthetsprovningarna av inneslutningen, globala och lokala sådana, visuella byggnadsinspektioner samt kontroller och provningar av icke-ingjutna förspänningskabelsystem. Dessa finns med vissa få undantag beskrivna i STF eller SAR för respektive reaktorinneslutning.
- Övriga kontroller och provningar enstaka eller fast återkommande som anläggningsägarna genomför.

Nedan berörs främst de föreskrivna kontrollerna och provningarna. Med undantag av frågan om instrumenteringar och provnings- och testkanaler berörs inte de övriga kontrollerna och provningarna, vilka har behandlats i tidigare kapitel.

6.1 Återkommande kontroller av inneslutningar

6.1.1 Täthetsprovningar

Inneslutningens täthet med genomföringar och skalventiler verifieras med jämna mellanrum genom tryckprovningar. Provningsmetodik, frekvens och omfattning, vilka regleras i respektive anläggnings STF, är ursprungligen baserad på det amerikanska regelverket, option A i appendix J tillhörande 10CFR50 [9]. Enligt dessa bestämmelser och underliggande dokument skall täthetsprovningarna för de olika komponenterna generellt ske efter förutbestämda tidsintervaller. Till exempel skall reaktorinneslutningen (provtyp A) provtryckas med avseende på täthet tre gånger jämt fördelat på tio år. Genomföringar (provtyp B) och skalventiler (provtyp C) skall enligt baskravet provtryckas i samband med öppning eller minst en gång på två år. Slussar (provtyp B) skall provtryckas med 6 månaders intervaller eller i samband med varje öppning.

I mitten på 90-talet kompletterade den amerikanska tillsynsmyndigheten NRC dessa bestämmelser med en ny option, option B, enligt vilken det medges att tillståndsbaserade provningsintervaller får tillämpas. Detta innebär att hänsyn tas till läckagehistoria och benägenhet till läckage hos komponenten i fråga. För till exempel provtyp A (integral provning av inneslutningen) medger option B att provintervallet, under förutsättning att två på varandra följande prover visat godkända resultat, kan förlängas till 10 år. För provtyp C kan provperioden efter två på varandra följande godkända prover förlängas till 60 månader. Sålunda är option B baserad på det historiska tillståndet hos komponenten. Provfrequensen för varje komponent och anläggning blir därmed specifik.

Till grund för option B ligger fördjupade riskanalyser. Inför dess antagande utfördes ett antal probabilistiska säkerhetsanalyser för ett antal typiska amerikanska anläggningar, [10]. I dessa studier beaktades bland annat risken för omgivningen i händelse av en ökning av tillåtet läckage från inneslutningen.

Fördelarna med option B är bland annat mindre provningsomfattning och därmed mindre risk för persondoser.

En tillämpning av option B ställer dock relativt sett större krav på analyser, insamling och lagring av data. En viktig del i analysen är framtagning av läckagetrender för den enskilda komponenten för bestämning av kommande provintervall av densamma. En ytterligare skillnad mellan option A och B är att vid tillämpningen av option B skall proven ske vid så realistiska förhållanden som möjligt. För till exempel inneslutningen innebär det att provtrycket skall vara det som uppstår vid s.k. Design Basis Accident (DBA). I option A tillåter man ett provningstryck som är hälften så stort.

Enligt det övergripande regelverket [11] tillåts att option A och B tillämpas parallellt i en anläggning för de skilda provtyperna. Provningsmetodiken för de olika proverna är densamma i de båda optionerna.

6.1.2 Tillämpade intervaller för täthetsprovningar

Flera av de svenska anläggningarna har ansökt om att delvis gå över till option B. De tillståndshavare som ansökt därom är Forsmark 1–3, Ringhals 1–4, och Oskarshamn 3 [12–15]. Hittills har SKI i princip tillåtit att option B tillämpas för provtyp C (skalventiler) fullt ut. För provtyp B (genomföringar och slussar) har dock en övre gräns på 4 år satts. För provtyp A har den nya optionen inte tillåtits i någon anläggning ännu. SKI har i sina beslut gjort bedömningen att 10 år mellan provintervallerna för provtyp A och B skulle vara en alldeles för lång tid, under vilken eventuella korrosionsskador och andra försämringar skulle kunna fortgå utan upptäckt.

De tidigare nämnda händelserna som inträffade i Forsmark 1 och Barsebäck 2, visar på betydelsen av relativt täta provtryckningsintervall. Vidare visar samma händelser att den hittills tillämpade nivån på provningstryck, halva DBA-trycket, torde kunna ifrågasättas, eftersom dessa skador inte upptäckts vid tidigare provningar. Rimligtvis bör, utan att överskrida designtrycket och därmed eventuellt ge upphov till kvarstående skador i betongen och övriga komponenter, möjligheterna för att upptäcka eventuella defekter i inneslutningen öka vid ökat provningstryck.

Forsmark 1, 2 och 3 har numera i samråd med SKI bestämt att genomföra ett av de tre proverna på tio år vid högre tryck motsvarande DBA-trycket. Övriga anläggningar tillämpar ett lägre provtryck i enlighet med option A vid alla provtillfällen.

Allmänt sett bör förutsättningarna för att utföra typ A-prov i vid ett högre tryck ses över i de övriga anläggningarna. Detta för att dels mera återge de realistiska förhållanden, dels på ett mera effektivt och säkrare sätt upptäcka eventuella defekter liknande de nämnda med korroderade toroiden respektive tätplåten. När bland annat utvärderingen av provningarna vid det högre trycket i Forsmark blir klara kan kraven för provningstryckning ses över.

Typ B- och C-prov

Som framgått ovan har SKI gett sitt godkännande för att industrin skall få tillämpa option B. För skalventiler har detta medgetts utan begränsningar, medan för genomföringar och slussar har en övre gräns på 4 satts. I besluten [12–15] har SKI dock påpekat att industrin bör utforma sina provningsprogram på sådant sätt att ett representativt urval av varje typ⁷ av komponenter (skalventiler, genomföringar och slussar) täthetsprovas oftare än de maximala gränserna, samt att det är viktigt att provningsprogrammet är sådant att eventuella skador, som kan påverka tätheten hos en komponent upptäcks och åtgärdas i god tid innan de leder till allvarliga konsekvenser. Provningsprogrammet bör vidare även innehålla klara riktlinjer för utökad kontrollomfattning då degraderingar konstaterats i en viss kategori av komponenter vid de begränsade kontrollerna.

Kommentarer kring täthetsprovningmetoder

SKI har ännu inte gjort någon mer ingående bedömning av de enskilda provningsmetoderna som tillämpas för täthetsprovning av de olika komponenterna. När det gäller de integrala proverna är en viktig parameter den så kallade stabiliseringstiden innan mätning av olika parametrar påbörjas och hålltiden under vilken mätningarna genomförs. Tillämpligheten av stabiliseringstiderna och hålltiden, som anges i det amerikanska regelverket och som används i de svenska anläggningarna, bör framledes bedömas särskilt med tanke på att konstruktionen av inneslutningarna i de svenska anläggningarna skiljer sig åt från de amerikanska vad beträffar material och konstruktiva utformning. Enligt vad som framgår av den sammanställning som gjorts gällande utländska erfarenheter är de amerikanska inneslutningarna utformade på det sättet att tätplåten sitter antingen på ytan av den inre betongväggen eller så är den utformad som en från betongen helt fristående tryckkärl. Den nämnda amerikanska normen torde vara framtagen med hänsyn till denna typ av konstruktioner, där tätplåten inte är belagd med ett inre betongskikt. Eftersom de svenska inneslutningarna är konstruerade med ingjuten tätplåt, kan det tänkas att stabiliseringstider behöver vara längre på grund av betongens responstider för trycksättningar jämfört med stål. Därtill har det framkommit av de kompletterande underlagen [37–41], som tagits in för denna utredning, att en del anläggningar ej tillämpat normenliga mät- och stabiliseringstider. De av kärnkraftverken tillämpade tider finns återgivna i bilaga 2.

Annan viktig parameter är, förutom de mättekniska aspekterna, omtolkningen och extrapolationen av mätvärden genomförda vid ett lägre tryck i inneslutningen till motsvarande enheter vid ett högre tryck, vid vilken tillåtna gränsvärden på läckage är definierade.

När det gäller de globala täthetsprovningarna så har en del inneslutningar täthetsprovats både vid halva och fulla DBA-trycket under årens lopp. I samband med de första täthetsprovningarna, vilka skedde före nukleära drifttagningen, togs tryckreferensnivåer för framtida täthetsprovningar. Vid de efterföljande täthetsprovningarna har i allmänhet lägre tryck, motsvarande ca halva DBA-trycket tillämpats. För att bilda sig en

⁷ Med avseende på konstruktion, funktion, miljö och övriga laster, vilka kan påverka komponentens täthet negativt.

uppfattning om relevansen av de prover vilka genomförs vid det låga trycket, skulle det vara värdefullt att studera och jämföra läckagen från proverna genomförda vid de olika trycken. Tillåtna läckage är enligt normen nämligen endast definierad vid fulla DBA-trycket. När provning sker vid lägre tryck extrapoleras således läckageraten. Osäkerheterna kring detta bör studeras.

6.1.3 Täthetsprovningar internationellt

Uppgifter om de återkommande kontrollerna av inneslutningarna i andra länder är sparsamt förekommande i tillgängligt underlag. Därför har det inte varit möjligt att inom ramen för denna utredning göra mera ingående beskrivningar av vad som gäller internationellt beträffande återkommande kontroller, såsom täthetsprovningar och visuella inspektioner. Det är dock klart, [16–17], att det både genomförs täthetsprovningar och visuella kontroller. Täthetsprovningarna kan variera nationellt, men till grund för dessa ligger de amerikanska bestämmelserna enligt appendix J i 10CFR50. Däremot är det mindre känt i vilken omfattning den relativt nya tillståndsbaserade optionen, option B, i appendix J fått acceptans i olika länder. I Frankrike förefaller man ha haft tio års provningsintervaller när det gäller de globala täthetsprovningarna till och med innan tillkomsten av option B. I USA kan man utgå ifrån att den tillämpas i relativt stor omfattning. Som framgått tidigare tillåter den tillståndsbaserade optionen, option B, under vissa villkor betydligt glesare provningsintervaller än option A. För övrigt är det samma provningsförfaranden och acceptanskriterier som gäller vid de båda optionerna.

6.1.4 Övrig kontroll och provning av inneslutningar i Sverige

Utöver de ovan nämnda täthetsproverna genomförs även visuella kontroller av reaktorinneslutningarnas byggnad. De kontroller som anläggningsägarna i Sverige tillämpar förefaller vara utförda enligt den gamla bestämmelsen i appendix J till 10CFR50 [9].

För att upptäcka eventuella tecken på mekanisk försämring som antingen kan påverka inneslutningens mekaniska integritet eller täthet skall enligt dessa bestämmelser en allmän visuell kontroll av åtkomliga inre och yttre ytor av inneslutningens byggnader och komponenter utföras före varje typ-A-provning. Innan provningarna genomförs skall eventuella försämringar åtgärdas först. Närmare beskrivningar av metoder och omfattning av hur dessa okulära kontroller skall genomföras anges dock inte i de nämnda bestämmelserna. Dock framgår av den genomgång som gjorts av anläggningsägarnas redovisning att vissa av dem utför kontrollerna enligt program och instruktioner, som skulle kunna vara ett tillägg till appendix J. Till exempel har Barsebäck uppgett att man använder sig av strålkastare, hammare, mejsel, mätverktyg, ritningar och föregående besiktningsprotokoll. Det bör upprepas att i appendix J endast säges generellt att sådana inspektioner skall genomföras. Således anges ingen vägledning för hur inspektioner skall utföras i appendix J.

En mer ingående genomgång och bedömning av program och andra instruktioner som anläggningsägarna tillämpar för byggnadsbesiktningar bör göras mot bakgrund av dels de inträffade skadorna nationellt och internationellt, dels motsvarande program och

andra normer som tillämpas internationellt. Frågan om att genomföra byggnadsbesiktningar enligt mer etablerade normer, till exempel den reviderade amerikanska enligt nedan, bör diskuteras vidare.

6.1.5 Övriga kontroller och provningar av inneslutningar internationellt

I det amerikanska regelverket reglerades fram till 1996 de visuella kontrollerna av inneslutningar genom kraven i appendix J till 10CFR50, [9]. I takt med tilltagande antal skador i de amerikanska inneslutningarnas konstruktion, vilka översiktligt berörts ovan och mer ingående behandlas i bilaga 3, gjorde NRC 1996 ett tillägg till 10CFR55a, i vilken det föreskrivs att de visuella kontrollerna och andra byggnadsbesiktningar av inneslutningarna och dess olika delar skall med vissa tillägg genomföras enligt ASME-XI, subsection IWE-Requirements for class MC⁸ and metallic liners of class CC⁹ components of light water reactor och IWL- Requirements for class CC concrete components of light water reactor från 1996 års utgåva. NRC har ställt krav på anläggningsägarna att komplettera kontrollerna av inneslutningarna enligt det nya regelverket senast september 2001

I IWE och IWL ges betydligt mer detaljerade anvisningar för kontroller och provningar jämfört med vad det ges i appendix J.

Subsection IWE berör metalliska inneslutningar, medan section IWL gäller betongreaktorinneslutningarna liknande de som finns Sverige. En av de väsentliga skillnaderna mellan amerikanska och svenska inneslutningar av betong är att de svenska uteslutande har inbäddad tätplåt.

I subsection IWL anges omfattning, frekvens, riktlinjer och acceptanskriterier för de visuella kontrollerna. Dessutom anges bl.a. kriterier för reparationer och utbyte av skadade betongstrukturer. Av paragraf IWL-200 Examination and Inspection framgår bland annat att generella visuella kontroller av betongytor skall genomföras i tillräcklig detaljeringsgrad för att kunna identifiera eventuella degraderingar och skador, vilka närmare beskrivs i ACI 201.1R [19] och att mera detaljerade kontroller av misstänkta ytor genomförs för att kunna bestämma magnitud och omfattning av eventuella försämringar av betongstrukturer. ACI 201.1R, American Concrete Institute, som det hänvisas till i IWL, är ett vägledningsdokument för fastställande av tillståndet hos betongstrukturer. Den innehåller konstruktionsmässiga faktorer och förhållanden som man bör beakta vid kontrollerna samt en beskrivning av typiska degraderingar och skador som kan förekomma i en betongkonstruktion.

En central formulering i IWL är att kontrollerna skall genomföras under ledning av en fackman med erfarenheter av värdering av betongkonstruktioner, goda kunskaper i konstruktionsanalyser, van att tolka normer och kriterier för betongstrukturer i kärnkraftverk, samt att erforderliga krav på kvalifikationer hos besiktningspersonal skall vara definierade. Vidare ställer IWL relativt ingående krav på dokumentation såsom att det skall finnas instruktioner och procedurer för kontrollerna samt att resultatet från dessa skall dokumenteras på ett systematiskt sätt.

⁸ MC står för metal containment

⁹ CC står för concrete containment

Den amerikanska kärnkraftsindustrin har via EPRI tagit fram ett stödprogram för att uppfylla de nya kraven från NRC [20]. Programmet, vilket går under benämningen Concrete Structures Aging Reference Manual – A Structure Condition Assessment Tool, COSTAR, fokuserar på identifiering och värdering av inträffade degraderingar och skador på en anläggning, dokumentering, erfarenhetsåterföring etc. Programmet innehåller ett antal datorbaserade moduler, bland annat en med referenser av typiska och kända degraderingar och skador och en modul med möjlighet att göra en värdering av den berörda strukturen i anläggningen.

Övriga länder

I Belgien har man enligt vad som sammanställts i bilaga 3 om internationella erfarenheter och skador reviderat sina kontroll- och provningsprogram för att ta hänsyn till kraven i ASME-XI (1992), subsection IWE och IWL. Enligt vad som kan tolkas av tillgängligt underlag tillämpar även England de berörda reglerna i ASME-XI för inspektioner. I Schweiz har man tagit fram ett eget program som anger omfattning, inriktning, kontroll och provningsmetoder samt frekvens för kontroller och provningar. De övriga ländernas inspektionsprogram för inneslutningarna har inte kunnat klarläggas inom ramen för detta uppdrag.

6.1.6 Kontroller av förspänningskabelsystem

Sverige

Samtliga reaktorinneslutningar i Sverige är både horisontellt och vertikalt förspända i den cylindriska delen av konstruktionen. Inneslutningarna i Ringhals 2, 3 och 4 är även förspända i kupolen.

Som framgått tidigare är förspänningskablarna i Ringhals 2, 3, 4 och Forsmark 1, 2 och 3 ej ingjutna. Dessa löper i foderrör med korrosionshämmande medel i eller torrluftsventilerade. När det gäller förspänningskablarna i de övriga reaktorerna, Ringhals 1, Barsebäck 2 och Oskarshamn 1–3 är de fastgjutna. Närmare beskrivning av förspänningskabelsystemet i de olika inneslutningarnas konstruktion redovisas i bilaga 1.

I fråga om vilka särskilda kontroller och provningar som utförs av spännkablar i de olika anläggningarna framgår av STF och SAR för Ringhals 2, 3 och 4 att spännkabelsystemet kontrolleras styckvis återkommande. Sådana kontroller består av uppmätning av förspänningskraft, okulärbesiktning av förankringsdetaljer samt undersökning av injekteringsfettet och korrosionsförekomst i trådarna genom att dra ut dessa. Vidare sker visuell kontroll av betongen runt kabelförankringarna med avseende på eventuella sprickningar.

När det gäller Forsmark 1, 2 och 3 framgår dels av SAR, system 142, kap 8, dels av det kompletterande underlaget, [39], att regelbundna inspektioner av spännkabelsystemet genomförs. Det står att linor skall tas ut och testas enligt särskilt program. Programmet

finns dock inte redovisat i underlaget, men av [39] framgår att styckvisa kontroller görs med 5 års intervaller.

För reaktorerna Ringhals 1, Oskarshamn 1–3 och Barsebäck 2 framgår av det kompletterande underlaget att inga kontroller och provningar genomförs av förspänningskabelsystemen.

USA

Kontroller i USA av förspänningskabelsystem regleras i Regulatory Guide (RG) 1.90, Inservice Inspection of Prestressed Concrete Containment Structures with Grouted Tendons - rev 1 - 08/1977 [21] och 1.35, Inservice Inspection of Ungouted Tendons in Prestressed Concrete Containments - rev 3 - 07/1990 [22]

I RG 1.90 regleras kontroller och mätningar av fast injekterade förspänningskablar i inneslutningen. Enligt denna ges två olika alternativ för montering av tillståndet i spännkablar. Det första går ut på att mäta förspänningen i kablarna genom strategiskt placerade mätgivare av olika slag såsom töjningsgivare, spänningsmätare (stress meters) och lastgivare (load indicators). Det andra alternativet går ut på att övervaka deformationer i den förspända betongen under vissa givna tryckbelastningar.

När det gäller icke-fast injekterade förspänningskablar, sådana som ligger i foderrör med korrosionshämmande medel och är åtkomliga för kontroller och byte, regleras kraven på återkommande kontroller i RG 1.35, som reviderats så sent som 1990. Enligt denna utföres styckvisa kontroller av kablarna, 21 stycken totalt under de tre första kontrollerna – 10 i omkretsled, 5 i vertikalled och 6 i kupolen under de första tre inspektionerna –, och totalt 9 stycken, 3 i omkretsled, 3 i vertikalled och 3 i kupolen, under de efterföljande inspektionerna. I guiden regleras även kontroller av förankringsplattorna till förspänningskablarna, kontroller av infettningsmedlet, tester av materialegenskaper i kablarna och visuella inspektioner av betongen.

I samband med utgivandet av senaste revisionen av RG 1.35 utkom RG 1.35.1, Determining Prestressing Forces for Inspection of Prestressed Concrete Containments-07/1990, i vilken det mera i detalj framhävs de faktorer som man bör beakta vid olika analyser och bedömningar av bland annat förspänningslasten i kabelsystemet.

6.2 Testkanaler för genomföringar och svetsar i tätplåten

Av sammanställningen enligt bilaga 1, om konstruktioner, framgår att tätplåten i vissa inneslutningar i den cylindriska väggen försågs med testkanaler. Enligt det kompletterande underlaget sker i Ringhals 2–4 provtryckning av dessa i samband med de integrala täthetsproverna. I Ringhals 1 finns sådana kanaler men någon täthetsprovning av dessa sker inte [40]. För Formark 1 och 2 uppges att testkanaler finns men i huvudsak för endast läckagekontroll av genomföringar [39]. För Formark 3 uppges testkanaler finnas för samtliga svetsar i tätplåten, men att dessa används bara för felsökning om de integrala proverna visar på svagheter. När det gäller inneslutningarna i

Oskarshamn 1–3 och Barsebäck 2 finns enligt det kompletterande underlaget [37, 38, 41] inga testkanaler för provning av svetsar i tätplåten.

I samtliga inneslutningar finns provkanaler för täthetsprovningar av genomföringar. Dessa används vid de återkommande lokala täthetsprovningarna.

6.3 Instrumentering nationellt och internationellt

Det framgår av den sammanställning som gjorts enligt bilaga 1 om konstruktioner att i samband med de första provtryckningarna och täthetsprovningarna av inneslutningen installerades en del instrumentering för att bland annat mäta deformationen i inneslutningens konstruktion. Av det kompletterande underlaget, [37–41], framgår att den mät- och övervakningsutrustning som används idag är de för övervakning av temperaturer globalt och i vissa lokala positioner såsom kring processgenomföringar. Det framgår inte om det sker någon annan övervakning av inneslutningarnas tillstånd.

Internationellt, till exempel i Belgien, förefaller övervakningsutrustning användas i relativt stor omfattning för att dels verifiera tillståndet hos inneslutningen, dels kartlägga förekommande belastningar. I Frankrike förefaller mätningar av deformationer användas för att förutsäga relaxationen av förspänningen hos spännkablarna. Denna typ av mätningar förefaller vara framkomliga och utgöra alternativa metoder eller kompletterande metoder till OFP, för att förvissa sig om statusen hos förspänningskabelsystemet.

Av de svenska anläggningarna har Forsmark, se bilaga 2, i sina genomgångar av konstruktionen berört frågan om instrumentering, men då endast för att mäta temperaturlasten i inneslutningen.

6.4 Slutsatser och kommentarer kring kontroller och provningar

Av den genomgång som gjorts ovan gällande de återkommande kontrollerna – globala- och lokala täthetsprovningar och visuella inspektioner av inneslutningarna, kan följande konstateras:

- I takt med att fler skador av olika slag har upptäckts i inneslutningarna har internationellt en ökad uppmärksamhet riktats mot kontrollernas omfattning, frekvens och inriktning. Den amerikanska tillsynsmyndigheten har skärpt reglerna för kontroller av inneslutningarna. Av fördiskussionerna till de nya reglerna i USA att döma har dessa tillkommit på grund av dels ökade antal skador, dels att man vid tidigare kontroller inte upptäckt en del av dessa händelser som man rimligen borde ha upptäckt. Bland övriga länder, som har utvidgade kontrollregler jämfört med de svenska anläggningarna kan nämnas Belgien och Schweiz.
- Internationellt tycks instrumentering för att mäta deformationer och belastningar i inneslutningarnas konstruktion vara vanligt förekommande. Instrumentering kan vara ett effektivt sätt för att mäta vissa globala parametrar såsom förspänningslasten

i förspänningskabelsystemet. I Sverige förekommer inte motsvarande instrumenteringar.

- Utförandet av täthetsprovningarna av inneslutningar har förutom i USA inte varit möjliga att kartlägga med någon större precision internationellt. I USA har man sedan en tid gått över till tillståndsbaserade provningar, option B i appendix J tillhörande 10CFR50. Provningsmetoderna som sådana är oförändrade i den nya optionen, men provningsfrekvensen kan under vissa villkor göras betydligt glesare, från 3 till 10 år. Denna liberalisering av provningsintervaller står inte i konsekvens med de tilltagande rapporterade händelserna i form av olika skador i inneslutningarna. Å andra sidan utförs dessa täthetsprover vid fullt DBA-tryck. I Sverige har SKI fram till idag inte gett godkännande för tillämpning av de nya reglerna när det gäller de integrala provningarna av inneslutningen, men däremot när det gäller s.k. typ B- och C provningar gällande genomföringar respektive skalventiler för vissa anläggningar som sökt om att tillämpa dessa.
- Som framgått tidigare i avsnittet om internationella skador, finns det uppgifter på att skador inte upptäckts i samband med de integrala täthetsprovningarna.
- I Sverige har vissa inneslutningar vid konstruktionen försetts med provtryckningskanaler i tätplåten. Dessa, vilka ursprungligen är avsedda att provtryckas med jämna mellanrum, kan utgöra ett effektivt sätt för att upptäcka eventuella läckage i tätplåtens svetsar.
- Vid en jämförelse av berörda normer förefaller en väsentlig skillnad mellan ingjutna förspänningskabelsystemens utformning i de svenska inneslutningarna och de motsvarande amerikanska vara att de senare är försedda med testkablar för kontroller och provningar.

7 Oförstörande provningsmetoder för betongkonstruktioner

7.1 Allmänt

Som framgått ovan har en del av de skadorna som observerats i reaktorinneslutningar inte upptäckts via de ordinarie kontrollerna. För konstruktionselementen som är inbäddade i betongen är de ordinarie kontrollerna såsom visuella inspektioner och täthetsprovningar inte tillämpbara. Sådana inbäddade element är för svenska förhållanden bland annat tätplåten, ingjutna förspänningskablar och armeringsjärnet. I takt med att anläggningarna blir äldre kan tillståndet i dessa behöva undersökas mer ingående. Dessa behov har även identifierats av OECD/CSNI-arbetsgrupp för betongfrågor, [27]. I det följande redovisas översiktligt möjliga och tillämpbara oförstörande provningsmetoder (OFP) för betongkonstruktioner.

7.2 OFP-metoder och deras tillämpbarhet

Det finns flera OFP metoder som används för kontroll av betongkonstruktioner inom andra industrier, exempelvis för kontroll av betongbroar, byggnader, tunnlar, rampar o.s.v., [28–36]. Inom det kärntekniska området är erfarenheterna av användning av OFP-metoder begränsade vilket till största delen beror på den allmänna tron att de av regelverket föreskrivna kontrollerna är tillräckliga. Man börjar dock inse att täthetsprovningarna och visuella inspektioner har begränsad förmåga att detektera de skador som finns i anläggningar sedan byggtiden likväl som de eventuella materialdegraderingarna p g a åldringsprocesser. Detta gäller i högsta grad den inbäddade tätplåten och de injekterade spännkablarna. Sådana skador kan emellertid upptäckas med OFP-metoder. Annat som OFP-metoder kan användas för är:

- Att bestämma betongens egenskaper som likformighet, hållfasthet, brottseghet etc.
- Att detektera och storleksbestämma sprickor i betongens yta.
- Att detektera och storleksbestämma zoner där vidhäftningen mellan armering och betong eller tätplåten och betong har släppt.
- Att detektera och karakterisera korrosionsskador i slakarmeringen, tätplåten och spännarmeringen.
- Att bestämma spännkraften.
- Att detektera brott i spännkablarna.
- Att lokalisera slakarmering och spännarmering.
- Att kontrollera fundamentets rörelse och stabilitet.

Olika OFP-metoder kan användas för ett och samma ändamål. Vid val av en specifik metod bör man väga in aspekter på vilka radioaktiva doser som provningspersonal ackumulerar under provningen samt kostnader för provningens förberedelser och genomförande. En OFP-metod som kan användas för kontinuerlig övervakning i stället för återkommande provning är fördelaktig då den reducerar personalens närvaro i radioaktiv miljö.

En kortfattad beskrivning av de olika OFP-metoderna och deras användningsområde görs nedan.

Schmidt studshammare kan användas dels för indirekt bestämning av betongens hållfasthet, dels för bedömning av betongens likformighet inom konstruktionen. Metoden är snabb, enkel och effektiv, vilket har gjort den mycket populär för provning av betongkonstruktioner. Metoden grundas på ett samband mellan hammarens reboundvärde och betongens ythårdhet, vilket med hjälp av empiriska formler kan räknas om till hållfasthet. Till metodens nackdelar hör att det värde man erhåller på hållfasthet gäller lokalt där mätningen utfördes, metoden är således ej lämplig för global inspektion av konstruktionen. Innan provningen måste betongens yta förberedas och slipas vilket är tidskrävande och leder till ackumulering av dos om provningen sker i radioaktiv miljö. Det erhållna hållfasthetsvärdet gäller egentligen för betongens ytskikt och kan skilja sig väsentligt från betongens egenskaper längre in i volymen.

En annan metod som kan användas för bestämning av betongens hållfasthet och likformighet är *ultraljudshasighetsmetoden*. Metoden grundar sig på ett samband mellan ultraljudshastighet och materialets elastiska egenskaper. Det uppmätta värdet på ultraljudshastigheten kan således räknas om till elasticitetsmodulen. Elasticitetsmodulen kan i sin tur räknas om till ett värde på hållfasthet. Jämfört med studshammarmetoden så sker mätning av betongegenskaper längre in i materialet. Fördelen med metoden är att den har använts under många år och är väl beskriven och dokumenterad. Nackdelen är att noggrannheten är låg eftersom mätningen påverkas av många olika faktorer.

Användning av *kombinerad metod* för bestämning av betongens hållfasthet och likformighet kan ge bättre noggrannhet då resultatet baseras dels på studshammarvärde, dels på ultraljudshastighetsvärde. Nackdelen med metoden är att den är tids- och kostnadskrävande då hänsyn ska tas till flera mätningar.

Högenergiradiografering kan vara en användbar metod dels för volymmetrisk provning av betongkonstruktioner med avseende på skador som sprickor och hål, dels för lokalisering av armeringen. Metoden kan också detektera brott i spännarmeringskablar och luftfickor som härrör från ofullständig injektering. En lämplig strålningskälla med tanke på inneslutningarnas tjocklek kan vara Betatron på 6–35 MeV. Metoden kräver tillgång till objektets motsatta sidor för strålningskälla respektive registreringsutrustning vilket inte alltid är möjligt. Långa exponeringstider på grund av den grova materialtjockleken hör också till metodens begränsningar.

Ultraljudprovning grundas på registrering av skillnader i ljudhastighet, dämpning eller elastiska egenskaper, vilket ger information om diskontinuiteter och lokala materialförändringar. Ultraljudmetoden är ett samlat begrepp för ett antal tekniker som t. ex. pulseko och diffraktionsmetod och kan nyttja longitudinella, transversella och ytvågor. Fördelen med metoden är att den i likhet med radiografering kan användas för volymmetrisk provning. Metodens applicering på inneslutningar kan dock vara komplicerad på grund av konstruktionens grova tjocklek, tät armering samt att konstruktionen består av olika element med olika egenskaper. Betongen i sig är svårprovad på grund av materialtjocklek, heterogenitet och grovkornighet.

Radar kan användas huvudsakligen för lokalisering av armering men kan även användas för att detektera brott och större håligheter i armeringen och tätplåten. Metoden bygger på transmission och reflektion av elektromagnetiska vågor vid gränsskiktet mellan material med olika ledningsförmågor. Provning med radar kan ske

från en sida på objektet likväl som i transmissionsmode med sändare och mottagare på motsatta sidor. Vid provning av inneslutningar från insidan kommer elektromagnetiska vågor skärmas av från tätplåten. Till metodens begränsningar hör också att penetreringsdjupet inne i betongen minskar med betongens ökade fuktighet.

Akustisk emission (AE) har stora fördelar genom att metoden kan användas för kontinuerlig övervakning av konstruktionen under drift samt att metoden är lämplig för global inspektion. Metoden kan tillämpas för bestämning av betongens fysikalisk-mekaniska egenskaper som hållfasthet, brottseghet, mikro- och makrosprickning, brott i vidhäftning med armering, degradering av strukturell integritet etc. Metoden kan också tillämpas för kontroll av stålelement inbäddade i betong: detektering av pågående korrosionsprocesser, minskad area på armering, stresskorrosions-sprickning och väteförsprödning i spännkablar, reduktion av spännkraften. Metoden kan användas även för att bestämma storlek och riktningar på spänningar i en betongkonstruktion. Metodens begränsningar beror huvudsakligen på provningsmiljön, nämligen hög strålningsnivå, förhöjda temperaturer, bakgrundsstörningar och vibrationer under drift. En första AE-inspektion måste utföras under avställning av reaktorn. Sedan kan AE-övervakning ske kontinuerligt under drift, men AE-sensorer och förstärkare måste tillverkas på ett sådant sätt att de tål strålning och förhöjda temperaturer. Avståndet mellan sensorer beror på en mängd armering och ska väljas med hänsyn till vilken defekttyp som provningen avser.

7.3 Svenska erfarenheter

Inom utredningen har samtliga svenska kärnkraftverk ombetts att redogöra för sina erfarenheter från användning av OFP-metoder gällande betongkonstruktioner. Av de redovisade underlagen, [37–41], framgår att OFP-metoder för provning av de svenska inneslutningarna hittills har tillämpats i mycket liten omfattning. Vidare framgår att endast OKG har planer på framtida användning av OFP-metoder för kontroll av inneslutningarna.

Anläggningsvis ser provningserfarenheterna ut som följer:

- Ringhals och Forsmark har inga OFP-erfarenheter.
- Oskarshamn har använt ultraljud- och radiograferingsmetoder för lokalisering av armering vid håltagning.
- Barsebäck har jämförelsevis mest erfarenheter då vissa OFP-undersökningar har gjorts i samband med upptäckten av de korrosionsskador i tätplåten i B2:s inneslutning 1993. Bland annat gjordes försök att tillämpa Impact Echo metod (en akustisk metod som nyttjar låga frekvenser) för att upptäcka defekter i betong i form av kaviteter och dålig kontakt mellan tätplåten och betong. Enligt Barsebäck gav metoden svårtolkade resultat och provningsresultaten blev av begränsat värde. Vidare uppges att ett antal genomföringar i B1:s inneslutning har undersökts med radiografering. Provningsresultaten av dessa redovisas dock inte i underlaget.

Vidare har OKG med anledning av det uppdagade hålet i tätplåten i takplattan till reaktorinneslutningen i Oskarshamn 1 under revisionsavställningen 2002 genomfört vissa ytterligare undersökningar med OFP-metoder. Syftet med dessa undersökningar var att utreda om det kunde finnas fler liknande hål i takplattan. SKI beställde därför i

samråd med OKG ett forskningsprojekt av FORCE Technology. FORCE genomförde en förundersökningsstudie av de tillgängliga OFP-metoderna: elektromagnetisk transmission, radar, ultraljud pulse-eko samt högenergiradiografering på mock-up i laboratoriemiljö. Radar-metoden valdes ut för in-situ undersökning. En area på ca 14 m² av taket på inneslutningen undersöktes med denna metod, och en indikation på hål detekterades. Området undersöktes direkt av OKG genom att ta ut en borrhälsa. Det visade sig att indikationen var falsk. OKG inkom dessutom med ytterligare underlag som gjorde det troligt att det tidigare hittade hålet var det enda som kunde finnas. OFP-försöken avbröts därefter.

Trots att erfarenheterna från provning av inneslutningarna är mycket begränsade och i vissa fall gav svårtolkade resultat så är de i alla fall värdefulla. OFP-försöken har lett till kunskapsspridning i branschen och att OFP-metoder för provning av betong existerar. Lärdomarna från försöken är att en lyckad tillämpning av OFP-metoder för provning av reaktorinneslutningar kräver:

- Bred kunskap om flera OFP-metoder, dess möjligheter och begränsningar, så att den mest lämpliga metoden kan väljas.
- Goda kunskaper om materialegenskaper hos betongkonstruktioner och hur dessa påverkar OFP-signalsvar.
- En klar bild över provningsbehoven.

Utveckling av ändamålsenliga och effektiva OFP-tekniker för konkreta ändamål kräver ytterligare forsknings- och utvecklingsinsatser och bör planeras i god tid innan provningen kan bli aktuellt.

Ett av syftena med det pågående CONMOD-projektet, som SKI är medfinansierat till, att skaffa mer erfarenheter vad avser OFP-tillämpningar. Man avser inom projektet att genomföra utprovningar på testblock och genomföra vissa försök på inneslutningen i Barsebäck 1. För närvarande har endast vissa inledande försök genomförts för att testa utrustning o.d. De vidare undersökningarna är planerade bli genomförda och utvärderade under 2003.

7.4 Internationella erfarenheter

Inom ramen för denna utredning har inga uppgifter kunnat hittas vad gäller praktisk användning av OFP-metoder för utländska reaktorinneslutningar. Detta beror troligtvis på att de internationella erfarenheterna är snarlika de svenska, nämligen att fortlöpande inspektioner av inneslutningar hittills har varit begränsade till de föreskrivna kontrollerna som täthetsprovningar och visuella inspektioner. OFP-provningar har inte genomförts eller också genomförts i mycket liten omfattning. IAEA-studie av åldrande reaktorinneslutningar [17] bekräftar denna slutsats. Inom IAEA-studien har nämligen en enkätundersökning genomförts bland 154 reaktorläggningar för att bl.a. undersöka tillämplig praxis för inspektioner av inneslutningar. I studien har IAEA kommit fram till slutsatsen att trots att potentiella OFP-metoder för detektering av åldringsdegradering i inneslutningar existerar, så används dessa i mycket liten utsträckning.

8 Överväganden och bedömningar

De svenska reaktorinneslutningarna har till stor del konstruerats och byggts efter nationella standarder, till skillnad från övriga stålkärnkomponenter såsom rör- och reaktortankkärnkomponenter där amerikanska normer varit styrande i förhållandevis betydligt större omfattning, inte bara för svenska utan även för övriga västeuropeiska reaktorer. Orsaken till detta torde bero på att de amerikanska normerna för betongkonstruktioner i kärnreaktorer inte var så välutvecklade i kombination med att det nationellt fanns en gedigen erfarenhet av grova betongkonstruktioner.

Varje inneslutningskonstruktion har utformats och byggts med den bästa kunskap som fanns vid aktuell byggtidpunkt. Det cement som använts för de flesta grova betongkonstruktioner till kärnkraftverken, nämligen LH-cement, hade mycket goda egenskaper, kanske till och med bättre än vad som det finns tillgång till idag. De senare byggda verken har byggts med andra cement och betongkvaliteter, men då har man delvis kompenserat detta genom val av högre nominella kvaliteter [2].

Samtliga inneslutningar i de svenska kärnkraftverken utgörs av förspända betongkonstruktioner, och har en ingjuten tätplåt. Dessa två system, med förspänning och tätplåt, utgör två av de mest kritiska elementen i inneslutningarnas konstruktion. Vid utformningen och konstruktionen av dessa kan skönjas två skilda filosofier, som har tillämpats i Vattenfall- respektive Sydkrafts ursprungliga anläggningar. Förutom i Ringhals 1 har Vattenfalls anläggningar byggts med ej ingjutna kabelsystem, som går att prova och vid behov byta ut, medan de en gång av Sydkraft ägda verken – Oskarshamn 1–3 och Barsebäck 2 – har ett ingjutet kabelsystem, som inte på samma sätt är åtkomliga för kontroller och byten. Det finns givetvis andra för- och nackdelar med dessa två lösningar, men man kan säga att vid konstruktionen av Sydkrafts inneslutningar förutsattes att systemet skulle hålla sin stipulerade tekniska livslängd utan behov av framtida kontroller och åtgärder. Motsvarande filosofier förefaller ha valts när det gäller tätplåten. I Vattenfalls inneslutningar, om än inte alla, försågs svetsarna i tätplåten med testkanaler vilka med återkommande intervaller skulle provas, medan Sydkraft byggde utan testkanaler. Dessa valda konstruktionsfilosofier har återbäring för en del identifierade frågeställningar som berörs under nästa kapitel.

Vidare är de svenska inneslutningarna konstruerade med tanke på att en del andra kontroller och provningar utförs av dessa med jämna mellanrum. Bland dessa kan nämnas byggnadsbesiktningar och de s.k. globala och lokala täthetsprovningarna, som har till syfte att verifiera tät funktion hos inneslutningen. Vidare har en del anläggningsägare, utöver dessa föreskrivna kontroller, vilka regleras i STF för respektive anläggning, under årens lopp genomfört ytterligare kontroller och provningar av inneslutningarnas konstruktioner. En del av dessa har genomförts på uppmaning av SKI med anledning av ett antal under senare tid inträffade degraderingar och skador i inneslutningarnas täta skal, andra har anläggningsägarna genomfört på eget initiativ, oftast i samband med större ombyggnads- och moderniseringsprojekt. I samband med dessa har materialprover tagits ut för undersökning av eventuella förändrade mekaniska och kemiska materialegenskaper. I denna rapport har såväl de föreskrivna kontrollerna och provningarna som de av industrin vidtagna åtgärderna, oftast av engångskräktär, bedömts mot bakgrund av såväl nationellt som internationellt rapporterade skador i inneslutningarnas konstruktion. I samband med dessa genomgångar har en del

observationer kunnat göras, vilka berörs mera i anslutning till föreslagna vidare åtgärder.

Vidare har de svenska inneslutningarna ursprungligen konstruerats med hänsyn till LOCA (H4-händelse), vilket resulterade i ett konstruktionstryck mellan 4,5 och 6 bar, beroende på anläggning. Gemensamt för alla inneslutningar är att de konstruerades med vissa säkerhetsfaktorer så att uppträdande deformationer till följd av en LOCA skulle hålla sig inom det elastiska området, och tätheten i inneslutningen skulle vara uppfyllt vid en LOCA. Detta resulterade i robusta betongkonstruktioner med vägg tjocklekar över 1 meter. De ursprungligen valda säkerhetsfaktorerna har inte kunnat sammanställas explicit inom denna utredning, men senare verifierande beräkningar som tillståndshavarna utfört, vilka i en del fall utförts med relativt moderna beräkningsmetoder, visar att inneslutningens täthet beräknas vara uppfyllt upp till 1,4–1,6 gånger konstruktionstrycket. När det gäller Ringhals 3 och 4 pågår dock strukturmekaniska analyser, vilka preliminärt visar att tätheten är uppfyllt 1,25 gånger konstruktionstrycket, eller 1,32 gånger det tryck som maximalt kan uppträda efter en LOCA.

En slutsats så här långt är att de svenska inneslutningarna, av vilka Oskarshamn 1 utgör den först byggda med en konstruktion från tidigt 60-tal, uppvisar relativt goda marginaler¹⁰ med hänsyn till det ursprungliga konstruktionskravet LOCA. Denna slutsats förutsätter givetvis att konstruktionen inte är försämrad och skadad.

De under 80-talet tillkommande kraven med H5-händelser har resulterat i att anläggningsägarna infört s.k. konsekvenslindrande system vid svåra haverier. Funktionen av dessa system är passiv och skall säkerställa att inneslutningen tryckavlastas innan täta skalet äventyras. Målet har därmed varit att tillåta endast kontrollerade utsläpp till omgivningen efter en sådan händelse. Det framgår dock av de gjorda sammanställningarna i denna rapport att det tryck som beräkningsmässigt maximalt kan uppstå i en del inneslutningar vid en H5-händelse överstiger det tryck vid vilket respektive inneslutnings täthet kunnat verifieras för. Hypotetiskt skulle alltså inneslutningarnas täthetsfunktion i en del anläggningar kunna gå förlorad efter ett sådant haveri. I samband med kommande etapper av utredningen bör dock en närmare studie göras av förutsättningarna – vilka systemtekniska antaganden som gjorts – vid beräkning av det maximala trycket vid en H5-händelse, innan vidare slutsatser dras.

Reaktortryckkärnen och merparten av andra vitala komponenter i de svenska anläggningarna allmänt har dimensionerats med en teknisk livslängd på 40 år. När det gäller reaktorinneslutningarna har vid konstruktionen av dessa enligt vad som gått att få fram inte förutsatts någon bestämd teknisk livslängd [37–41]. Konstruktionsfilosofin förefaller allmänt ha varit att om man följde byggnadsregelverket så skulle inneslutningarna hålla för minst 40 år. Det bör tilläggas i detta sammanhang att de nuvarande tillståndsvillkoren för anläggningarna inte är tidsbegränsade och utformade med hänsyn till den ursprungligen antagna tekniska livslängden. De tidpunkter som angivits för tillståndsomprövningar har satts av andra skäl. För att kunna ta ställning till framtida omprövningar av tillstånden, vilka för många av anläggningarna går ut inom

¹⁰ Dessa säkerhetsmarginaler tillsammans med vilka laster och lastkombinationer och kriterier för spänningsberäkningar som man bör räkna med bör bedömas närmare i kommande etapper av utredningen kring konstruktionsförutsättningar.

loppet av 5–10 år, krävs ett samlat tekniskt underlag som möjliggör bedömningar av deras tillstånd.

Mot bland annat denna bakgrund har inom ramen för denna utredning en del utvecklings- och forskningsprojekt initierats. Emellertid har behov av ytterligare utredningar identifierats, vilka berörs under nästa kapitel. I takt med att inneslutningarna åldras börjar nämligen såväl nationellt som internationellt allt fler skador rapporteras i dessa. I en del fall har dessa skador lett till att hål i det täta skalet bildats innan de kunnat upptäckas. Därför bör inneslutningarnas konstruktion underkastas skärpt uppmärksamhet i framtiden.

9 Förslag till vidare utredningar och tillsynsåtgärder

Baserad på genomgångarna ovan och de i bilagorna gjorda sammanställningar adresseras utan rangordning följande frågeställningar för vidare utredningar och andra åtgärder:

- SKI bör överväga att ställa krav på mer omfattande och regelbundna byggnadsinspektioner efter mer etablerade normer, till exempel efter de amerikanska normerna som NRC förordar sedan några år tillbaka. Dagens byggnadsbesiktningar som tillämpas inom den svenska kärnkraftsindustrin bygger på appendix J, som är relativt översiktlig i detta avseende och utan några närmare anvisningar.
- När det gäller de globala täthetsprovningarna så har en del inneslutningar täthetsprovats både vid halva och fulla DBA-trycket under årens lopp. I samband med de första täthetsprovningarna, vilka skedde före nukleära drifttagningen, togs tryckreferensnivåer för framtida täthetsprovningar. Vid de efterföljande täthetsprovningarna har i allmänhet lägre tryck, motsvarande ca halva DBA-trycket tillämpats. För att bilda sig en uppfattning om relevansen av de prover vilka genomförs vid det låga trycket, skulle det vara värdefullt att studera och jämföra läckagen från proverna genomförda vid de olika trycken. Tillåten läckage är enligt normen definierad vid det fulla DBA-trycket. När provning sker vid lägre tryck extrapoleras således läckageraten. Osäkerheterna kring detta bör studeras genom att göra nämnda jämförelser. En del underlag i detta syfte har redan tagits in från anläggningsägarna [37–41].

Forsmark 1, 2 och 3 har numera i samråd med SKI bestämt att genomföra ett av de tre proverna på tio år vid det högre trycket. Erfarenheterna från dessa prover bör utvärderas, och därefter bör generellt sätt kraven för provningstryckning ses över.

Det har framkommit inom utredningen att en del anläggningsägare tillämpat kortare mät- och stabiliseringstid vid de integrala proverna jämfört med vad den tillämpade normen, App. J, kräver. Eftersom de svenska inneslutningarna är konstruerade med ingjuten tätplåt, kan det tänkas att stabiliseringstider till och med behöver vara längre än vad normen anger på grund av betongens responstider för trycksättningar jämfört med stål. Frågan om att utreda betongens responstider och trycksättningar har även påtalats av en del anläggningsägare i sitt kompletterande underlag [37–41].

- Konstruktionsförutsättningarna för inneslutningarna bör ses över, och en praxis liknande det för stålkomponenter etableras. I samband med detta bör även redovisningarna i SAR gällande inneslutningarna ses över. Dagens redovisningar i SAR varierar relativt starkt beroende på anläggning. Mera enhetliga SAR-redovisningar bör diskuteras och införas på sikt.
- En del anläggningar, främst Ringhals 1 och Barsebäck 2, förefaller ha bristfällig dokumentation gällande använda material i inneslutningarnas konstruktioner. Graden av denna brist har inte bedömts i denna utredning, men uppföljande utredningar och andra åtgärder för att på sikt avhjälpa denna typ av brister föreslås. I samband med

eventuella händelser i framtiden är det viktigt att erforderlig dokumentation över inneslutningarnas konstruktioner finns. Annars riskerar man att kunna göra endast översiktliga och otillräckliga bedömningar. Kraven angående dokumentation över materialegenskaper och konstruktionens utformning är tydligt föreskriven i SKI:s föreskrifter.

- Enligt gjord sammanställning förekommer under normaldrift lokala temperaturer i inneslutningarnas konstruktioner ända upp till 174°C. Inverkan av så höga temperaturer på betongmaterialets egenskaper torde vara betydande i det långa förloppet. Inom det initierade projektet angående materialprovningar i Barsebäck 1 bör denna fråga uppmärksammas, alternativt utredas separat.
- Det framgår av de gjorda sammanställningarna att det tryck som beräkningsmässigt maximalt kan uppstå i en del inneslutningar vid en H5-händelse överstiger det tryck vid vilket tätheten i dessa beräknas vara uppfyllt. Ytterligare studier i syfte att fastställa och ytterliga bedöma de strukturmekaniska säkerhetsmarginaler i dessa inneslutningar med hänsyn till H5-händelser föreslås.
- Enligt pågående analyser finns indikationer på att bottenplattan i Ringhals 3 och 4 spricker vid en trycklast av ca 6.5, samt att denna brister vid 6.7 bar. Betydelsen och eventuella konsekvenser av detta bör bedömas mera i detalj när analyserna i fråga är klara.
- I utredningen har frågor kring krypning och krympning av betong och relaxation av förspänningskabelsystemet identifierats. Krypning och krympning av betongen har nämligen inverkan på förspänningslasten i inneslutningen, vars förspänning vid en övertryckning i samband med ett haveri är en förutsättning för dess hållfasthetsmässiga integritet. De metoder som idag finns för prediktering av krypning och krympning av betongmaterialet samt relaxation i spännkablarna förefaller vara osäkra. Inom ett pågående doktorandprojekt vid Lunds Tekniska Högskola är dessa frågor förvisso adresserade, men med tanke på den vitala funktionen hos förspänningssystemet i händelse av ett haveri torde flera oberoende studier genomföras.
- Tillämpbarheten av oförstörande provningsmetoder har studerats i utredningen. Det kan konstateras att dessa metoder skulle kunna användas för kontroller av möjliga defekter och degraderingar. De skulle även kunna möjliggöra bedömningar av mer global karaktär av betonginneslutningarnas tillstånd. Emellertid är erfarenheterna av oförstörande provningsmetoder begränsade inom det kärntekniska området i landet. Detta i synnerhet för tjocka betongstrukturer och i dessa inbäddade komponenter såsom tätplåten är. Därför krävs det vidare forsknings- och utvecklingsinsatser inklusive fälttester för att med större tillförlitlighet kunna tillämpa OFP-metoderna för att fastställa tillståndet hos betonginneslutningar. Inom CONMOD-projektet ingår att studera OFP-metoders möjlighet och begränsningar, men detta projekt behöver följas upp med fler utvecklingsprojekt för att kunna etablera metoderna.
- I utredningen har även potentiella hot mot inneslutningens integritet och dess täta funktion vid rörbrott översiktligt kartlagts. Det kan konstateras att i så gott som alla inneslutningar föreligger potentiella hot mot inneslutningen på ett eller flera ställen

vid rörslag. En vidare kartläggning och vidare värdering av dessa hot rekommenderas. Speciellt bör genomföringsområdet mot sådana hot utvärderas.

- Inom utredningen har inte provningsmetodikerna som sådant gällande vare sig de lokala eller globala täthetsprovningarna bedömts. I kommande etapper av utredningen bör därför dessa utvärderas. I synnerhet bör provningsmetodiken gällande skalventiler studeras närmare.
- Det är oklart vilka bestrålningsnivåer själva betongen i vissa avskärningsstrukturer närmast reaktortanken utsätts för, och vilken inverkan detta eventuellt kan ha på betongens egenskaper. Denna frågeställning bör utredas i de kommande etapperna av utredningen.
- Vidare har anläggningsägarna i kommunikationen med SKI, [37–41], påtalat behovet av forskning och utveckling kring följande frågor, av vilka en del återfinns även ovan:
 - OFP-metoder för kontroll av spännkablar och tätplåt,
 - Åldringsprocess för betong och armering,
 - Den armerade betongens påverkan av höga temperaturer under lång tid,
 - Förfinade beräknings- och värderingsmetoder för reaktorinneslutningen,
 - Krympning och krypning under lång tid,
 - Inverkan av betongens porositet under täthetsprovningar,
 - Samverkan mellan betong och spännarmering under lång tid för ingjutna spännkablar

10 Referenser

- [1] Scanscot Technology, Oskarshamn 2 och Barsebäck1/2 samt Forsmark 3 – Dimensioneringsregler för byggnader (DRB:1998), Teknisk rapport 98118/TR01, utgåva 1, 1998-12-04
- [2] SKI Rapport 02:59 - Betonginneslutningar i svenska kärnkraftverk, en sammanställning över konstruktion och material, Thomas Roth, Johan Silfwerbrand och Håkan Sundquist/KTH
- [3] Joint WANO/OECD, NEA workshop prestress loss in NPP containment, Civaux NPP, 25-26 august 1997, OECD/GD(97)225
- [4] SKI – brev, Cirkulärbrev beträffande korrosionsskador i inneslutningar, 1997-11-07, dnr 5.62-971521
- [5] 10CFR55a, The Code of Federal Regulation, Codes and Standards, www.nrc.gov/CFR/part050/part050-0055a.html
- [6] SKI Rapport 01:17 – Utredning angående potentiella hot mot inneslutningars täthet på grund av rörlag från tänkta rörbrott i ång- och matarvattenledningar, mars 2001, Arne Landström
- [7] SKI Rapport 01:19 – Missilgenererade lasteffekter i kärntekniska anläggningar, April 2001, Ola Jovall, Jan-Anders Larsson och Björn Thunell
- [8] SKI PM 98:39 – Rörbrottsskydd – krav och kriterier
- [9] 10 CFR 50 Appendix J – 10/26/95- Primary Reactor Containment Leakage Testing For Water-Cooled Power Reactors.
- [10] NUREG 1493, Performance Based Containment Leak – Test Program, Final Report
- [11] Regulatory Guide 1.163, september 1995
- [12] SKI-beslut – Forsmark 1, 2 och 3 – beslut om ändring av STF kapitel 3.7 och 4.7 vid tillämpning av ny norm för täthetsprovningar, 1999-04-29, dnr 7.12-990208
- [13] SKI-beslut – Forsmark 1, 2 och 3 – beslut om ändring av STF kapitel 3.7 och 4.7 vid tillämpning av ny norm för täthetsprovningar, 1998-08-19, dnr 7.12-980696
- [14] SKI-beslut – Oskarshamn 3 - beslut om ändring av STF kapitel 4.7 vid tillämpning av ny norm för täthetsprovningar av skalventiler, 1999-06-02, dnr 8.32-990653
- [15] SKI-beslut – Ringhals 1- beslut om STF-ändring - ändring av STF kapitel 4.7 – Reaktorinneslutning med skalventiler, 1999-07-23, dnr 9.12-990881

- [16] IAEA, Assessment and management of ageing of major nuclear power plant components important to safety: Metal components of BWR containment systems, IAEA-TECDOC-1181, October 2000.
- [17] IAEA, Assessment and management of ageing of major nuclear power plant components important to safety: Concrete containment building, IAEA-TECDOC-1025, June 1998.
- [18] Rulemaking issue: Secy-96-080, Issuance Of Final Amendment To 10 Cfr § 50.55a To Incorporate By Reference The Asme Boiler And Pressure Vessel Code (Asme Code), Section Xi, Division 1, Subsection Iwe And Subsection Iwl, www.nrc.gov/nrc/commission/secys/secy1996-080/1996-080scy.html
- [19] American Concrete Institute, ACI 201.1R-92, Guide for Making a Condition Survey of Concrete in Service,
- [20] EPRI och LCM Technology, USA, COSTAR – Concrete Structures Aging Reference Manual – A Structure Condition Assessment Tool, SMIRT 16, Washington DC, August 2001, Gregor, Frank E mfl.
- [21] NRC – Regulatory Guide 1.90, Inservice Inspection of Prestressed Concrete Containment Structures with Grouted Tendons- rev 1--08/1977
- [22] NRC – Regulatory Guide 1.35, Inservice Inspection of Ungrouted Tendons in Prestressed Concrete Containments – rev 3-07/1990
- [23] ACI- 349.3R-96, American concrete institute, Evaluation of Existing Nuclear safety-related Concrete Structures.
- [24] OKG, Brev från 2001-09-17, Önskemål om uppgifter för utredning kring PS-inneslutningar, SKI-dnr 14.42-990396
- [25] Ringhals, Brev från 2001-09-21, Önskemål om uppgifter för utredning kring PS-inneslutningar, SKI-dnr 14.42-990396
- [26] Forsmark, Brev från 2001-09-19, Forsmark 1,2 och 3 – Uppgifter för utredning kring inneslutningen, SKI-dnr 14.42-990396
- [27] OECD/NEA/CSNI – Development priorities for non-destructive examination of concrete structures in nuclear plant, NEA/CSNI/R(98)6, 30-oct-1998
- [28] Muravin, G., Inspection, diagnostics and monitoring of construction materials and structures by the acoustic emission method, London, 2000.
- [29] Muravin, G., Lezvinsky, L., Muravin, B., Evaluation of reinforced concrete structures degradation, Workshop on the instrumentation and monitoring of concrete structures, Brussels, 2000.
- [30] Handbok on nondestructive testing of concrete, USA, 1991.

- [31] Rufino, R., Relunia, E., Nondestructive testing of concrete structures, artikel i The Evaluator, 1999.
- [32] Shaw, P., Xu, A., Pulse-echo methods in inspection of concrete structures, Insight, Vol 30, No 3, March 1997.
- [33] Novokshchenov, V., Corrosion-related deterioration of reinforced concrete structures at oil refineries in the persian gulf region, Corrosion forms and control for infrastructure, USA, 1993.
- [34] Abeele, K., Visscher, J., Damage assessment in reinforced concrete structures using spectral and temporal nonlinear vibration techniques, Cement and concrete research, May 2000.
- [35] Hearn, S., Shield, C., Acoustic emission monitoring as a nondestructive testing technique in reinforced concrete, ACI Material Journal, Vol 94, No 6, 1997.
- [36] Chiang, C-H., Kan, Y-C., Reinforced concrete: application of acoustic nondestructive testing for safety evaluation, Nondestructive Testing and Evaluation, Vol 15, 1999.
- [37] OKG, Oskarshamn 1, 2 och 3 – Utredning avseende reaktorinneslutningar –SKI brev 1442-990396/99188, OKG-rapport 2002-00738 utgåva 1, 2002-01-15
- [38] OKG, Oskarshamn 1, 2 och 3 – Utredning avseende reaktorinneslutningar – Utredning av frågeställningar ställda i SKI brev 1442-990396/99188, OKG-rapport 2002-00519 utgåva 2, 2002-04-05
- [39] Forsmark, Forsmark 1, 2 och 3 – uppgifter för utredning kring inneslutningar, FQ-2001-629, 2001-11-27
- [40] Ringhals, SKI-utredning kring reaktor inneslutningar, rapport nr 1724962, 2002-02-21, Jan Gustavsson
- [41] Barsebäck, Barsebäck 2 – uppgifter angående B2:s inneslutning, Rapport T-200203-012, 2002-03-07
- [42] SKI dnr 6.21-020539, BKAB projekt PRIM.
- [43] SKI dnr 14.41-020909/02205- Materialprovningprojekt vid Barsebäck 1, projektet pågår för närvarande.
- [44] SKI dnr 14.41-021245/02206, Förändringsprocesser hos betong i reaktorinneslutningar, Lunds Tekniska Högskola
- [45] CONMOD- Concrete Containment Management using Finite Element Technique combined with in-situ Non-destructive testing of Conformity with respect to design and construction quality, ett för närvarande pågående EU-projekt, SKI-ärendenr: 14.42-010979/01170.

11 Projekt kring reaktorinneslutningar

Projekt, som pågår eller nyligen avslutats, och som rör reaktorinneslutningsfrågor är:

- CONMOD - Concrete Containment Management using Finite Element Technique combined with in-situ Non-destructive testing of Conformity with respect to design and construction quality, ett för närvarande pågående EU-projekt, SKI-ärendenr: 14.42-010979/01170, Samfinansiering med tillståndshavarna.
- Långtidsegenskaper hos reaktorinneslutningar av förspänd betong, ett doktorandprojekt vid Tekniska Högskolan i Lund, projektet pågår för närvarande, SKI-ärendenr: 14.42-010980/01171, Samfinansiering med tillståndshavarna.
- Livslängdsfrågor för spännarmering i spännarmerade betongkonstruktioner, ett doktorandprojekt vid Kungliga Tekniska Högskolan, projektet pågår för närvarande, SKI-ärendenr: 14.42-990396/99188.
- Materialprovningssprojekt vid Barsebäck 1, projektet pågår för närvarande, SKI-ärendenr: 14.41-020909/02205, Samfinansiering med tillståndshavarna.
- Seminarium kring reaktorinneslutningar i Sverige, genomfört i samarbete med tillståndshavarna under april 2002, SKI-ärendenr: 14.42-011161.
- Utredning angående potentiella hot mot inneslutningars täthet på grund av rörlag från tänkta rörbrott i ång- och matarvattenledningar, SKI rapport 01:7.
- Missilgenererade lasteffekter i kärntekniska anläggningar, SKI rapport 01:19.
- Lokala effekter på armerade betongkonstruktioner orsakade av missiler, ett projekt under beställning, SKI-ärendenr: 14.42-020825/02195.
- Förändringsprocesser hos betong i reaktorinneslutningar, ett projekt under beställning, SKI-ärendenr: 14.41-021245/02206
- Lokala effekter på armerade betongkonstruktioner orsakade av flygplansmissiler, SKI-ärendenr: 14.42-020825/02195.

Bilaga 1

En översiktlig sammanställning över inneslutningarnas konstruktion, kontroller och inspektioner av dessa mm

Gabriel Barslivo

Bakgrund och syfte

Inom ramen för den övergripande utredningen inom SKI kring reaktorinneslutningarna ges i denna bilaga en allmän och översiktlig beskrivning av funktion och konstruktion för de olika typerna av inneslutningar i de svenska kärnkraftverken. Beskrivningarna är hämtade ur respektive blocks säkerhetstekniska redovisningar s.k. SAR, på engelska Safety Analysis Report. Ett mål med denna bilaga har varit att så långt som möjligt ha någorlunda snarlik sammanställning över de olika reaktorernas inneslutningar vad beträffar beskrivningar av konstruktionen och dess utförande, för att därigenom kunna göra vissa jämförande studier. Emellertid varierar inriktningen och omfattningen av den redovisningen som finns i SAR för respektive inneslutning, varför beskrivningen av vissa inneslutningar fått en mera anpassad form och innehåll.

Det vidare syftet med sammanställningen är att på ett lätt överskådligt sätt skaffa sig information om den övergripande konstruktionen vad avser dimensioner, utformning, tillverkningsmetod, material, konstruktionsdata mm. Ett mål med sammanställningen har också varit att om möjligt kunna identifiera eventuella svaga konstruktionsdelar. Som det framgår har emellertid denna sammanställning inte varit möjligt för alla anläggningar, beroende på varierande kvalitet på redovisningen i SAR.

Under utredningens gång har en del frågor i syfte att samla in ytterligare information om reaktorinneslutningarna ställts till tillståndshavarna. När det gäller mera detaljerade uppgifter på konstruktionsmaterial, och även delvis konstruktionen i stort, har sammanställning av dessa gjorts i en separat utredning genomförd vid KTH, SKI rapport 02:59. När det gäller de mera allmänna frågor kring konstruktion och material mm som SKI ställt till tillståndshavarna under utredningens gång har svaren, [1-5], i mindre omfattning bearbetats in i denna bilaga. I kommande etapper av utredningen planeras kompletterande bearbetningar av svaren att göras.

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

Oskarshamn 1	4
Ringhals 1	11
Barsebäck 2	18
Oskarshamn 2	22
Forsmark 1 och 2	25
Forsmark 3	31
Oskarshamn 3	34
Ringhals 2	37
Ringhals 3 och 4	42
Referenser	47

Oskarshamn 1

De övergripande kraven och systembeskrivningarna för inneslutningen i Oskarshamn 1 anges i dess SAR, system 121. Denna del av SAR är uppdaterad 1999.

Konstruktionsförutsättningar

Enligt SAR är inneslutningen konstruerad för:

- ett inre tryck av 4.5 bar(a) vid 150°C, (0.5MPa enligt gamla utgåva 1av berörd SAR del, 1991)
- ett inre undertryck av 1 bar, enligt gamla utgåvan av SAR
- temperatur (beräkningstemperatur)150°C
- drifttemperatur 10-60°C

Arten av belastningar samt belastningskombinationer gällande inneslutningen framgår av SAR. Vidare framgår att seismiska laster SLA 2 (E) beaktas endast i sådana fall då kollaps av en byggnadsdel sannolikt skulle förorsaka oacceptabla läckage från reaktorinneslutningen, medan seismiska laster av klass SLA 1 (E5) skall alltid beaktas, enligt vad som kan förstås av SAR-texten.

I SAR, vilken är daterad till 1999, uppges vidare att inneslutningens integritet senare har analyserats för händelser utanför design (H5) och att därvid följande gränser kunnat fastställas:

Undre gränsvärde för brottryck	7.4 bar(a)
Övre gränsvärde för brottryck	9 bar (a)
Risk för läckage p.g.a. buckling PS-kupol	7.3 bar(a)
Max rekommenderat tryck	7 bar (a)

Dessa gränsvärden gäller vid normal vattennivå i wet-well. Vid inre övertryck med vattenfylld inneslutning gäller följande gränsvärden:

Gasbrottryck	7 bar
Risk för läckage vid genomföringar	6.5 bar

Vidare framgår att vid inre tryckskillnader kan ett övertryck i wetwell på 0.5 bar i förhållande till drywell tillåtas utan att den elastiska gränsen för konstruktionen överskrids. Ett övertryck i dry-well på 2 bar gentemot wet-well kan tillåtas utan kvarstående deformationer eller sprickbildning. Brottryckdifferensen för mellanbjälklaget uppges till 8 bar.

Enligt SAR har vid konstruktionen av inneslutningens olika delar och efterföljande kompletteringar bland annat följande normer och standard tillämpats:

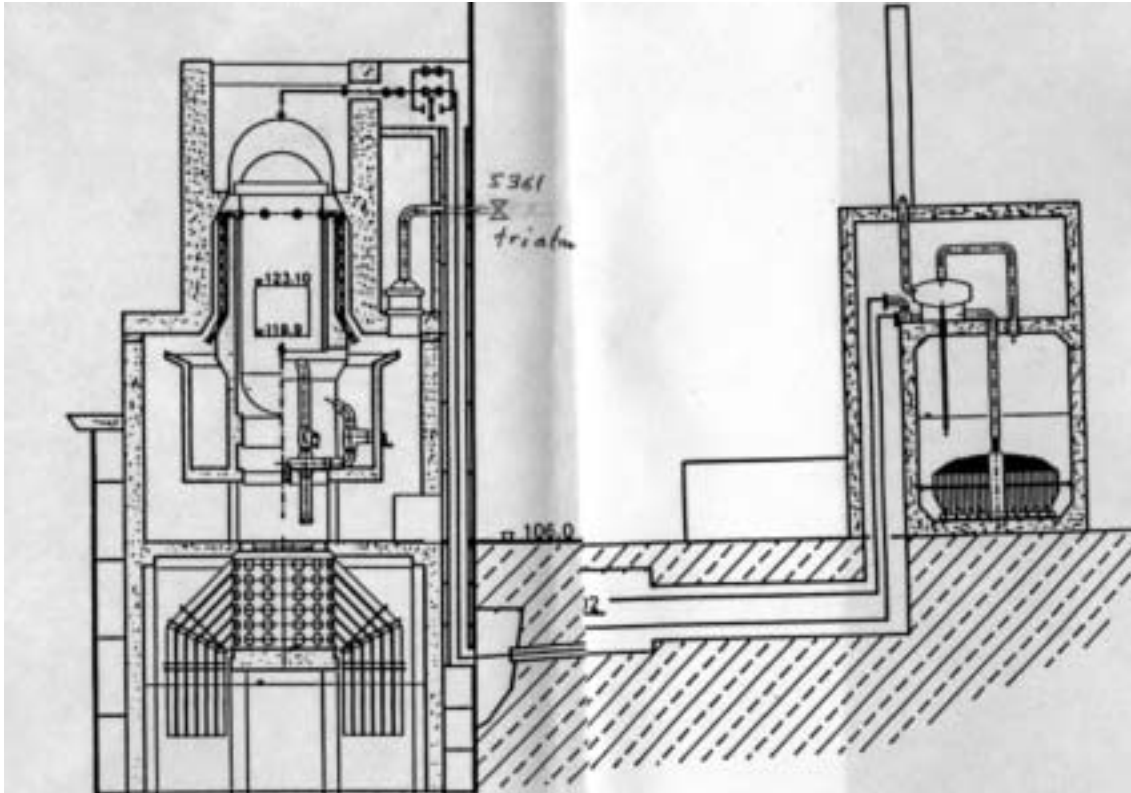
- Statliga belastningsbestämmelser B1 av år 1960
- Statliga cementbestämmelser B1, 1960

- Normbestämmelser för järnkonstruktioner för byggnadsverk (SOU 1938:37) med BABS 1960 angivna ändringar och tillägg
- Bestämmelser för betongkonstruktioner, utgivna av statens betongkom., förslag 8.6.66
- KVVS brobyggnadsanvisningar 1965
- Svenskbyggnorm 67 BABS 1967
- SBN 1975 utg PFS 1978:1
- SBN avd 2A 1979 PFS 1979:7
- Nybyggnadsregler NR1+Ändr NR2-Nr4
- Boverkets nya byggregler BBR och BKR
- Material och utförande , betong utg 2 1978 B6
- Allm konstruktionsbestämmelser 1968 B7
- Byggsvetsnorm 1949
- Pannsvetsnorm 1953
- Stålbyggnadsnorm 70 utg 2 St-BK-N1
- Byggsvetsnorm 1974 ST-BK-N3
- ASEA OK- Beräkningsföreskrifter för stålkonstruktioner i övre PS, KADA 67-22, KAUB 67-20.

Tryckavsäkring. Filtra-anläggningen i Oskarshamn 1, vars principiella utformning framgår av figur 1, tryckavlastar reaktorinneslutningen via system 362. Det finns även system 361, som tryckavsäkrar inneslutningen med friblåsning direkt till atmosfären. I händelse av ett stort läckage mellan drywell och wetwell (storleksordningen ett nedblåsningsrör) kommer trycket i reaktorinneslutningen i samband med ett stort rörbrott att snabbt öka. Ett sprängbleck i system 361 öppnar innan brottryck i inneslutningskärlet uppnåtts och avlastar trycket direkt till atmosfären. I avlastningsledningen finns 2 st ventiler som stänger automatiskt efter 20 min. Utlösningstrycket för de två systemen 361 och 362 och för de olika blocken i Oskarshamn är valt till:

Block	Öppningstryck 361-blåsn.till atm. (MPa)	Öppningstryck 362-filtra (MPa)	Maxtryck vid LOCA (MPa)
01	0.6	0.5	0.45
02	0.65	0.55	0.50
03	0.65	0.55	0.50

Enligt SAR (RAMA-projektet) för filtra kan bestående skador på inneslutningen förväntas, men att PS-tätheten bibehålls vid tryck upp till 7 bar för O1 och O2, 12 bar för O3 vid 50 °C.



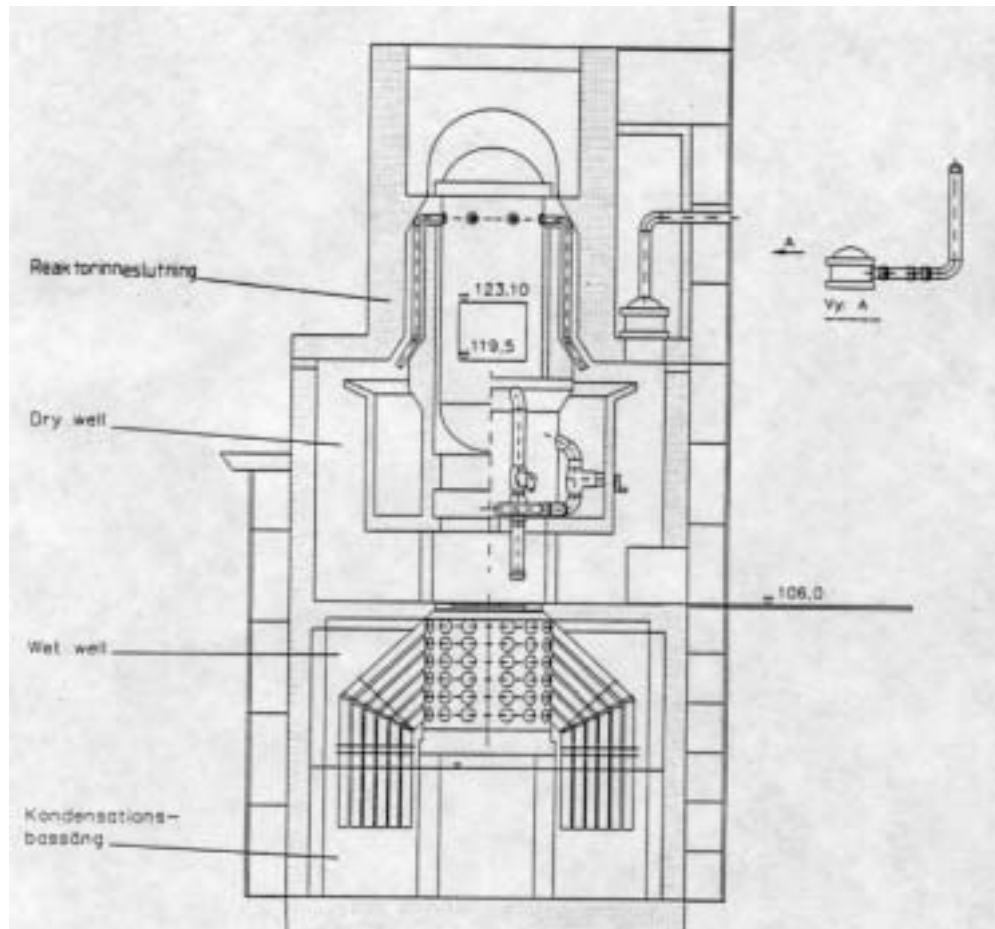
Figur 1. Principiell bild av filtra-anläggningen i Oskarshamn 1.

Krav på täthet

För att spridningen av radioaktivt material till anläggningens omgivning efter brott i reaktors primärsystem skall kunna hållas inom tillåtna gränser, skall inneslutningen uppfylla vissa krav på täthet. Täthetskravet är, vid en sådan olycka, att högst 1% av den inneslutna gasmassan får läcka ut till genom reaktorinneslutningen per 24 timmar vid ett absolut tryck av 3.6 bar i inneslutningskärlet.

Allmän byggnadsbeskrivning

Reaktorinneslutningen fungerar som en fristående byggnad, fri från den omgivande reaktorbyggnaden. Inneslutningen består av en cylindrisk vägg, som vilar på en bottenplatta och en löstagbar kupol. Inneslutningsutrymmet delas i en primär (dry-well) och en sekundär (wet-well) utrymme av ett mellanbjälklag i form av en ringplatta på nivå +106 m. Se vidare figur 2.



Figur 2. Ett snitt genom reaktorinneslutningen i Oskarshamn 1.

Bottenplattan/grund. Reaktorinneslutningens cirkulära betongvägg liksom även de två bärande pelarsystemen är grundlagda på cirkulära ringbalkar av betong, vilande direkt på berg. Betonggolvet mellan dessa utgörs av en 20 cm tjock betongplatta vilande på en 15 cm tjock makadambädd. I den 20 cm tjocka golvplattan finns i övre delen ett rutnät av stålprofiler ingjutet. På dessa profiler är skenor av rostfritt material svetsade och på dessa i sin tur är den 1.5 mm tjocka rostfria plåten svetsat som utgör botten och samtidigt ingår i PS-skalets täta skal.

Makadambädden under reaktorinneslutningen är dränerad via två ringar av tegelrör med ett samlingsrör av PVC som leder till en särskild pumpgrop avsedd för PS-inneslutningens grundvattendränning.

Cylindriska betongväggen i inneslutningen, vars principiella utformning framgår av figur 2 ovan, är spännarmerad i såväl horisontell som vertikal led med spännkablar av typ BBRV 44 Φ 6, St 150/170. Väggen i den nedre delen är 1 m tjock och har en diameter av 18.6 m. I nivå med reaktortanken är den 1.5 m tjock. Väggen är gjuten i glidform, som två koncentrisk skal, ett inre med tjockleken 20 cm och ett yttre med tjockleken 70 cm, åtskilda av en 10 cm spalt. I denna spalt nedsänktes en helsvetsad stålcylander med tjockleken 4 mm, material 141312. Tätplåten tätsvetsades vid bottenplattan efter nedsänkning. Spalten är efter avslutat tätplåtsmontage injekterad med betong.

Förspänning och armering. Den horisontella spännarmeringen i den cylindriska väggen är spänd från kabelförankringar belägna i ursparingar i den cirkulära betongväggens utsida, vilka efter kablarnas uppspanning är igengjutna. Kablarna är normalt ½-varvskablar med förskjutna skarvställen (90°). Kring sluss och ångledningsrör är dock kablarna av utrymmesskal helvarvskablar med förskjutna skarvställen (180°).

Som förstärkning av den cylindriska betongväggen kring ång- matarvattenledningarna finns två stycken plåtar (5x2m) med tjocklek 25 mm vari foderrör för genomföringar är svetsade.

De vertikala spännkablarna ligger i ursparingar i centrum av den 1 m tjocka väggen. Kablarna nedfördes i efterhand i dessa pipor som lades in i samband med glidformsgjutning av väggen. Kablarnas nedre ände fastgjöts före uppspanning. Med hänsyn till materialsättning utfördes uppspanning och injektering cirka 1 månad efter motsvarande arbete med de horisontella kablarna.

Betongväggens båda koncentriska skal är armerade i båda sidor med slak armering, enligt boverkets bronormer av 1965.

Takplattan. Den övre gaveln som utgör takplatta i inneslutningen är en cirkulär platta av betong, som i sin tur består av en övre och nedre platta, 20 respektive 120 cm tjocka, åtskilda med 4 mm tätplåt av samma kvalitet som i den cylindriska väggen. Den nedre plattan är spännarmerad radiellt. Spännkablarna är av typ BBRV 44Φ6, 32Φ6 St 150/170, och har en passiv förankring innanför cylinderväggens tätplåt. Plattan är dessutom slakarmerad både tangentiellt och radiellt.

I sin inre rand är takplattans tätplåt svetsat till inneslutningens cylindriska ståldel och sin yttre till en cylindrisk plåtsarg som i sin tur är svetsat vid cylinderväggens tätplåt. På denna plåtsarg finns fastsvetsade fyrkantsstål för överföring av skjuvkrafter och genom dem går kamstänger som förbinder cylinderväggens ytterskal med betongtakets underplatta.

Bjälklaget. Reaktorinneslutningens primära och sekundära utrymme åtskiljs av ett betongbjälklag i form av en ringplatta på nivå +106 m samt en cirkulär betongplatta i botten på drivdonsutrymmet på nivå +98m. Mellan dessa finns en cylindrisk stålplåt med 96 stycken anslutningar för 316-rör. Båda bjälklagen vilar i sin yttre rand på pelare från botten på inneslutningen. Pelarna är ursprungligen gjutna i kvarsittande platsform, men numera påklädda med rostfritt stål. Bjälklaget på nivå +106m är anslutet till inneslutningens cirkulära betongvägg med en gastät fog.

Genomföringar. För samtliga skalgenomföringar i reaktorinneslutningens betongvägg och betongtak är foderrör ingjutna. Dessa foderrör är försedda med utvändiga fyrkantsstål för överförande av krafter från rör till betong. Foderrören är tätsvetsade till tätplåten. Foderrören monterades efter det att tätplåten nedsänktes på plats, men före injektering av spalten mellan för tätplåten. Materialet i foderrören är SS 141330.

Enligt SAR har genomföringar för processrör dimensionerats så att de är minst 50% starkare än det processrör som föres genom skalgenomföringen. Den större styrkan har erhållits genom att godstjockleken hos rör, kona och den till konan närmast anslutande rördel gjorts 50% starkare än hos röret.

Material

Sammanställningar angående materialdata finns i SKI rapport 02:59.

Av det kompletterande underlaget enligt [1] framgår att OKG inte genomför några återkommande materialprovningar av betongkonstruktioner. Det framgår dock att under Fenix-projektet 1990 gjorde OKG en tillståndsbedömning för Oskarhamns 1:s inneslutning. Därvid gjorde OKG en hållfasthetsbedömning av den cylindriska betongväggen kring reaktortanken. Syftet var att fastställa hur hög temperatur (ca 60-70°C, tidvis högre) och strålning påverkade betongens hållfasthet. Det säges att vid undersökningen uttogs 9 st cylindrar med diametern 93 mm, vars provresultat visade att tryckhållfastheten för betongen hade ett medelvärde på 82 MPa, medan kravet var 40 MPa. Vidare säges att karbonatiseringsdjupet var 0-1 mm efter 20 års drift, samt att de genomförda mikroskopiska analysen gav inga indikationer på några sprickor i betongen eller några sekundära reaktioner i betongen.

Tätets-och tryckprovningar samt inspektioner

Enligt SAR har reaktorinneslutningen tryckprovats sommaren 1968 med ett absolut tryck av 4.5 bar (0.45MPa) och täthetsprovats vid 3,7, 2.4 och 1.8 bar. Återkommande täthetsprovning sker enligt STF 3 gånger per 10 års period. Enligt [1] sker täthetsprovningarna vid 0.275 Bar (a), samt att därvid tillämpas en stabiliseringstid av ca 12 timmar och att mätningstiden är också ca 12 timmar. Mellanbjälklaget täthetsprovas också 3 gånger per 10 år. Detta infördes för första gången 1975, efter särskilda krav från SKI.

I [2] redovisas de historiska läckagefaktorerna för de olika blocken inom OKG.

Inspektioner av byggnader

Inspektioner uppges bli genomförda i samtliga utrymmen i såväl reaktorbyggnaden som i inneslutningen periodiskt med avseende på förebyggande byggnadsunderhåll. Enligt [1, 2] genomförs dessa kontroller efter särskilda instruktioner.

Instrumentering

OKG uppger i kompletterande underlaget enligt [1] att den instrumentering som idag finns och används vid reaktorinneslutningarna i Oskarshamn är temperaturmätning av vissa processgenomföringar.

Teknisk livslängd

OKG uppger i den kompletterande redovisning [1] att tekniska livslängden för betongkonstruktioner bedöms vara av minst 100 år. Detta motiveras med att miljöförhållandena när det gäller inneslutningarnas konstruktioner i OKG:s kärnkraftverk är sådana att de enda väsentliga förändringar som kan inträffa under en period av 50-100 år är en viss uttorkning och leda till sprickbildning, men att detta är beaktat i konstruktionsförutsättningarna för inneslutningarna.

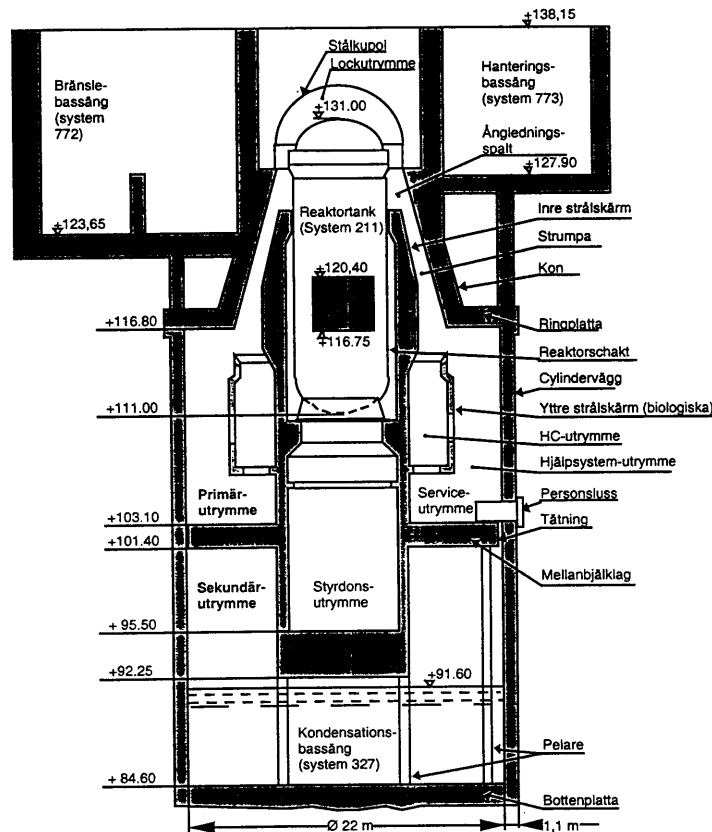
Termiska laster under normaldrift

OKG uppger i kompletterande underlaget enligt [2] att temperaturen i inneslutningen under händelseklass H1 – normaldrift kan variera enligt följande:

- Gastemperatur i primärutrymmet 50-60 °C
- Gastemperatur i sekundärutrymmet 20-60 °C
- Genomföringar i biologiska skyddet 25-40 °C

- Genomföringar exkl system 311 och 312 29-60 °C
- Genomföringar för system 311 och 312 på insidan max 70 °C
- Genomföringar för system 311 och 312 på utsidan max 170 °C

Ringhals 1



Figur 3. Ringhals 1 – Principskiss av inneslutningen med inre strukturer och bränslebassänger.

De övergripande kraven och systembeskrivningarna för inneslutningen i Ringhals 1 anges i dess SAR, system 142, utgåva 02, 1998-03-31

Enligt SAR är inneslutningen konstruerad för:

- ett tryck av 5.2 bar (a). Enligt [4] uppges dock att på grund av de osäkerheter som rådde vid konstruktionsskedet dimensionerades RI:s alla delar för ett tryck av 7.3 bar (a), med hänsyn till 0.2 sträckgränsen för konstruktionsstålet och spännarmeringen.
- ett inre undertryck av 0,5 bar (a).
- max temperatur av 157 °C hos inneslutningsatmosfären,
- kortvarig max yttemperatur lokalt av 280°C.
- maximala tryckdifferens över ringbjälklaget (uppifrån) 2.4 bar (a), 0.5 bar (a) (nerifrån)
- maximala temperatur i kondensations bassängen 100°C under två timmar.

Enligt SAR kan trycket i inneslutningen vid PC6 (Plant Conditions) händelser (vattenfylld inneslutning) komma upp i 7.5 bar, men att senare analyser visat att inneslutningen kan klara av detta tryck, referenser anges. Vidare anges i SAR referenser till belastningsritningar.

Tryckavsäkring av inneslutningen sker via system 362 (FILTRA) vid 5.2 bar absolut, d.v.s. vid konstruktionstrycket för inneslutningen. Beroende på liten kapacitet i FILTRA-anläggningen kan trycket dock fortfarande stiga, varför i sin tur sprängblecket i system 361 utlöser vid 6.5 bar och tryckavlastningen sker direkt till omgivningen. Enligt SAR bedöms emellertid denna händelse, utsläpp till omgivningen, ha liten sannolikhet beroende på 516-I isolering mm. Ringhals 1 har ett system för vattenfyllning av reaktorinneslutningen efter ett svårt haveri, system 365.

Enligt SAR har vid konstruktionen av inneslutningens olika delar följande normer och standard tillämpats:

- Tryckkärlsnormer (TKN), tryckkärlskommissionen 1967
- SKI-FTKA
- Regeringsbeslut 11 av 1986-02-27, (Tryckavsäkring av inneslutningen)
- Design Criteria for reinforced Concrete Nuclear Reactor Containment Structures, ACI Committe 349, 1970.
- US 10CFR50 Appendix A, general design Criteria (GDC)
 - Generella kriterier: 1, 2, 4
 - Systemspecifika kriterier: 16, 50, 51, 52, 53
- Svensk Byggnorm SBN 1967,
- Statens vattenfalls B-cirkulär Nr 19, 1967
- Statens betongkommitte, B5-1965, B6-1968, B7-1968
- Statens planverk, SBN-S, 25:21, 1969
- Statens vägverk; Brobyggnadsanvisningar, avd 3, Brokonstruktioner av spännbetong – 1968
- Statens Vattenfallsverk: Anvisningar för utförande och kontroll av betongkonstruktioner
- Normer för monteringsfärdiga byggnadselement av betong, B2-1960
- Pann- och Byggsvetsnormer, IVA 1949
- StBK-N1, 1970

Det uppges i SAR att avsteg från ovan angivna normer kan förekomma såväl i liberaliserad som konservativ riktning där Vattenfall genom teoretiska undersökningar eller praktiska prov har påvisat att annat dimensioneringsförfarande kan eller bör tillämpas.

Allmän byggnadsbeskrivning

Reaktorinneslutningen utgör dels av en förspänd betongkonstruktion som tryckuppbärande del och ett i betongen inlagt stålskal som gastätande del, dels av en stålkupol som tryckbärande och gastätande del i inneslutningstoppen. Nedre delen av inneslutningen (sekundärutrymmet) utgörs av en kondensationsbassäng avskild från den övre delen (primärutrymmet genom ett bjälklag av betong. Reaktorn, som är placerad i primärutrymmet, omges av en särskild strålskärm, som även fungerar som fundament.

Bottenplattan. Inneslutningen är grundlagd på en tre meter tjock bottenplatta, som gjutits direkt mot berg. För att förhindra upptryck av grundvatten mot bottenplattans undersida dräneras berggrunden genom att en cirkelformad tunnel belägen ca 7 meter under bottenplattans underkant. För begränsning av grundtrycket och sättningar

grundlades hela reaktorbyggnaden på en utbredd styv bottenplatta, som är gjuten på ca 10 cm tjock grovbetong på nivån +90 m. Under bottenplattan finns ett dränagesystem.

Cylindriska delen mellan nivå +84.6 m och ringplattan (+116.8 m) utgörs av en betongcylinder med 22 m invändig diameter. Väggen är invändigt klädd med en rostfri plåt upp till nivån +92.1 m, dvs drygt vattennivån i kondensationsbassängen. Betongväggen är 1.1 m tjock och förspänd både horisontellt och vertikalt. Den cylindriska väggen är gjuten i två delar: den inre och yttre. Den inre cylindern är glidformsgjuten och är 25 cm tjock. Utanpå denna är tätplåten monterad. Spalten mellan den inre betongcylindern och tätplåten är injekterad med cementbruk. Den yttre betongcylindern med spännkablar och slakarmering är motgjuten till tätplåten.

Cylindriska delen av inneslutningen upptill och nedtill är avslutade med glidfogar, för att medge horisontella rörelser. För att åstadkomma täthet är de båda glidfogarna försedda med dubbla elastiska element – toroidsegment. Materialet i de nedre toroiderna är SS 2343, och i de övre FAMA 25.

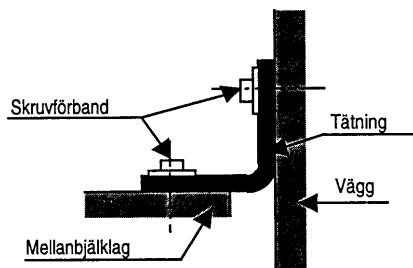
Förspänningen. Den cylindriska väggen är i horisontell led förspänd med 196 stycken kablar. Vardera kabeln går ett halvt varv kring inneslutningen, [4]. Förspänningen sker via 4 stycken förankringsklackar på väggens utsida. Extra slakarmering är inlagd i partier där genomföringar tvingat isär spännkablarna, som är av typ BBRV och består av 55 à 6 mm kalldragna trådar med 0.2-gränsen 1500 MPa och brottgränsen 1750 MPa. Vid den ursprungliga uppspänningen av de horisontella kablarna brast 2 st förspänningsankare medan ytterliga 9 st uppvisade sprickor. Alla ankare som man kunde komma åt byttes ut därefter. Vissa ankare för de vertikala spännkablarna var vid tillfället redan ingjutna, som inte kunde bytas ut. Därför försågs som kompensation inneslutningen med 18 st extra kablar i vertikal led. Dessa är förlagda i skyddsror utanpå inneslutningen och förankrade i bassängernas överkant och samt i dränagetunneln. För den vertikala förspänningen av cylindriska väggen har samma typ av kablar använts. Totalt finns 100 stycken vertikalkablar.

Förutom de 18 st spännkablar som monterades i senare skede och ligger på betongväggens utsida, är de övriga kablarna inte åtkomliga för inspektion och byte. Dessa ligger i foderrör och är injekterade med cement. Dock är inte heller förankringarna till de 18 st kablarna inte åtkomliga för inspektioner och byten, möjligen med undantag av de nedre förankringar vilka ligger i dränagetunneln, och kan vara åtkomliga för visuella inspektioner.

Ringplatta och kon. Inneslutningens övre del, ringplatta med ovanliggande kon, är utförd i 1.5 meter tjock slakarmerad betong. Konen är avtätat uppåt med en stålkupol som är förankrad i konens övre del med hjälp av en kraftig stålkonstruktion. Konen och ringplattan är sammangjutna med de ovanliggande slakarmerade bassängerna.

Mellanbjälklag. Inneslutningens primär-och sekundärdel åtskiljs av ett betongbjälklag på nivån +103.1 m. Bjälklaget är inte gjutet med cylindriska väggen, utan vilar på 16 stycken pelare runt periferin. Längs inre randen vilar bjälklaget på en cylinder, som i sin tur vilar på 8 stycken pelare. Under 70-talet genomfördes en förstärkning av den centrala delen av bjälklaget, för att kunna motstå nivåhävningsslaster i kondensationsbassängen. Mellanbjälklaget är avtätat mot cylinderväggen med en tätningssring bestående av en klooprengummiduk som är armerad med en rostfritt

stålduk. Gummiduken är monterad med plattjärn och expanderbult på cylindriska väggen respektive bjälklag.



Figur 4. Ringhals 1 – Principskiss av infästningen till mellanbjälklaget mot cylindriska väggen.

Tätplåten i cylindriska delen av tätskalet består av en hel cylinder, tillverkad sarg för sarg på en provisorisk plattform successivt nedsänkt runt inneslutningens invändiga betongskal. Sargarna är uppbyggda av rektangulära plåtar, tjocklek 5 mm och material SIS 2102, med de vertikala svetsarna förskjutna. Över varje svetsfog ligger en tätsvetsat U-profil som tillsammans med plåten bildar ett testkanalsystem som ansluts till system 758.

Den cylindriska delen och konen av betongbyggnaden är förbundna med varandra genom ringplattan. Svetsarna mellan plåtarna, som är fritt exponerade, i ringplattan är täckta av U-profiler som bildar testkanaler på samma sätt som i den cylindriska delen. Konen är som den cylindriska delen uppbyggd av ett antal sargar med de vertikala svetsarna. Systemet med testkanaler är också lika. Plåten med tjocklek 6 mm är dock fritt exponerad och inte som i den cylindriska delen skyddad av ett betongskikt.

Täta skalet avslutas nedtill av en rostfritt inklädnad. Bottenplattan är helt inklädd med 3 mm rostfritt SS 2343. Alla plåtskarvar är tätsvetsade mot ett underliggande plattstång (PLST 40x6, SS 2343). Läckageindikeringskanaler finns i form av ursparingar i betongen längs alla svetskarvar.

Genomföringar är enligt vad som kan utläsas av SAR för Ringhals 1 av två principrör genomföringar genom reaktorinneslutningens yttre cylindervägg (skalgenomföringar) och rör genomföringar för mellanbjälklag (bjälklagsgenomföringar).

Genomföringar för processrör består bl.a. av foderrör, mellandel och kona. Av praktiska skäl har genomföringar tillverkats och levererats i två delar, processrör och foderrör. En typisk genomföringskonstruktion i det yttre skalet framgår av figur 5. Som framgår av figuren för skalgenomföringarna i yttre cylinderväggen är foderrören gas- och trycktätt svetsade till reaktorinneslutningens tätplåt. I anslutningen till tätplåten finns en testkanal som medger täthetskontroll av svetsen.

Tätplåt, i cyl.vägg						SS2102, 5mm	
Tätplåt, ringplatta							
Kupol							
Ned toroid						FAMA 25	
Övre toroid						SS 2343	

Mer ingående sammanställningar angående material finns i SKI rapport 02:59.

Av det kompletterande underlaget enligt [4] framgår inte att Ringhals genomför några återkommande materialprovningar av betongkonstruktioner. Det framgår dock att man vid speciella tillfällen bl.a. vid ånggeneratorbytena på ringhals 2 och 3 tagit ut prover för bestämning av hållfasthetsegenskaper hos betongen, betämning av karbonatiseringsdjupet, kloridhalt och mm. Utan preciseringar framgår att vid ånggeneratorbytena på ringhals 3 genomfördes ett speciellt kontrollprogram för tätplåten och betongen.

Krav på kontroller och inspektioner

Enligt SAR skall inneslutningen inklusive skalventiler högst få läcka 1% av den inneslutna gasmassan per dygn vid ett absolut tryck av 4.5 bar (0.45 MPA)

Enligt kompletterande underlaget [4] uppges att inneslutningen i Ringhals 1 provtrycktes vid 4.1 bar (ö) före idrifttagningen.

De 18 vertikala spännkablarna som inte är injekterade längs hela sin längd och går utanpå inneslutningens vägg skall inspekteras regelbundet, enligt av Ringhals speciellt utarbetade rutiner.

Vidare framgår att betongytor runt spännkabelförankringar skall inspekteras regelbundet.

Tekniska livslängden

Ringhals uppger i det kompletterande underlaget enligt [4] att den tekniska livslängden för ringhals reaktorinneslutningar inte diskuterades vid konstruktionsskedet av dessa, och följaktligen är inte preciserad. Ringhals uppger att den konstruktionsdel som globalt skulle kunna vara livslängdbegränsande är förmodligen spännkablarna genom att spännkraften avtar med tiden kommer förspänningen att minska och inneslutningen kommer inte att klara av konstruktionstrycken. Vidare uppger ringhals uppger, [4], lokalt kan skador på tätplåten vara besvärande och då speciellt vid övergångar från en konstruktionsdel till en annan.

Kontroller mm

I det kompletterande underlaget enligt [4] uppger Ringhals att återkommande byggnadsbesiktningar görs generellt vart 4:e år, samt att dessa utförs efter en intern instruktion. Vidare uppger man att testkanaler för täthetsprovning av svetsarna i tätplåten finns för samtliga RI i ringhals, men att bara i ringhals 2-4 sker provtryckning av dessa, vilka genomförs vid de återkommande globala täthetsprovningarna.

Täthetsprovningar

De globala täthetsprovningarna i Ringhals 1 sker enligt [4] 3 gånger per 10 år. Dessa utförs vid ett tryck av 2 bar (ö). Mättiden anges vara minst 8 timmar, men att i praktiken tillämpas 20 timmar. Stabiliseringstiden uppges vara minst 4 timmar, men att man i praktiken tillämpar ca 20 timmar. De historiska läckagefaktorerna för samtliga RI i Ringhals återges i [4].

Verifieringar med mer moderna metoder

Ringhals uppger i det kompletterande underlaget enligt [4] att i samband med MITRA-projektet avseende införandet av filtrerad avlastning av inneslutningen vid svåra haverier, vissa bedömningar av gränshållfastheten i inneslutningarna gjordes. Enligt dessa bedömningar uppges att inneslutningen i Ringhals 1 har en nedre brottlaster vid 7.5 ba(a). Vid detta tryck uppges att tätheten vara uppfyllt.

Termiska laster under normaldrift

Ringhals uppger enligt [4] när det gäller termiska laster i inneslutningens olika delar att i det övre primärutrymmet i Ringhals 1 varierar temperaturen mellan 50 –55 °C och i de lägre utrymmena liksom i sekundärutrymmet 20 –30 °C beroende på årstid. Lokalt kring genomföringar i inneslutningen och biologiska skyddet uppges temperaturen i allmänhet inte vara högre än 60°C. Dock uppger Ringhals att temperaturen i vissa extremfall kan komma upp emot 100°C. Vilka dessa extremfall är beskriver Ringhals i sin redovisningen [4].

Barsebäck 2

De övergripande kraven och systembeskrivningarna för inneslutningen i Barsebäck 2 anges i dess SAR, kap 14.

Konstruktionsförutsättningar

Enligt SAR är inneslutningen konstruerad för:

- ett inre övertryck av 5 bar
- ett inre undertryck av 0,5 bar.
- max temperatur av 157 °C hos inneslutningsatmosfären,
- kortvarig max yttemperatur lokalt av 280 °C.
- maximala tryckdifferens över ringbjälklaget (uppifrån) 2.4 bar, 0.5 bar nerifrån
- maximala temperatur i kondensations bassängen 100 °C under två timmar.

Enligt SAR för FILTRA har jordbävning inte utgjort någon konstruktionsförutsättning för Barsebäckverket, enligt anläggningens ursprungliga konstruktionsförutsättningar. Reaktorinneslutningen och reaktorn har dock senare bedömts kunna motstå en jordbävning med en markacceleration på ca 01-0,15 g.

Tillämpade normer och standard vid konstruktionen av inneslutningens olika delar:

- Statens planverk SBN-S25:21, SBN-S26
- Statliga bestämmelser för betongkonstruktioner B7 1968rit tillräckliga
- Tryckkärlsnorm och Pannsvetsnorm

Säkerhetsmarginaler. Enligt SAR förblir spänningarna i skalet inom det elastiska området, om inre trycket ökas med 25 %, d.v.s. till 6 bar absolut. Om det dimensionerande normala trycket överskrids med 50 %, d.v.s. till 7 bar absolut, blir dragspänningarna runt vissa genomföringar i betongen så stora att viss bestående sprickbildning kan uppträda i skalet. Nivån på spänningarna i spännstål och slakarmering förblir dock under dess sträckgräns, medan tätplåten lokalt kan töjas plastiskt. Vid en överblastning av 100 % av inre trycket uppnår spänningarna i slakarmeringen sträckgränsen, medan 0.2-gränsen för spännstålet endast överskrids lokalt i närheten av dessa förankringar. Vid denna last kan således omfattande sprickbildning i betongen och samt i tätplåten befaras.

Tryckavsäkringen i Barsebäck 2 sker via en huvudledning och två stycken bypass ledningar. Huvudledningen med diametern 600 utgår från sekundärutrymmets övre del i inneslutningen, och är försedd med ett sprängbleck, som utlöser vid ett tryck av 6.5 bar, dvs 1.5 bar över ursprungligt dimensionerande tryck för inneslutningen. Efter sprängblecket finns 2 st ventiler, som normalt är låsta i öppet läge. Denna ledning avlastar direkt till stenkondensorn, system 362.

Med de två redundanta bypassledningarna kan tryckavlastning från inneslutningens övre primärutrymme ske även manuellt. Ledningarna säkerställer att tryckavlastning kan ske vid situationer med extrem hög vattennivå i inneslutningens kondensationsbassäng.

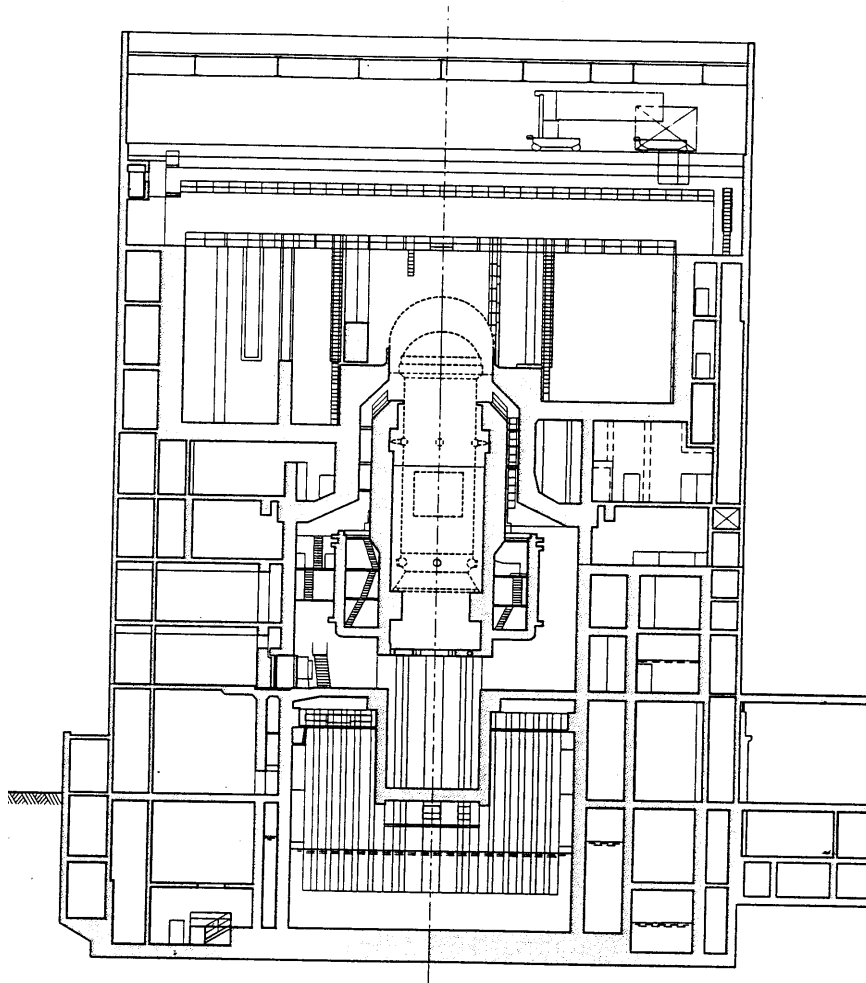
Bypassledningarna med ett diameter 150 ansluter via dubbla normalt stängda skalventiler till huvudledningen.

Tryckavlastningssystemet 361 avlastar via system 362. System 361 ansluter höjdpöskningar i till dry-well via två ledningar – bypass- och huvudledning. Systemet har ett sprängbleck som sitter efter stenkondensorn – system 362. Enligt SAR gör de sammanbyggda systemen att trycket i inneslutningen inte kommer att överstiga 6.5 bar (a)

Barsebäck 2 saknar för närvarande ett system- motsvarande för andra anläggningar, för vattenfyllning av reaktorinneslutningen efter ett svårt haveri. Enligt uppgift är ett sådant system under byggnad.

Allmän byggnadsbeskrivning

Reaktorinneslutningen utgör dels av en förspänd betongkonstruktion som tryckuppbärande del och ett i betongen inlagt stålskal som gastätande del, dels av en stålkupol som tryckbärande och gastätande del i inneslutningstoppen. Nedre delen av inneslutningen (sekundärutrymmet) utgörs av en kondensationsbassäng avskild från den övre delen (primärutrymmet) genom ett bjälklag av betong. Reaktorn, som är placerad i primärutrymmet, omges av en särskild strålskärm, som även fungerar som fundament.



Figur 6. Barsebäck 1 – Vertikalt snitt genom reaktorbyggnaden och inneslutningen med inre strukturer såsom bjälklaget och strålningsskärmar.

Grundläggning. Marken, vars yta är belägen på nivån +102 m, består överst av 1-3 m stenig sand, grus eller mo samt därunder av lerig moig morän och moränlera till nivån ca +77 m. Under moränen kommer sedan kalkberget på nivån +70 till 75 m.

Bottenplattan. För begränsning av grundtrycket och sättningar grundlades hela reaktorbyggnaden på en utbredd styv bottenplatta, som är gjuten på ca 10 cm tjock grovbetong på nivån +90 m. Under bottenplattan finns ett dränagesystem.

Cylinderväggen. Den nedre delen har en diameter av 20.6 m, vägg tjockleken är 1 m. Täthetsplåten i denna del är 6 mm tjock av kolstål 141312, och är ingjuten ca 26 cm från väggens insida. Ca 10 cm ovanför bassängbotten är tätplåten ansluten till bassängens rostfria plåtbeklädnad via en ingjuten horisontell plåtring. Till en höjd av ca 1.5 m ovanför vattennivån i bassängen är den cylindriska väggen invändigt påklädd med ett 1.5 mm tjock rostfritt plåt.

Den *cylindriska väggen* är förspänd i både vertikalt och horisontell led. Spännkablarna består av höghållfast stål. De vertikala kablarna är förankrade vid takets överkant samt i botten just ovanför bottenplattans underkant. De horisontella kablarna är förankrade vid takets vid fyra symmetriskt placerade pilstrar på väggens utsida.

Ringbjälklaget. Inneslutningens primär och sekundär utrymme åtskiljs av betongbjälklag, som vid haveri skall motstå tryck såväl ner- som uppifrån samt utgöra stöd i horisontell led för cylindriska skalet i samband med rörledningsbrott. Bjälklagsplattan, som är 0.6 m tjockleken, är fixerad i horisontell led mot cylindriska skalet. Tätningen i fogen mellan bjälklaget (nivå + 113.5 m) och inneslutningens cylindriska vägg utgörs av en beläggning i form av en epoxibaserad platsmassa, vilken glasfiberarmerats och lagts över fogen.

Tätplåten är ingjuten i cylinderväggen. Godstjockleken av tätplåten varierar mellan 5 till 8 mm av stål 141312. Plåten ihopsvetsades på plats. Svetsarna i svetsen i cylinderpartierna utfördes som stumsvetsar med minst två strängar samt mejsling och eftersvetsning av roten. Tätplåten i taket fogades samman genom stumsvetsning mot underliggande plattstång som rotstöd.

Kontroll och provning

Tryckprovningen av hela reaktorinneslutningen utfördes vid 5 bars inre tryck. Därvid uppmättes deformationer, som stämde med de beräknade.

I anslutningen till tryckprovningen skedde täthetsprovning vid två trycknivåer, 3 och 4.5 bars inre tryck. Erhållna läckage var 10 % av de tillåtna.

Enligt kompletterande underlag, [5], tillämpas 12 timmars stabiliseringstid vid de globala täthetsprovningarna, mättiden uppges pågå under 24 timmar. Läckagehistoriken återges i [5].

Material

Mer ingående sammanställningar angående material finns i SKI rapport 02:59.

Av det kompletterande underlaget enligt [5] framgår inte att Barsebäck genomför några återkommande materialprovningar av betongkonstruktioner. Det framgår dock att man i

samband med Erling-projektet 1993 gjordes ett antal mindre provuttag för att utröna om alkali-silika-reaktion pågick i betongen. Av det nämnda kompletterande underlaget framgår utan någon närmare precisering att de därvid genomförda proverna indikerade på att sådana reaktioner fanns, men att de uppföljande värderingar under år 2000, med bland annat uppföljning av sprickutvidgningar, visar att dessa reaktioner numera kan avskrivas.

Termiska laster under normaldrift

BKAB uppger i det kompletterande underlaget enligt [5] att temperaturen i inneslutningen under händelseklass H1-normaldrift kan variera upp till 55 °C i primär- och sekundärutrymmet. Betongtemperaturen kring 313-genomföringar i biologiska skyddet uppges variera mellan 60 och 120 °C. Kring övriga genomföringar i inneslutningsväggen uppges vidare temperaturen vara max 60 °C.

Oskarshamn 2

De övergripande kraven och systembeskrivningarna för inneslutningen i Oskarshamn 2 anges i dess SAR, system 100, kap 14.

Konstruktionsförutsättningar

Enligt SAR är inneslutningen konstruerad för:

- ett inre tryck av 5 bar, absolut (a)
- ett inre undertryck av 0,5 bar (a).
- max temperatur av 157 °C hos inneslutningsatmosfären,
- kortvarig max yttemperatur lokalt av 280°C.
- maximala tryckdifferens över ringbjälklaget (uppifrån) 2.2 bar, 0.4 bar nerifrån
- maximala temperatur i kondensations bassängen 93°C under två timmar.
- ett täthetskrav innebärande att maximalt 0.5 % av den inneslutna gasmassan för läcka ut under 24 timmar

Tillämpade normer och standard vid konstruktionen av inneslutningens olika delar:

- Statens betongkommittés bestämmelser B5, B6, B7(gäller samtliga betongkonstruktioner)
- Statens planverks spännbetonger SBM-S-525:21 (gäller för samtliga byggnadsdelar av förspänd betong)
- Statens planverks stålbyggandsnormer SBM-S-26(gäller för alla övriga byggnadsdelar av stål i inneslutningen)
- Tryckkärlsnorm och pannsvetsnorm

Säkerhetsmarginaler.

Enligt SAR förblir spänningarna i skalet inom det elastiska området, om inre trycket ökas med 25 %, d.v.s. till 6 bar absolut. Om det dimensionerande normala trycket överskrids med 50 %, d.v.s. till 7 bar absolut, blir dragspänningarna runt vissa genomföringar i betongen så stora att viss bestående sprickbildning kan uppträda i skalet. Nivån på spänningarna i spännstål och slakarmering förblir dock under dess sträckgräns, medan tätplåten lokalt kan töjas plastiskt. Vid en överblastning av 100 % av inre trycket uppnår spänningarna i slakarmeringen sträckgränsen, medan 0.2-gränsen för spännstålet endast överskrides lokalt i närheten av dess förankringarna. Vid denna last kan således omfattande sprickbildning i betongen och samt i tätplåten befaras.

Tryckavsäkringen av inneslutningen består liksom i Oskarshamn 1 av två system, dels av system 362 som blåser via Filtra-anläggningen, dels system 361 som blåser direkt till atmosfären. Konstruktionen av dessa är snarlik i Oskarshamn 1. System 361 består av en DN 800 rörledning med ett sprängbleck i serie med två ventiler, vilka normalt står öppna. När sprängblecket utlöser vid ca 6.5 bar, sker blåsning till fri atmosfär. Enligt SAR har utlösningstrycket valts så att en LOCA händelse inte ger öppning och avblåsning av systemet. Först i samband med en LOCA i kombination med ett stort läckage i bjälklaget(mellan primär – och sekundärutrymmet), då trycket kan stiga över 6.5 bar aktiveras systemet genom att blecket sprängs. Efter 20 min stänger de två skalventilerna automatisk. Därefter nedtas trycket i inneslutningen på genom blåsning via system 362, som har en manuell och en automatisk avlastningsmöjlighet.

Sprängbleck i system 362 utlöser vid 5 bar. Avlastningsledningarna för båda systemen utgår från dry-well.

Allmän byggnadsbeskrivning

Grundläggning/bottenplatta. Under inneslutningen är berget bortsprängt och avschaktat, ner till nivån +85 m under marknivån +106m. Belastningen från inneslutningens yttervägg föres till berget via ett neoprenlager, ca 50 cm tjock armerad betongavjämning. Genom att neoprenlagret är under ytterväggen kontinuerligt och i ringled helt slutet utgör det en vattentätning för det innanför liggande utrymmet under inneslutningens botten. Under detta lager finns ett dränagesystem genom vilket eventuellt läckage via botten på inneslutningen kan detekteras och avledas till stationen för aktivt avfall. Plattan, vilken i centrala delarna är lagd på en makadambädd, är i ringled förspänd. Dess överyta är täckt med en rostfri plåt, som utgör den primära vattentätningen mellan kondensationsbassängen och betongen. Tätplåten är via skenor svetsförankrad vid ett ortogonalt system av ingjutna balkar.

Cylinderväggen. Den nedre delen av cylinderväggen har en innerdiameter på 20,6 m och tjocklek 1 m. Vid basen mot bottenplattan är den extra tjock 1.5 m. Övergången är momentöverförande. Tjockleken avtar linjärt uppåt till 1 m/2m. På denna nivå är den gastätande 5 mm tjocka plåten i vertikala väggen, vilken är ingjuten 25 cm innanför väggens insida, ansluten till bassängens bottenplåtbeklädnad, via en ingjuten horisontell plåtring. (Denna del är diffust beskrivet i SAR)

Den cylindriska väggen är förspänd i både vertikal och horisontell led. Det uppges att kablarna är av höghållfast stål, utan närmare angivelse av beteckning och dimension. Konstruktionen beskrivs ej heller närmare, mer än att de vertikala kablar är förankrade i takets överkant, samt att de horisontella är symmetriskt förankrade vid fyra klackar på väggens utsida, s.k pistolstrar.

Mellan nivåerna +103 och +104.3 m är den cylindriska väggen på insidan förstärkt med pågjutning, som tillsammans med väggen innanför tätplåten bildar en hylla för bjälklaget mellan primär- och sekundärutrymmet. Det uppges här att ringförstärkningen är så att väggen och hyllan skall förbli fria från större dragspänningar vid belastningar.

Vid nivån 118.8 m gjöts väggen styvt med den koniska delen, vilken är 1.1 m tjock. Tätplåten är även i den koniska väggen 5 mm tjock och ingjuten 25 cm från insidan av betongväggen. Väggen är förspänd med kablar liksom i den övriga cylindriska väggen. Förspänningen är i ring – och generatrisled.

I den övre delen av den vertikala cylindriska väggen är den från början 1 m tjocka väggen förstärkt till 1.5 m på grund av inlägget av extra förspänningskablar som förstärkningsåtgärd efter den brand som skadade inneslutningen under byggnadstiden (1972). För närmare beskrivningen angående den utredning som gjordes då hänvisas i SAR till referenser.

PS-kupolen, det löstagbara locket över inneslutningen, är utfört av tryckkärlstål och utformat som en halvsfär ovanpå en låg cylindrisk sarg, som bildar övergång till en förankringsfläns. Denna bultas fast i den ingjutna förankringsflänsen i översidan av inneslutningens övre cylindervägg. Den ingjutna flänsen ansluter till inneslutningens tätplåt.

Mellanbjälklag. Inneslutningens primär- och sekundär del är åtskilda av ett betongbjälklag, vars överkant på nivån +106 utgör service utrymme. Bjälklaget skall vid haveri motstå tryck såväl upp- som nerifrån. Det uppbär vidare de 95 st nedblåsningsrören, genom vilka ångströmmen efter ett rörbrott i primärutrymmet leds till kondensationsbassängen. Rören, som är 0.6 m i diameter och är grupperade i åtta radiella rader, hänger i bjälklaget. Nedblåsningsrörens övre mynnningar överbryggas med gallerdurk.

Tätplåten. Den ingjutna tätplåten, 5 mm tjock och av stål SIS 141312, ihopsvetsades på plats. Svetsarna i den cylindriska väggen utfördes som stumsvetsar med minst två strängar med mejsling och eftersvetsning av roten. Tätplåten i taket ihopsattes genom stumsvetsning mot underliggande plattstål som rotstöd. Enligt [1, 2] förekommer inga testkanaler för svetsar i tätplåten i blocken vid OKG

Anslutningar mellan tätplåten och genomföringarnas foderrör skedde genom svetsning från insidan av inneslutningens väggar och tak.

Material

Se sammanställningen enligt SKI rapport 02:59 samt under block 1

Kontroller, inspektioner, täthetsprovningar mm

Enligt SAR har kontroll av byggnadsmaterial och utförande skett i enlighet med vederbörliga statliga bestämmelser. Spännarmeringen har löpande kontrollerats av tillverkaren med drag- och bockprovningar på varje trådring. Vidare uppges att i inneslutningen ingående stålkonstruktioner tillverkats i enlighet med konstruktionsplaner, vilka funnits tillgängliga för besiktningsmännen.

Tryck- och täthetsprovningar före drifttagning har enligt SAR utförts med godkänt resultat. Likaledes har genomföringarna tryck- och täthetsprovats. De återkommande täthetsprovningar av RI utförs enligt [1, 2] 3 gånger per 10 år. Dessa utförs vid 3 bar(a). Lika mät- och stabiliseringstider som för block 1 tillämpas. De historiska läckagefaktorerna vid dessa mätningar finns redovisade i [2].

Termiska laster under normaldrift

OKG uppger i kompletterande underlaget enligt [2] att temperaturen i inneslutningen under händelseklass H1-normaldrift kan variera mellan 20 - 60 °C i primär- och sekundärutrymmet, och i biologiska skyddet mellan 26-74 °C

Liksom för block 1 uppges kontinuerlig temperaturmätning ske i vissa positioner.

Forsmark 1 och 2

- 1 De övergripande kraven och systembeskrivningarna för inneslutningen i Forsmark 1 och 2 anges i dess SAR, system 142, kap 8.

Konstruktionsförutsättningar

Enligt SAR är inneslutningen konstruerad för ett inre övertryck av 450 KPa, och ett inre undertryck av 0,5 bar. Vid 50% ökning av inre övertrycket vid ett haveri skall icke sträckgränsen för konstruktionsstål och armering eller 0.2-gränsen för spännkablar överskridas.

Tillämpade normer och standard vid konstruktionen av inneslutningens olika delar:

- Svenska Byggnorm SBN 1967,
- Statens vattenfalls B-cirkulär Nr 19, 1967
- Statens betongkommitte, B5-1965, B6-1968, B7-1968
- Statens planverk Publ nr 17, SBN-S, 25.21, 1969
- Aci, Committee 349, 359, där de svenska normerna ej varit tillräckliga
- Pannsvetsnorm IVA 1971,
- Tryckkärlsnorm IVA 1973
- SBN 67,
- StBK-N1 1970
- StBK-N2, StBK-N4, 1974
- StBk-K1 1973
- StBk-K2 1973

Enligt SAR är byggnaden dimensionerad för följande laster, vilka enligt densamma finns sammanställda i PM SV/BVK 1978-03-30 (finns ej i SAR):

- Egenvikt
- Vattenlast
- Temperatur
- Övertryck vid rörbrott, konstruktionstryck 4.6 bar
- Undertryck vid oavsiktlig sprinkling 0.5 bar
- Reaktions- och impulslaster vid rörbrott
- Komponentvikter, fundamentlast
- Dynamiska laster från system 314
- Rörliga laster från travers och teflerbalk

Tryckavsäkring och tryckavlastning av inneslutningen i Forsmark 1 och 2 sker via system 361 – med direkt avblåsning till fri atmosfär och system 362 – med filtrerad avblåsning via sten.

System 361 består av en kort ledning med diameter 800 mm med ett sprängbleck placerat i serie med två stycken skalventiler, som normalt står öppna. Efter tryckavsäkring, genom öppning av sprängblecket vid 7.5 bar (a), avbördas gas och ånga till omgivande atmosfär, så att högsta tillåtet tryck (8 bar) i inneslutningen inte

överskrids. Efter 10 minuters avblåsning stänger ventilerna automatiskt. Ledningen är ansluten till inneslutningens övre primärutrymme.

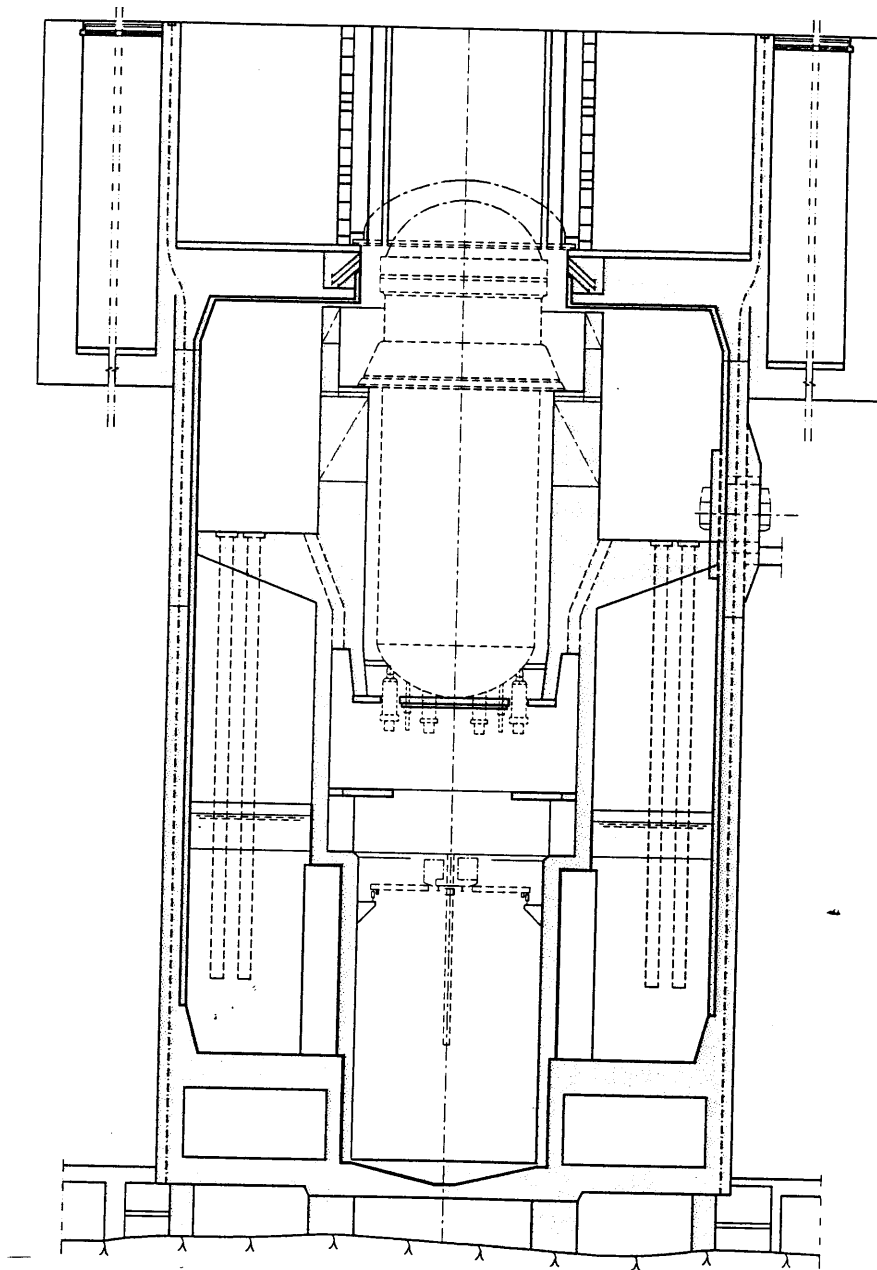
System 362, som även denna ansluter till reaktorinneslutningens övre dry-well, har två parallella tryckavlastningsfunktioner, en automatisk och en manuell. Den förra består av ett sprängblek i serie med normalt två öppna ventiler, medan den andra består av en skalventil i serie med två parallella skalventiler. Samtliga ventiler är normalt stängda.

För system 362 uppges i SAR att automatiska funktionen för system 362 skall vara så dimensionerad att 12 kg/s mättad ånga skall kunna avbördas från reaktorinneslutningen vid ett inneslutningstryck av 7 bar (ö). Vid vilket tryck systemets sprängbleck utlöser (är inställt vid) framgår inte av SAR. Ej heller framgår detta tydligt av det kompletterande underlaget enligt [3]. När det gäller system 362 i Forsmark 1 och 2 framgår sammanfattningsvis av dess dimensioneringskriterier enligt dess systemtekniska beskrivningar att en viss avlastning skall kunna ske manuellt redan vid 6 bar (a) i inneslutningstryck, samt att högsta tillåtna trycket 8 bar (a) i inneslutningen inte skall överskridas.

Ett system för vattenfyllning av reaktorinneslutningen efter ett svårt haveri finns i Forsmark 1 och 2, system 365 (SAR allmän del, kap 9.18).

Allmän byggnadsbeskrivning

Reaktorinneslutningen består av ett cylindriskt betongskal, som avslutas nedtill av en bottenplatta och upptill av en plan ringplatta och ett stållock. Ringplattan och cylinderväggen bär de ovanför liggande bränslehanterings-bassängerna. Cylinderväggen och däröver befintlig konstruktion är separerad från reaktorbyggnaden medelst dilatationsfogar.



Figur 7. Forsmark 1 – Ett vertikalt snitt genom inneslutningen med inre strukturer och bränslebassäng.

Bottenplattan är sammansatt av en nedre cirkulär och en övre ringformad platta. Två cylinderformade, koncentriska väggar och, mellan dess, 8 radiella väggar förbinder plattdelarna till en styv cellkonstruktion. Den nedre plattan (nivå +97.5 m) är utförd i slakarmerad betong med diametern 24,2 m och tjockleken 1.7 m i mittpartiet och 1.3 m i ytterpartiet, är upplagd på koncentriska cylinderväggar och gjuten ovanpå avdränerad makadam på berg. Bottenplattans övre del utgöres av en 1.5 m tjock ringplatta (nivå +102 m) vars inre diameter är 8.80 m och yttre diameter 24.2 m. Den är inspänd i två cylindriska väggar, som är grundlagda direkt på berg.

De två vertikala cylindriska väggarna, som förbinder bottenplattans nedre och övre del, är vardera 1.1 m tjocka. Den inre är helt slakarmerad, medan den yttre är vertikalt

förspänd, då förspänningskablarna från inneslutningens cylinderväggar är förankrade i underkant av bottenplattans yttre del, nivå 96.2 m.

Cylinderväggen består mellan nivån +103.87 och +132.7 m av en 1.1 m tjock betongcylinder med inre diametern 22.0 m. Anslutningen av cylinderväggen till bottenplattan och takplattan är utförd som fast inspänd. Väggen är förspänd i såväl vertikal som horisontell riktning. Förspänningen utgörs av system VSL 19Ø13 Supa vars minimum garanterad brottlast uppgår till 355 MPa. Kabellayout framgår av ritning BVK5-1-903106-107 i S-dok., finns ej bilagd till SAR. Cylinderväggen utfördes genom att en inre 20 cm tjock och en yttre 78 cm tjock betongcylinder gjöts med glidform. Mellan cylindrarna fanns en 12 cm bred spalt. I denna spalt nedsänktes därefter ovanifrån den successivt sammanfogade tätplåten. Anslutningen till den horisontella tätplåten svetsades varefter spalten injekterades.

Övre ringplattan. Reaktorinneslutningens övre begränsning utgörs av en 2.5 m tjock ringplatta av slakarmerad betong och en stålkupol över plattans öppning. I ringplattan, som är sammangjuten med de ovanför liggande bassängerna, finns förutom den centriska öppningen en cirkulär intransportöppning med diametern 2.5 m.

Tätplåten är ingjuten i cylinderväggen mellan nivån +103.87 och +134.7 m med ett 0.26 m skyddande betongskickt. Godstjockleken av tätplåten är 10 mm rostfritt 2343 mellan nivån +103.87 och 104.07 m samt 10 mm stål 2102 i den övre vouten, i övrigt 6 mm stål 2102. Plåt cylindern är sammanfogad av rektangulära plåtar vilka är stumsvetsade till varandra från bägge sidor. På nedre vouten består tätplåten av 6 mm stål 2343 och är svetsat till ett gitter i samma material. Plåten användes som form vid gjutningen av nedre vouten. Tätplåten i övre ringplattan är 10 mm tjock av stål 2102.

Förspänningskablar. Såväl de horisontella som de vertikala förspänningskablarna i den cylindriska väggen oinjekterade. De skyddas mot korrosion med ett ventilationssystem med torkad luft, uppvärmd luft. Därigenom är kablarna ständigt utbytbara och åtkomliga för inspektion. Inspektionsprogrammet framgår dock ej av SAR eller STF.

Kupolen. Inneslutningstakets centrala del utgörs av ett avtagbart lock i form av en kupad gavel av stålplåt. Kupolen är en del av reaktorbasängerna och sluter därför vattentät mot den nedanför liggande inneslutningen. Mera detaljerad beskrivning av kupolen finns i SAR.

Inre konstruktioner. De inre konstruktionerna däribland mellan bjälklaget, vilket är av betong och skiljer inneslutningens primär- och sekundärutrymmen åt, består av slakarmerad betong. Mellanbjälklaget uppbäres av 8 stycken cirkulära pelare med diametern 1.5 m, och den inre konstruktionen är en från reaktorinneslutningen i övrigt helt skild enhet, som genom en vid mellanbjälklaget anlagd dilatationsfog kan röra sig helt fristående från inneslutningens cylindriska skal.

Rör genomföringar. Ett stort antal genomföringar för rör och elektriska kablar är utförda genom cylinderväggen. Dessa är utförda med ingjutningsrör, vilka förts in i ursparingar i väggen samt genom uppskurna hål i tätplåten. Efter det att rören har fixerats i läge har på varje rör en krage tätsvetsats mot tätplåten och mot röret. Efter fastsvetsning och kontroll av testkanaler med läckindikeringsrör har ursparingarna armerats och ingjutits. Injutningsrören är försedda med påsvetsade skjuvlistor.

Rör genomföringarna utgör fixpunkter för rören och tål att rören böjs eller vrids till bristning utan att genomföringen skadas.

Kontroll av reaktorinneslutningen

Enligt SAR har för kontroll och verifiering av att konstruktionsförutsättningarna beträffande inneslutningens tryckupptagande förmåga, täthet och statiska verkningsätt, tryck- och täthetsprovning samt kontroll av spännkablar utförts.

Tryckprovningen av hela reaktorinneslutningen utfördes årsskiftet 76/77 och täthetsprovning årsskiftet 77/78. Vid tryckprovningen provades hela reaktorinneslutningen 1,15 gånger konstruktionstrycket 450 KPa. Provningarna omfattade även provning av inre konstruktioner för differenstryck mellan primär- och sekundär utrymme.

Inspektioner av spännarmeringen företas enligt SAR, system 142, kap 8, regelbundet. Det står att linor skall tas ut och testas enligt särskilt program.

Material

	Klass	Grupp	Hållf	Cement Typ	Sten Storlek	Tillsats/ Material	Anm.
Bottenplatta			K400	LH –cement		?	Vatt.tät
Cylinder			K500	Std-cement	?	?	Vatt.tät
Takplatta			K500	LH-cement		?	Vatt.tät
Bassänger			K400, K500	LH-cement		?	Vatt.tät
Inre konstr.			K450, K500, K550	Std-cement, LH-cement	32	?	
Förspänningslina						Bridon Supa LR SIS 213620	
Slakarmering						Ks 40S, Ks 42S	
Tätplåt, botten i kond.bass.						OX 520 C	
Tätplåt, i cyl.vägg						Stål 2102-00	
Tätplåt, ringplatta						Stål 2102-00	
Kupol						Stål 2102-01	
Halvtoroid						Stål 2912	

Mer ingående sammanställningar angående material finns i SKI rapport 02:59.

Av det kompletterande underlaget enligt [3] framgår att man i Forsmark inte genomför några återkommande materialprovningar av betongkonstruktioner. Det framgår dock kortfattat att man genomfört prov med godkänt resultat av mellanbjälklagets gummitätning.

Tekniska livslängden

Formark uppger i det kompletterande underlaget [3] att den beräknade livslängden för dimensionering av spännkablar är 30 år, samt att eftersom kontrollen av dessa är god innebär detta ingen begränsning (kablar i Forsmarks samtliga block är åtkomliga för inspektion och utbytbara). I övrigt uppges den tekniska livslängden för inneslutningarna i Forsmark är minst 40 år.

Enligt [3] är bland de svagaste snitten i inneslutningens konstruktion genomföringar och personslussar. För tätheten uppges skarven mellan botten och cylindriska väggen ha identifierats bland de mest kritiska snitten.

Tryck- och Täthetsprovningar

De globala täthetsprovningarna i Formarks block sker enligt [3] 3 gånger per 10 år. Dessa utförs vid normalt vid normenliga ”halva haveritrycket”. Detta tryck anges inte av FKA explicit i det kompletterande underlaget. FKA uppger dessutom att enstaka täthetsprovningar (2 st per block) har genomförts vid fulla haveritrycket.

Mättiden för de globala täthetsprovningarna anges vara minst 8 timmar. När det gäller tillämpad stabiliseringstid (2–6 timmar) anges att denna inte följt normen. Orsaken till detta anges inte i [3].

Testkanaler finns för huvudsakligen genomföringar.

Provtryckning uppges vara genomfört en gång per block inför driftsättningen vid 1.15 gånger konstruktionstrycket.

Verifieringar med mer moderna metoder

Några nya analyser anges inte i det kompletterande underlaget enligt [3], utan hänvisningar till SAR görs. Enligt dessa hänvisningar uppges att integriteten av respektive inneslutning skall kunna vara uppfyllt vid ett tryck som överstiger 50% dimensioneringstrycket, samt att tätheten för F1 uppskattas vara uppfyllt upp ett tryck av 8 bar(a). Motsvarande tryck för F3 uppges vara 9 bar (a).

Termiska laster under normaldrift

Forsmark uppger i kompletterande underlag enligt [3] att vid konstruktionen har en strävan varit att begränsa lokala betongtemperaturerna i inneslutningen till 50°C. Under normal drift uppges temperaturen vara ca 40°C.

Forsmark 3

De övergripande kraven och systembeskrivningarna för inneslutningen i Forsmark 3 anges i dess SAR, system 151, kap 11. Det uppges att inneslutningens säkerhetsuppgift är att innesluta reaktorns primärsystem och att förhindra utsläpp av radioaktiva ämnen i händelse av läckage från primärsystemet.

Konstruktionsförutsättningar

Grunddragen i konstruktionsfilosofin uppges vara desamma som för tidigare utförda inneslutningar för lättvattenreaktorer i Sverige, med följande konstruktionsregler:

- Konstruktionstrycket bestäms med utgångspunkt från ogynnsammast tänkbara rörbrott, antaget maximalt haveri (LOCA-Loss of coolant accident).
- Förspänningen dimensioneras så att inga resulterande normaldragkrafter (membrandragkrafter) uppstår i de förspända delarna under inverkan av konstruktionstrycket.
- Elastiskt uppträdande skall kunna påräknas upp 50% överskridande av konstruktionstrycket. Spänningarna i ospänd armering och spännstål får härvid inte överskrida 0.9 gånger sträckgränsen respektive 0.2-gränsen.

Enligt SAR är inneslutningen konstruerad för ett inre övertryck av 4.80 bar, och ett inre undertryck av 0.5 bar. (enligt kompletterande underlag [4] uppges dimensioneringstrycket vara 0.6 MPa, dvs 0.2 över vad som anges i SAR)

För inneslutningens (system 15) betongstomme och stålkomponenter gäller i första hand belastningsritningar SV BVKS 1-944166 och 1-944128, (finns ej bilagda till SAR).

Tillämpade normer och standard vid konstruktionen av inneslutningens olika delar:

- Svenska Stålbyggnadsnorm 70,
- Statens betongnorm Bfb B7
- ASME-III, division 2 Art CC-3000, div 1 för tryckbärande stålkonstruktioner – ingjutningsrör.

När det gäller vilka laster som beaktats vid konstruktionen hänvisas till underliggande referenser, vilka ej finns bilagda till SAR.

Klassning av byggnadsstomme Reaktorinneslutningen tillhör säkerhetsklassning 2 enligt SAR kap 10.5, För byggnadsarbetena gäller utförande klassning 1. Kontrollomfattning anges i detaljhandlingarna gjudelsvis.

Tryckavsäkringen (system 361) och *tryckavlastningen* (system 362) av inneslutningen i Forsmark 3 är uppbyggd på samma sätt som i Forsmark 1 och 2. Sprängblecket i system 361 i Forsmark 3 utlöser också vid 7.5 bar (a) [3].

För system 362 uppges i SAR att automatiska funktionen för system 362 skall vara så dimensionerad att 12 kg/s mättad ånga skall kunna avbördas från reaktorinneslutningen

vid ett inneslutningstryck av 8 bar (a). Vid vilket tryck systemets sprängbleck utlöser (är inställt vid) framgår inte av SAR, men att döma av det kompletterande underlaget från Forskamrk [3] utlöser denna vid 5.7 bar (a). När det gäller system 362 i Forsmark 3 framgår sammanfattningsvis av dess dimensioneringskriterier enligt dess systemtekniska beskrivningar att en viss avlastning skall kunna ske manuellt redan vid 6 bar (a) i inneslutningstrycket.

Även Forsmark 3 har ett system för vattenfyllning av reaktorinneslutningen efter ett svårt haveri.

Allmän byggnadsbeskrivning

Reaktorinneslutningen består i stora drag av en bottenplatta, ett cylindriskt betongskal och ett tak flack konisk del. Samtliga delar utom genomföringar utgörs av betong med ingjuten betong. I kondensationsbassängen är tätplåten dock belägen i ytan. Inneslutningen är liksom den omgivande reaktorbyggnaden grundlagd på fast berg 6.5 m under markytan.

Bottenpartiet under nivån + 103 utgörs av en grundplatta och ett system av väggar ovanpå plattan.

Cylindriska skalet är 1.5 m tjock med en inre diameter 25.5 m. Väggen är förspänd horisontellt och vertikalt. Det är försedd med ospänd armering av kamstål vid de fria ytorna, intill tätplåten, omkring genomföringar etc.

Inneslutningens höjd är 27.8 m , räknat från bottenplattans överkant till takets underkant.

Övergången mellan cylindriska skalet och bottenpartiet är som fast inspänd konstruktion.

Tätplåten är belägen ca 30 cm från innerytan på det cylindriska skalet.

Material

	Klass	Grupp	Hållf	Cement Typ	Sten Storlek	Tillsats/ Material	Anm.
Tätplåt, botten i kond.bass.						SS 2343-28	
Tätplåt, i cyl.vägg						Stål 2103-01	
Tätplåt, bottenlatta						SS 1312	
Kupol						Stål 2353-28	
Halvtoroid						Stål 2353-26	

Det uppges i SAR, på ett övergripande sätt, att inneslutningen är utförd av betong i huvudsak i hållfasthetsklass K500, samt att Limhamns LH-cement har använts för de flesta delarna. Vidare uppges att ospänd armering utgörs i huvudsak av kamstål Ks40S. Spännarmeringen utgörs av kablar 139Ffi6 i system BBRV med

en 0-2 gräns ca 1600 MPa och med brottgräns 1800 MPa. Dessa kablar är åtkomliga för inspektion och är utbytbara på samma sätt som i Forsmark 1 och 2.

Se vidare sammanställningen i SKI rapport 02:59

Tekniska livslängden

Se redovisning för Forsmark 1 och 2 enligt ovan.

Tätetsprovningar

Se redovisning för Forsmark 1 och 2 enligt ovan.

Verifieringar med mer moderna metoder

Se redovisning för Forsmark 1 och 2 enligt ovan.

Termiska laster under normaldrift

Se beskrivningar under block 1 och 2.

Oskarshamn 3

De övergripande kraven och systembeskrivningarna för inneslutningen i Oskarshamn 3 anges i dess SAR, system 150.

Inneslutningarna för Oskarshamn 3 och Forsmark 3 har identiska konstruktioner. Men de är byggda av olika entreprenörer. Därför kan det finnas skillnader i byggnadsteknik och detaljutformning av konstruktionen.

Konstruktionsförutsättningar

Grunddragen i konstruktionsfilosofin uppges vara desamma som för tidigare utförda inneslutningar för lättvattenreaktorer i Sverige, med följande konstruktionsregler:

- Konstruktionstrycket bestäms med utgångspunkt från ogynnsammast tänkbara rörbrott, antaget maximalt haveri (LOCA-Loss of coolant accident). När det gäller lasterna vid denna händelse hänvisas till PM AA KUC 79-63 – BWR 3000N – Oskarshamn 3.
- Förspänningen dimensioneras så att inga resulterande normaldragkrafter (membrandragkrafter) uppstår i de förspända delarna under inverkan av konstruktionstrycket.
- Elastiskt uppträdande skall kunna påräknas upp 50% överskridande av konstruktionstrycket. Spänningarna i ospänd armering och spännstål får härvid inte överskrida 0.9 gånger sträckgränsen respektive 0.2-gränsen.

Enligt [2] är inneslutningen konstruerad för ett tryck av 6 bar (a), och ett inre undertryck av 50 kPa, samt ett maximalt differenstryck mellan primär- och sekundär utrymme av 240 kPa.

Förutsättningar för konstruktion av inneslutningens betongstomme och stålkomponenter anges i första hand följande dokument:

- VBBs PM U1-003 OIII – Reaktorinneslutningen – Konstruktionsunderlag
- VBBs PM U1-004 OIII – Reaktorinneslutningen – Lastförutsättningar
- VBBs PM U1-005 OIII – Reaktorinneslutningen – Konstruktionsförutsättningar
- VBBs PM U1-0017 OIII – Kvalitetssäkring av projektering och konstruktion av byggnadsarbeten
- VBBs PM U1-0013 OIII – Kvalitetssäkringsprogram för byggnadsarbeten
- Ritningar och arbetsbeskrivningar

Tillämpade normer och standard vid konstruktionen av inneslutningens olika delar:

- Svenska Stålbyggnadsnorm 70,
- Statens betongnorm Bfb B7
- ASME-III, division 2 Art CC-3000, div 1 för tryckbärande stålkonstruktioner – ingjutningsrör.
- StBk-N1, N2, N3, N4

När det gäller vilka laster som beaktats vid konstruktionen hänvisas till underliggande referenser, vilka ej finns bilagda till SAR.

Seismisk klassning. Reaktorinneslutningen tillhör seismisk kategori 1 enligt det system som redovisas i PM AA KVE 79-169 Oskarshamn 3 – Seismisk klassificerings (finns ej i SAR).

Klassning av byggnadsstomme. Reaktorinneslutningen tillhör säkerhetsklassning 2 enligt PM AA KVE 79-170 – Oskarshamn 3 – Säkerhets-, kvalitets- och täthetsklassning (finns ej bilagd till SAR). För byggnadsarbetena gäller utförande klassning 1s. Kontrollomfattning anges i detaljhandlingarna.

Tryckavsäkring och tryckavlastning av inneslutningen i Oskarshamn 3 är uppbyggd på samma sätt som i Oskarshamn 1. Se Oskarshamn 1 när det gäller utlösningstryck mm. Liksom Forsmark 1–3 har även Oskarshamn 3 ett system för vattenfyllning av reaktorinneslutningen efter ett svårt haveri, system .

Allmän byggnadsbeskrivning

Förspänning av cylindriska skalet. Väggen är förspänd horisontellt och vertikalt. Spännarmeringen utgörs av kablar E6-28 och E6-31 i system VSL med 0.2-gräns ca 1600 MPa och med brottgräns ca 1750 MPa. Kablarna tillverkades i fabrik och monterades efter gjutning kort tid före uppspanning. Kablarnas permanenta rostskydd åstadkoms genom injektering av cementbruk i kablarnas foderrör. Kabelförankringar skyddas med kringgjutning av betong. Således är kabelsystemet inte åtkomlig för utbyte på samma sätt som i Forsmark 3.

När det gäller övriga konstruktionen förefaller den vara identisk med vad som gäller för Forsmark 3.

Material

	Klass	Grupp	Hållf	Cement Typ	Sten Storlek	Tillsats/ Material	Anm.
Tätplåt, under kond.bass.						SS 2333-02	
Tätplåt, i cyl.vägg						SS 1432-01	
Tätplåt, bottenlatta						SS 1432-01	
Kupol						SS 2333-28	
Halvtoroid						SS 2333-02	
Tätplåt. Bassänger						SS 2333-02	

Det uppges i SAR, på ett övergripande sätt, att inneslutningen är utförd av betong i huvudsak i hållfasthetsklass K40. Typ av cement anges inte. Vidare uppges att ospänd armering utgörs i huvudsak av kamstål Ks40.

Se vidare sammanställningen i SKI rapport 02:59 samt under block 1.

Provtryck, Täthetsprovningar, byggnadsbesiktningar mm

Enligt [2] har en provtryckning skett vid 6.75 bar, samt att de täthetsprovningar genomförs med samma frekvens som för block 1 och 2 vid OKG. Täthetsprovningen vid O3 genomförs vid 350 kPa. Mät- och stabiliseringstider som tillämpas vid O3 är dock, enligt samma referens, 12 respektive 4 timmar. Mellanbjälklaget täthetsprovas också i samband med de globala täthetsprovningarna. De historiska läckagefaktorerna återges i [2].

Av [2] framgår att byggnadsbesiktningar genomförs enligt instruktioner.

Senare verifieringar av RI

Det framgår av det kompletterande underlaget enligt [2] att verifieringar av reaktorinneslutningen i O3 har genomförts under senare tid, med mer moderna beräkningsmetoder. Enligt dessa skulle RI vara tät enda upp till trycket 7 bar(a). Vid 8 bar uppträder plastiska deformationer, vid vilka tätheten ej kan garanteras.

Termiska laster under normaldrift

OKG uppger i kompletterande underlag enligt [2] att temperaturen i inneslutningen under händelseklass H1-normaldrift kan variera mellan 20–50°C i primär- och sekundärutrymmet, och i genomföringarna mellan 30–50°C

Liksom för block 1 och 2 uppges kontinuerlig temperaturmätning ske i vissa positioner.

Ringhals 2

Reaktorinneslutningen beskrives i SAR kap 5.

Konstruktionsförutsättningar

Som dimensionerande belastningsfall för reaktorinneslutningen anges i SAR tryck- och temperaturförloppet i betongkärlet omedelbart efter brott på en rörledning i den primära kretsen. Dessa dimensionerande laster har kombinerats efter amerikanska normer (ACI 349, 1970). Vid ett haveri innanför inneslutningen uppstår enligt SAR ett inre övertryck som maximalt har beräknats till 4.01 MPa (4.62 bar (a) [40]). Inneslutningen är konstruerad för ett övertryck av 4.14 bar. Det uppges vidare att stålkomponenterna, armeringsstål mm, är dimensionerade för att uppföra sig elastiskt (inom 0.2 sträckgränsen) med en säkerhetsfaktor 1.5 med hänsyn till konstruktionstrycket. De dimensionerande laster är enligt ritning 783152, -64, -65, -82 och 780763. Dessa ritningar är ej bilagda SAR.

Enligt SAR har reaktorinneslutningens beteende då tryck och/eller temperatur i inneslutningen överskrider konstruktionsvärdena analyserats och redovisats slutrapporten för MITRA, referens anges. Enligt dessa analyser uppstår läckage runt elektriska genomföringar först vid 8 bar absolut, dvs nästan det dubbla konstruktionstrycket, och vid temperaturer över 170°C. Vid 12–13 bar beräknas större brott i betongen och spännkablarna. Vidare framgår att reaktorinneslutningen behåller sitt integritet även efter ett inre undertryck av 0.6 bar, dvs efter ett absolut tryck av 0.4 bar i inneslutningen. Vid temperaturer över 300°C reduceras belastningsförmågan hos spännkablarna och armeringsjärn. (nytt tillkommet uppdatering av SAR under arbetets gång).

Vid konstruktionen av inneslutningen har enligt SAR de statliga betongbestämmelserna tillämpats samt för spännbetongkonstruktioner spännbetongnormer (supplement till svensk Byggnorm SBN-S 25:21). Dock har förutsatts att betongspänningarna vid momentan överhettning av betongens ytskikt vid ett haveri får överstiga de värden som anges i bestämmelserna.

För övriga stålkomponenter har svensk byggnorm, SBN 67, stålbyggnadsnorm St BK-N1, St BK-N2, Stt Bk-N3 och statliga järnbestämmelser SOU 1938:37 tillämpats.

I de fall avsteg gjorts från svenska normer är dock spänningarna lägre än de tillåtna enligt de amerikanska normerna (ACI 349, 1970)

Tryckavlastning av inneslutningen i Ringhals 2, 3 och 4 sker via i system 362, filtrering av utsläppen via vattenskrubbern till atmosfären. Via systemet skall trycket i inneslutningen, efter ett svårt haveri, tas ner tills vatteninpumpning till inneslutningen startar. Enligt SAR, PMR-projektet, skall avblåsning även kunna ske i ett långtidsförlopp. Systemet träder i funktion när trycket i inneslutningen överstiger 5.8 bar.

I samband med införandet av de konsekvenslindrande åtgärder efter svåra haverier, infördes i Ringhals 2, 3 och 4 även system 365, som bland annat har till uppgift att:

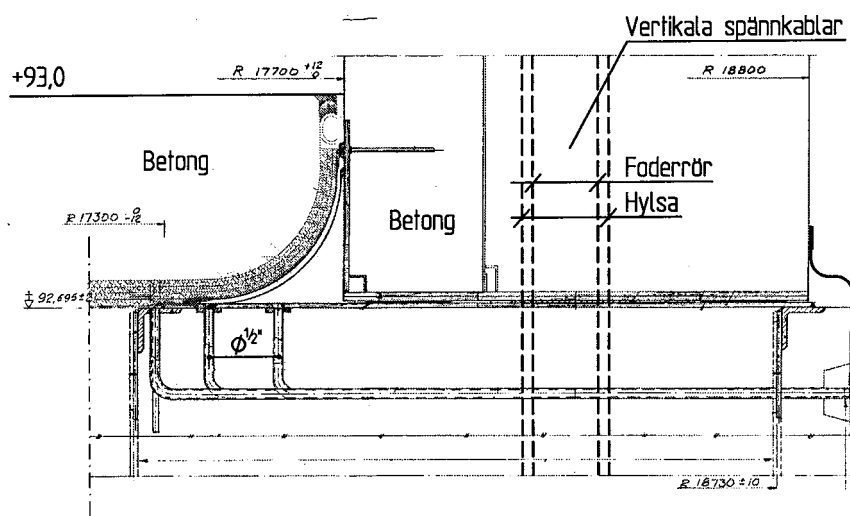
- Vattentäcka härden efter en härdsmläta.
- Ersätta avkokad vattenmängd på grund av resteffekt.
- Vattenfylla inneslutningen upp över härdsnivån.
- Nedtaga reaktorinneslutningens tryck via sprinkling.
- Tvätta ut inneslutningens atmosfär genom sprinkling via system 322-dysor.

Allmän byggnadsbeskrivning

Reaktorinneslutningen består av bottenplatta, cylindrisk skal med kupol samt kärnan, som är en sammanfattande benämning på de inre delarna av byggnaden som står på bottenplattan. Den cylindriska delen och kupolen är förspända konstruktioner.

Bottenplattan är grundlagd på berg (gnejs), som är mycket inhomogen och uppvisar sprickor med växande tjocklek. Sprickorna är fyllda med ett material som kännetecknas av stor variation i partikelstorlek. Berget har under alla byggnader försetts med ett tätande betongskal som håller grundvattenytan på nivån +97m.

Ovanpå detta betongskal grundlades bottenplattans bärande del, som är 3.35 m tjock och enbart slakarmerad. Bottenplattan är belagd med 5 mm tjock tätplåt, vilken i sin tur täcktes av 20 cm tjock isolering av leca och 30 cm skyddsbetong. Mellan plåten och lecan har ett lager av asfalt lagts. Skyddsbetongen är ansluten mot ytterväggen genom



Figur 8. Ringhals 2 – Principskiss av toroiden i övergången mellan cylindriska väggen och bottenpartiet.

ett speciellt utprovat fogmaterial, som hindrar aktivt vatten att rinna ner i lecan. Lecan har till uppgift att minska temperaturskillanden mellan betongens under- och översida.

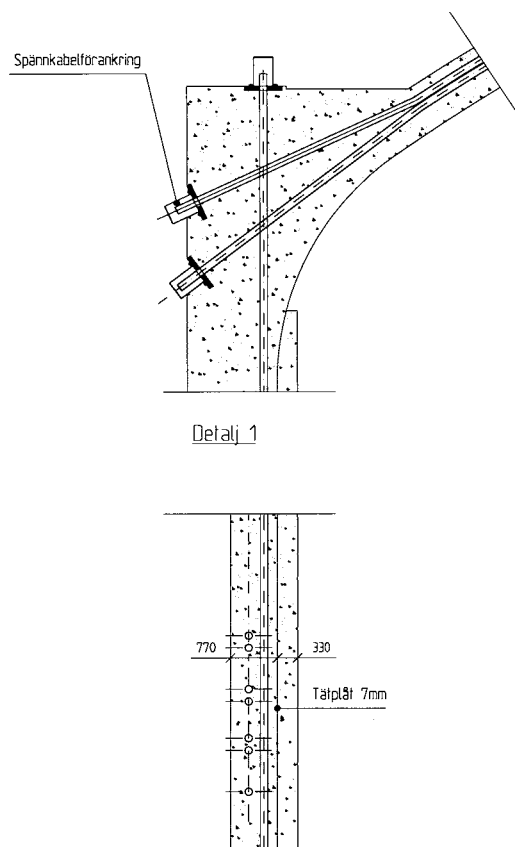
I efterhand har utrymmet med leca ovanför tätplåten utfyllts med kalkvatten, vars nivå regelbundet kontrolleras. Kallvattnet skapar en miljö som motverkar korrosion av tätplåten.

Cylinderväggen utgöres av en ca 59 m hög betongcylinder med en inre diameter på 35.4 m, och vägg tjockleken 1.1 m. Denna tjocklek är bestämd med hänsyn till strålnings- och hållfasthetskraven. Cylindriska väggen är i sin helhet förspänd såväl horisontellt som vertikalt. Gjutningen av denna utfördes medelst glidform i en inre och sedan ett yttre etapp direkt mot täta plåtskalet, placerat ca 33 cm från väggens insida.

Tätplåten är i huvudsak 7 mm. Tätplåten sammanfogades med stumsvets sektionvis. Slakarmering, instrumentering för tryckprovning samt ursparingar för alla hål och genomföringar inlades i samband med gjutningen medan skyddsror för spännkablar och fästplattor för diverse konstruktioner lades före gjutningen. Cylinderväggens anslutning till bottenplattan sker genom en glidkonstruktion. Funktionen hos glidlagret mellan vägg och bottenplattan är dels att överföra vertikala krafter, dels medgiva såväl horisontell förskjutning som vinkeländring av väggen.

För fogens tätning, mellan bottenkonstruktionen och cylindriska väggen, anslutes väggens tätande skal till bottenplattans genom två stycken elastiska 90° toroidsegment med plåttjockleken 3 mm, av stålmaterial FAMA 25. Utrymmet mellan toroidsegmenten, som korrosionsskyddas med Dinitrol, kan trycksättas vid eventuellt läckage. Insidan är asfalterad.

Kopolen består upptill av 80 cm tjock betong med en inre radie av 28,4 m. Kopolens tätplåt, som har tjocklek 5 mm, är ej ingjuten. Plåten stöddes provisoriskt av radiella fackverksbalkar för att kunna bära en pågjutning av 25 cm betong. Tätplåten är målad mot korrosion.



Figur 9. Ringhals 2 – principskiss av förankringar till förspänningskablar i dompartiet samt ett snitt i den vertikala cylindriska väggen.

Ringbalk. Upptill en sträcka av ca 7 m är cylinderväggen påtjockad till 1,8 m för att kunna uppta domkabelkrafterna och ge utrymme för domkabelförankringarnas ursparingar.

Förspänningen av den cylindriska delen av inneslutningen och kopolen utfördes enligt system BBRV av AB Strängbetong, se ritning 783172. Kablarna består av 139 stycken trådar med 6 mm i diameter i stålqualität 155/180 kp/mm², (sträckgräns 0.2% respektive brottgräns), motsvarande 609/707 MPa. Kablarna initialt förspändes till 500 MPa, varefter de eftersläpptes till 480 MPa. Enligt vad som uppges i SAR minskar krafter genom bla friktionsförluster ($\mu=0.15$, $k=0.3\%/m$), relaxation(7%) och krympning och krypning i betongen (13%). Kraftöverföringen till betongen sker via ingjutna ankarplattor. Kablarna omges av vattentäta i betongen ingjutna flexibla spiralfasade foderrör med diametern 120 mm. Trådarna rostskyddas med special fett, som inpressas i foderrören efter uppspänning. Konstruktionen medger att kablarna kan ompännas och bytas ut med tiden.

Spännarmeringen uppspännes initialt till 70% av och låses vid ca 67% av garanterad brotthållfasthet. Under normal drift minskar med tiden spänningen på grund av stålets relation och betongens krympning och krypning.

Allmänt material

De viktigaste konstruktionselementen består av betong, slakarmering, spännarmering, tätande plåtskal, glidfog vid golv, genomföringar för processrör och elkablar, slussar samt fästnanordningar för processrör och traversbalk i cylinderväggen. Material och klassning mm för en del av dessa element finns sammanfattad i följand tabell:

	Klass	Grupp	Hållf	Cement Typ	Sten storlek	Tillsats/ Material
Bottenplatta	I	C	K350	Gull.LH	32	Plastiment V
Vägg, inre del	I	D	K500	Limh.Std	32	Plastiment V
Vägg, yttre del	I	D	K500	Limh.Std	32	Plastiment V
Ringbalk	I	D	K500	Limh.Std	32	Plastiment V
Kupol 20 cm	I	D	K500	Limh.Std	32	Plastiment V
Kupol 60 cm	I	B	K500	Limh.Std	32	Plastiment V
Täta plåtskalet						SIS 2102, manganleg.

Se vidare sammanställningen i SKI rapport 02:59, samt under block 1.

Beräkningskontroll genom instrumentering

För att kunna verifiera beräknade spänningar och deformationer försågs reaktorinneslutningen med instrumentering i representativa snitt, för att under tryck- och täthetsprovningsen möjliggöra genomförandet av ett större mätprogram omfattande betongspänningar, betongtöjningar, integrala och lokala deformationer och eventuella sprickor.

Enligt SAR utfördes övertryckningsprovet i dec. 19774 vid 4,757 bar(ö). Samtliga rörsystem var monterade i genomföringarna. Undersökningen av hållfastheten utfördes såväl under tryckupptagningen som vid 4,757 bar (ö) (115% av konstruktionstrycket) och under trycknedtagningen. Enligt SAR visade undersökningarna att reaktorinneslutningens cylindriska del betedde sig med hänsyn till spänningar vid förspänningen av kablarna och vid övertryckning principiellt som beräkningsmodellen. I den övre delen av den cylindriska manteln nära kupolringen uppmättes dock något högre dragspänningar än de beräknade, som emellertid inte bedömdes vara farliga för konstruktionen. De uppmätta deformationerna var mindre än de beräknade.

Undersökning av tätheten utfördes vid två olika övertryck, nämligen vid konstruktions övertrycket 4,14 bar och ca hälften av detta, dvs 2.02 bar. Resultatet visade att inneslutningens täthet var bättre än det i koncessionsansökan för anläggningen uppställda kravet att läckagefaktorn högst får uppgå till 0,1% av innesluten gasmassa per 24 timmar. Provningsresultatet visade nämligen läckagefaktorn 0,055% per 24 timmar.

Kontroller under byggnadsskedet.

Enligt den redovisning som finns i SAR skedde kontroller av utgångsmaterialet enligt Bestämmelserna för betongkonstruktioner, material och utförande, betong (B5, 1965). Kontroll av gjutning utfördes enligt B5 och SV:s betonghandbok. Dito kontrollerades materialet för slakarmering enligt Bestämmelserna för betongkonstruktioner, material och utförande, betong (B6, 1968) samt att montage skedde enligt ritningar, beskrivningar, bestämmelser, rekommendationer och normer. Dessa specificeras inte närmare i SAR. Det framgår vidare av SAR att kontroll av spännkablar, täta skalet mm bedrevs enligt Anvisningar för Ringhals aggregat 2, Statens Vattenfallsverk, avd BT, 1973-04-25, BKM-ldt/BS – 3214, BVR-5313, 19972-05-29.

I SAR noteras inga konstruktionsavvikelser.

Täthetsprovningar

De globala täthetsprovningarna i Ringhals 2 sker enligt [4] 3 gånger per 10 år. Dessa utförs vid ett tryck av 2.02 bar (ö). Mättiden anges vara minst 8 timmar, men att i praktiken tillämpas 20 timmar. Stabiliseringstiden uppges vara minst 4 timmar, men att man i praktiken tillämpar ca 20 timmar. De historiska läckagefaktorerna för samtliga RI i Ringhals återges i [4].

Testkanaler finns för svetsar i tätplåten. Dessa provtrycks enligt [4] i samband med de globala täthetsproverna.

Ringhals 2–4 har dock vilande ansökningar hos SKI om att tillämpa option B, innebärande glesare frekvens för täthetsprovningar.

Verifieringar med mer moderna metoder

Ringhals uppger i det kompletterande underlaget enligt [4] att i samband med MITRA-projektet avseende införandet av filtrerad avlastning av inneslutningen vid svåra haverier, vissa bedömningar av gränshållfastheten i inneslutningarna ha gjorts. Enligt dessa bedömningar uppges gälla för inneslutningen i Ringhals 2 att vid temperaturer över 170–180 °C och tryck över 8–9 bar (a) ej försumbara otätheter i inneslutningen. Kollapslasten för inneslutningen uppges vara 12–13 bar (a).

Termiska laster under normaldrift

Ringhals uppger enligt [4] att temperaturen i inneslutningarna för PWR-blocken varierar beroende på nivå. Längst ner i botten är den mellan 20–25°C och högst upp i kupolen 40–55°C, beroende på årstid. Lokalt i betongen under reaktortankupplagen uppges vidare att temperaturen kan vara upp emot 100 °C.

Ringhals 3 och 4

Reaktorinneslutningen finns beskrivet i SAR kap 3.8.

Konstruktionsförutsättningar

Enligt SAR är skalet i inneslutningen ursprungligen konstruerad för ett övertryck av 4.14 MPa. Det teoretiskt maximala trycket som kan inträffa i samband med ett maximalt antaget haveri uppges för Ringhals 3 vara 4.91 bar (8a), och Ringhals 4 4.72 bar(a), [40]. Om konstruktionstrycket antas öka med 50% vid oförändrade värden på övriga aktuella laster, skall icke sträckgränsen för konstruktionsstål och armering eller 0,2-gränsen för spännkablar överskridas.

Vid konstruktionen av inneslutningen är enligt SAR följande laster beaktade:

- Egenvikt.
- Temperatur.
- Krympning och krypning.
- Förspänning.
- Inre övertryck.
- Inre undertryck.
- Tryck från täta skalet och armering.
- Traverslast.
- Rörbrottskrafter (menas möjligen reaktionskrafter vid rörbrott i genomföringsområdet. Framgår ej klart av SAR.

Det framgår inte av SAR huruvida anläggningen är konstruerad för jordbävningsslaster.

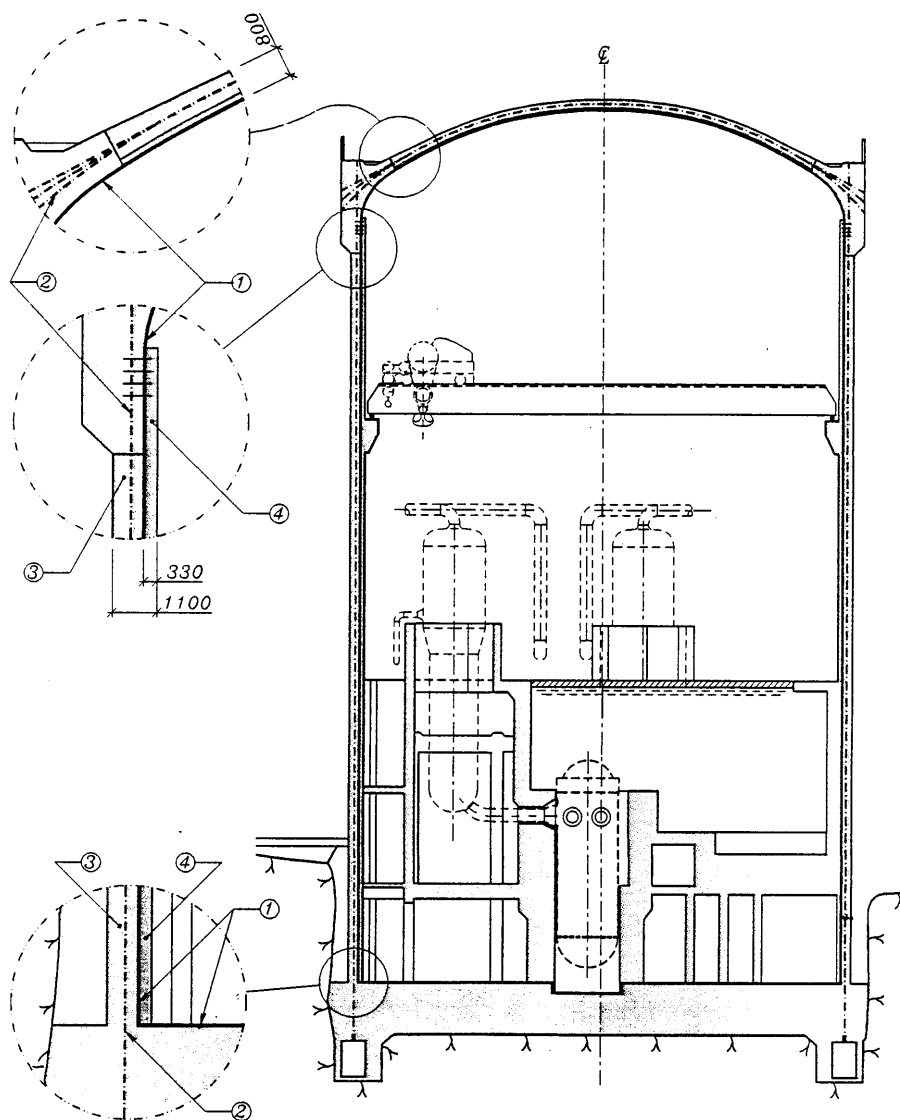
Vid konstruktionen uppges följande konstruktionsnormer ha använts:

- Svensk Byggnorm 67 (SNB 67)
- Stålbyggnadsnorm 70 (STBK – N1/S1(-74))
- Byggsvetsnormer (StBk- N4)
- ASME-III, 1971
- m. fl.

Tryckavlastning av inneslutningen i Ringhals 3 och 4 sker via i system 362. Utlösning av sprängblecket i systemet sker vid 5.8 bar i inneslutningen, det vill säga samma som i Ringhals 2. Se vidare beskrivningen för Ringhals 2.

Allmän byggnadsbeskrivning

Reaktorinneslutningen består av bottenplatta, cylindriskt skal med kupol samt kärnan, som är en sammanfattande benämning på de inre delarna av byggnaden som står på bottenplattan. Den cylindriska delen och kupolen är förspända konstruktioner.



Figur 10. Ringhals 3 – Vertikal sektion genom inneslutningen.

Bottenplattan är grundlagd på berg (gnejs). Bergytan är avjämnad med betong så att en plan yta överytan (nivå +90,15) bildats. Innan gjutning av bottenplattan försågs denna med ett glidlager av molybdendisulfidemulsion och polytetenfolie. Genom detta möjliggörs horisontalrörelse av bottenplattan. Ovanpå den 2.65 m tjocka bottenplattan ligger 8 mm tätplåt som skyddas av överbetong, ca 20 cm. Grundvattennivån under plattan har sänkts till nivån +87 m genom dränering.

Cylinderväggen utgöres av en ca 52 m hög betongcylinder med en inre diameter på 35.4 m, och vägg tjockleken 1.1 m. Denna tjocklek är bestämd med hänsyn till strålnings- och hållfasthetskraven. Cylindriska väggen är i sin helhet förspänd såväl horisontellt som vertikalt. Gjutningen av denna utfördes medelst glidform i en inre och sedan ett yttre etapp direkt mot täta plåtskalet, placerat ca 33 cm från väggens insida. Täta plåten är i huvudsak 8 mm, med undantag av skalets nedersta 18 m, där tätplåten är 10 mm i tjocklek. Tätplåten sammanfogades med stumsvets sektionvis. Slakarmering, instrumentering för tryckprovning samt ursparingar för alla hål och genomföringar inlades i samband med gjutningen medan skyddsrör för spännkablar och fästplattor för diverse konstruktioner lades före gjutningen. Cylinderväggens anslutning till bottenplattan sker genom fast inspänning i denna utan *vot*, vilket innebär en ledad konstruktion.

Kupolen består upptill av 90 cm tjock betong med en inre radie av 28 m. Kupolens tätplåt är ej ingjuten. Den stöddes provisoriskt av radiella fackverksbalkar för att kunna bära en pågjutning av 25 cm betong.

Förspänningen av den cylindriska delen av inneslutningen och kupolen utfördes enligt system BBRV av AB Strängbetong. Kablarna består av 139 stycken trådar med 6 mm i diameter i stålqualität 155/180 kp/mm². Kraftöverföringen till betongen sker via ingjutna ankarplattor. Kablarna omges av vattentäta i betongen ingjutna flexibla spiralfasade foderrör med diametern 120 mm. Trådarna rostskyddas med specialfett, som inpressas i foderrören efter uppspanning. Konstruktionen medger att kablarna kan ompännas och bytas ut med tiden.

Ringbalk

Övergången mellan kupolen och den cylindriska delen sker via en s.k.ringbalk. I ringkabel är såväl vertikalkablar som kupolkablar förankrade. Ursparingar för kupolkablar, som ligger i två nivåer, utgöres av stympande pyramider avslutade av kabelförankringsplattor och med horisontal och vertikalriktningar specifika för varje kabel (ritning 1-787580, finns ej bilagd i SAR).

Genomföringar i cylindriska väggen består för en typisk genomföring av en yttre sleeve (foderrör) ingjuten i betongen och ett processrör. Alla sleeve är anpassade till en fläns (krage) svetsat i täthetsplåten som i sin tur är ingjuten i betongväggen. Svetsen mellan flänsen och tätplåten samt flänsen och sleeve är försedd med testkanaler, vilka kan trycksättas för att prova tätheten hos svetsen. Genomföringar för elektrisk utrustning har en annan konstruktionsutföring, vilken beskrivs på ett allmänt sätt i SAR.

Material

De viktigaste konstruktionselementen består av betong, slakarmering, spännarmering, tätande plåtskal, glidfog vid golv, genomföringar för processrör och elkablar, slussar samt fästnanordningar för processrör och traversbalk i cylinderväggen. Material och klassning mm för en del av dessa element finns sammanfattad i följand tabell:

	Klass	Grupp	Hållf	Cement Typ	Sten storlek	Tillsats/ Material	Anmärkning
Bottenplatta	I		K400	Gull.LH	32	?	
Vägg, inre del	I		K500	Limh.LH	32	?	Vattentät
Vägg, yttre del	I		K500	Limh.LH	32	?	
Vägg, nedre del 1-2 m	I		K550	Limh. LH		?	
Ringbalk	I		K500	Limh.LH	32	?	
Kupol 25 cm	I		K500	Limh.Std	32	?	
Kupol 65 cm	I		K500	Limh.LH	32	?	
Slakarmering			Ks40, Ks40S				
Täta plåtskalet						SIS 2102	Ritn.929805

För att innehålla spänningarna i cylindriska skalet ner mot bottenplattan höjdes kvaliteten i betongen där till K550. De uppgifter som markerats med frågetecken i tabellen, innebär att dessa uppgifter ej finns återgivna i SAR.

Se vidare sammanställningen i SKI rapport 02:59, samt under block 1

Beräkningskontroll

För att kunna verifiera beräknade spänningar och deformationer försågs reaktorinneslutningen med instrumentering i representativa snitt.

Det framgår att givare av typ Götzl ingjöts i betongen för mätning av spänningar i denna installerades.

Det uppges att betongpåkänningar vid axisymmetrisk belastning beräknades med STARDYNE 3. För resultatet av dessa och de beaktade belastningskombinationerna hänvisas i SAR till ritning 911055-56 (finns ej bilagd till SAR). Inga spännings- eller deformationsöverskridande finns noterade i SAR.

Täthetsprovningar

De globala täthetsprovningarna i Ringhals 2 sker enligt [4] 3 gånger per 10 år. Dessa utförs vid ett tryck av 1.83 bar (ö). Mättiden anges vara minst 8 timmar, men att i praktiken tillämpas 20 timmar. Stabiliseringstiden uppges vara minst 4 timmar, men att man i praktiken tillämpar ca 20 timmar. De historiska läckagefaktorerna för samtliga RI i Ringhals återges i [4].

Testkanaler finns för svetsar i tätplåten. Dessa provtrycks enligt [4] i samband med de globala täthetsproverna.

Ringhals 2–4 har dock vilande ansökningar hos SKI om att tillämpa option B, innebärande glesare frekvens för täthetsprovningar.

Verifieringar med mer moderna metoder

Ringhals uppger i det kompletterande underlaget enligt [4] att i samband med MITRA-projektet avseende införandet av filtrerad avlastning av inneslutningen vid svåra haverier, vissa bedömningar av gränshållfastheten i inneslutningarna ha gjorts. Enligt dessa bedömningar uppges att ringplattan i Ringhals 3-4 spricker vid 6.5 bar (a). Bristningar kan förväntas vid marginella tryckningar över 6.5 bar (a). Pågående bräkningar uppges bekräfta detta.

Kontroller under byggnadsskedet

Det uppges att armeringen monterats enligt ritningar, beskrivningar, bestämmelser, rekommendationer och normer enligt SV:s handbok, och skrift B6. Inga konstruktionsavvikelse finns noterade i SAR.

Krav på översyn och inspektion enligt STF i Ringhals 2, 3 och 4

Enligt de säkerhetstekniska föreskrifter (STF) kap 4.6.1.6.1 kontrolleras spännkabelsystemet styckvis återkommande. Sådana kontroller består av uppmätning av förspänningskraft, okulärbesiktning av förankringsdetaljer samt undersökning av injekteringsfettet och korrosionsförekomst i trådarna genom att dra ut dessa. Vidare sker visuell inspektion av betongen runt kabelförankringarna med avseende på eventuella sprickningar.

Inspektionerna får utföras under drift under förutsättning att högst en kabel åt gången ej göres driftklar och att inspektionens totala utsträckning ej överskrider sex (6) veckor.

Inspektionen av kabelsystemet enligt punkterna a –d skall utföras 4, 9 och 14 år efter första tryckprovningen av inneslutningen och därefter med 10 års intervall. Dessutom skall inspektionen enligt punkt e utföras vart femte år räknat från provtryckningen. Inspektionen skall omfatta:

- a) Uppmätning av aktuell förankringskraft hos sammanlagt 22 stycken kablar (6 dom, 6 vertikal och 10 i ring-kablar

Dessa kablar skall undersökas enligt följande:

- b) Okulärbesiktning av förankringsdetaljer
- c) Undersökning av injekteringsfettet
- d) En domkabel och en ringkabal nedspännes helt varefter en tråd utdrages från var och en de båda kablarna för undersökning av eventuell korrosionsförekomst samt draghållfasthet
- e) Visuellt inspektion av betongen kring kabelförankringarna med avseende på eventuell sprickbildning eller fettläckage.

Resultaten av inspektionerna enligt punkt a)-e) skall utvärderas. Ej godtagbara resultat samt andra förhållanden som kan påverka integriteten hos två eller flera kablar skall rapporteras till SKI.

Referenser

- 1 OKG, Oskarshamn 1, 2 och 3 – Utredning avseende reaktorinneslutningar –SKI brev 1442-990396/99188, OKG-rapport 2002-00738 utgåva 1, 2002-01-15
- 2 OKG, Oskarshamn 1, 2 och 3 – Utredning avseende reaktorinneslutningar – Utredning av frågeställningar ställda i SKI brev 1442-990396/99188, OKG-rapport 2002-00519 utgåva 2, 2002-04-05
- 3 Forsmark, Forsmark 1, 2 och 3 – uppgifter för utredning kring inneslutningar, FQ-2001-629, 2001-11-27
- 4 Ringhals, SKI-utredning kring reaktor inneslutningar, rapport nr 1724962, 2002-02-21, Jan Gustavsson
- 5 Barsebäck, Barsebäck 2 – uppgifter angående B2:s inneslutning, Rapport T-200203-012, 2002-03-07

Bilaga 2

- Skador i Sverige
- Övriga kontroller och provningar, och andra åtgärder med anledning av vissa inträffade skador nationellt

Gabriel Barslivo

Sammanfattning

Under årens lopp inträffade och till SKI rapporterade degraderingar och skador i inneslutningarnas konstruktion i de svenska kärnkraftsverken har sammanställts i denna bilaga. Vidare har de av anläggningsägarna vidtagna åtgärder med anledning av en del av dessa degraderingar och skador gått igenom och i möjligaste mån kommenterats. Några slutsatser som kan dras efter de gjorda genomgångarna är:

- Med anledning av skadorna i Forsmark 1 med korroderade toroiden och Barsebäck 2 med korroderade tätplåten har anläggningsägarna genomfört omfattande utredningar, genomgång av ritningsunderlag och andra kontroller för att om möjligt identifiera dels eventuella avvikelser i inneslutningarnas konstruktion, dels svaga punkter i konstruktionen vilka kan behöva följas upp närmare. Emellertid varierar omfattningen och inriktningen av dessa åtgärder hos de olika kärnkraftverken relativt stort.
- En del särskilda kontroller och provningar, utöver de ordinarie som regleras i de tekniska föreskrifterna har under årens lopp genomförts. Dessa har delvis varit som en följd av de uppmaningar som SKI gått ut med till samtliga tillståndshavare efter de omskriva skadorna i Barsebäck och Forsmark. I sammanhanget kan nämnas betongprover mm i inneslutningen i Oskarshamn 1 och Ringhals 3 och bland annat toroidproverna i Ringhals 1 och 2. Emellertid är många av de vidtagna åtgärderna av engångskaraktär. Att döma av det redovisade underlaget förefaller anläggningsägarna sakna ett aktivt program för att med jämna mellanrum kontrollera eller genomföra vissa prover. Detta möjligen med undantag av Forsmark där man har presenterat ett program med uppföljningsplaner av olika identifierade åtgärder, både på kort och lång sikt.
- Att döma av det presenterade underlaget har samtliga tillståndshavare en relativt okritiskt tilltro till att de integrala provernas förmåga att upptäcka vissa skador. Detta trots att SKI i ovan nämnda brev gick ut med utmaningar att identifiera eventuella brister i tillämpade kontroller och provningar.
- Med tanke på arten av en del av de inträffade och rapporterade skadorna, vilka haft sin orsak i olika konstruktionsavvikelser, och det faktum att de inte upptäckts förrän håll bildats i täta skalet, tyder på behovet av alternativa kontroll- och provningsmetoder. Detta dessutom med tanke på att de tillämpade ordinarie byggnadsbesiktningarna är begränsade till synliga och åtkomliga ytstrukturer. Det finns starka begränsningar i dagens kontroller och provningar för att i tid upptäcka pågående degraderingar och skador i ingjutna element, väsentliga antingen för den strukturmekaniska bärförmågan eller tätfunktion hos inneslutningen. Exempel på denna typ av element är ingjutna förspänningskablar, vilka är högst väsentliga för integriteten hos inneslutningen.
- Den påträffade defekten i Barsebäck 2 med s.k. pluggen i mellanbjälklaget tyder på att det är svårt att i efterhand upptäcka eventuella konstruktions-, tillverknings- eller montageavvikelser. Ett ytterligare exempel härpå är det under utredningens gång uppdagade hålet i takplattans tätplåt i Oskarshamn 1.
- En del av kärnkraftsverken har tagit fram nya konstruktionsförutsättningar (KFM), och genomfört detaljerade strukturmekaniska analyser med beaktande av de nya KFM. SKI har emellertid fram till idag inte bedömt dessa KFM eller belastningsunderlaget för inneslutningarna.

- Långtidsfenomen såsom krypning och krympning av betong och relaxation av förspänningskablarna adresseras inte i de presenterade utredningarna från anläggningsägarna. Dessa fenomen är speciellt viktiga att få ökad kunskap om för de inneslutningar vilka har ingjutna förspänningskablar.

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

1.	Inledning.....	5
2.	Inträffade händelser.....	5
3.	Vidtagna åtgärder	7
	Forsmark.....	8
	Åtgärdsplan och uppföljning av dessa i Forsmark	10
	Ringhals.....	11
	Oskarshamn	12
	Oskarshamn 1.....	13
	Oskarshamn 2.....	14
	Oskarshamn 3.....	14
	Barsebäck	14
4.	Slutsatser och kommentarer	15
	Slutsatser	15
	Kommentarer.....	17
5.	Referenser.....	19

1. Inledning

Under åren har en del degraderingar och skador i betonginneslutningen i de svenska kärnkraftverken inträffat. De mest allvarliga händelserna bland dessa är de som inträffade i Forsmark 1 och Barsebäck 2 med korroderade toroiden och tätplåten, vilka ledde till hål i inneslutningens tätande funktion. Till följd av dessa händelser gick SKI ut med ett brev till alla tillståndshavare att göra en inventering av potentiella hot mot täthetsfunktionen hos inneslutningen [1]. Dessutom har SKI inom ramen för denna utredning skickat ett antal brev till anläggningsägarna med bland annat frågor kring kontroller och provningar som genomförs av inneslutningarna, utöver de som finns beskrivna i de säkerhetstekniska föreskrifterna (STF) för respektive kärnkraftsreaktor. SKI:s syfte med att samla in och bearbeta denna typ av information är bland annat att skaffa sig en överblick av de åtgärder som anläggningsägarna vidtagit efter de senaste inträffade händelserna med degraderingar och skador i de svenska kärnreaktorinneslutningarna, samt om möjligt bedöma om dessa är tillräckliga för att i tid fånga upp eventuella pågående degraderingar eller andra brister i konstruktionen av inneslutningen.

I följande avsnitt görs en relativt kort genomgång av inträffade degraderingar och skador som under årens lopp rapporterats från de svenska reaktorinneslutningar samt en kort sammanfattning av de åtgärder som tillståndshavarna vidtagit efter de uppmaningar som SKI gick ut med i nämnda brev [1]. I möjligaste mån görs även en bedömning av dessa vidtagna åtgärder.

2. Inträffade händelser

*Forsmark 3 1986 - Skadade spännkablar, "containment vessel internals",
[RO-03247, Rapportnummer F3-RO-031/1986/0]*

Skadade spännkablar upptäcktes av en tillfällighet. Orsaken till skadorna kunde vara överbelastning av enskilda trådar i samband med montage, korrosion eller materialfel. Samtliga horisontella spännkablar undersöktes. Vid denna undersökning konstaterades att trådändarna i två av spännkablarna förskjutits från sina normala positioner. Skadorna bedömdes inte påverka inneslutningens hållfasthet. Ett handlingsprogram för utbyte av kablar togs fram.

Enligt kompletterande information [FQ-2001-161, 2001-02-27] byttes de skadade spännkablarna. Skadan antas vara orsakad av vatten från byggtiden. Det uppges att övervakning av spännkablarnas ventilationsflöde medför att risken för ett uppreparande vara eliminerad.

*Forsmark 1 1997 - Korrosion av inre och yttre toroid
[D.nr 7.13 - 971293]*

I samband med RA97 i Forsmark 1 upptäcktes vid provtryckning av inneslutningen att yttre och inre toroid var otät. Den yttre var kraftigt korroderad. På den inre hade lokalt ett hål uppstått på grund av korrosion. Den yttre och den inre toroiden demonterades för inspektion. Inspektionen visade att korrosion av toroiden hade skett på grund av att isoleringen var fuktig. I samband med inspektionen upptäcktes att en plastfilm var anbringad som skydd för isoleringen. Dess uppgift var att skydda isoleringen från att bli blöt i samband med ingjutningen. Plastfilmen var applicerad på sådant sätt att inläckande vatten från ovanliggande

bassänger samlades upp i en ficka i anslutning till ramarnas nedre del. När plastfilmen avlägsnades rann en större mängd vatten ut.

SKI begärde klagörande av skadeomfattning, skadeorsak och eventuell påverkan på övriga anläggningsdelar innan tillstånd till återstart kunde ges, SKI beslut 1997-09-16, 7.13 - 971293. Efter omfattande undersökning redovisade Forsmark ett åtgärdsprogram för återställande av inneslutningens funktion. SKI meddelade sitt beslut, 1997-10-28, 7.13 - 971293, om reparation av reaktorinneslutningens toroid. Inneslutningens täthet säkerställdes genom reparation av den inre toroiden. För att förhindra fortsatt korrosion avlägsnades fuktbindande korrosionsprodukter och isolering samt ett permanent torkluftsystem installerades, för att sänka hastigheten i eventuellt kvarvarande korrosionsprocesser. Efter de vidtagna åtgärderna meddelade SKI per beslut 1997-11-11 tillstånd för återstart.

Forsmark 3 1998 - Vattenansamling i utrymmet mellan toroid och betong

Som en följd av de skador som upptäcktes i inneslutningens toroid i Forsmark 1, genomfördes en inspektion av utrymmet mellan toroid/kupolfläns och betong på reaktorinneslutningen både i Forsmark 2 och 3. I samband med inspektionen i Forsmark 3 konstaterades att utrymmet var vattenfyllt. Detta kunde ha lett till korrosionsangrepp. Analys av vattnet visade att vattnet hade hög pH och stål i sådan miljö betraktas som passivt. Ingen korrosion kunde konstateras på tätplåten. För att återskapa den alkaliska miljön och därmed stålets passivitet, fylldes utrymmet med alkaliskt vatten, pH 11,9. Återkommande vattenprov tas för att säkerställa att alkalisk miljö råder [FKA - Projektrapport nr 99/108, 1999-04-29]

Ringhals 2 1988 - Vattenförekomst på insidan av inneslutningens tätplåt

[Dnr 890148]

Vid driftrond i samband med revisionsavställning 1988 upptäcktes utläckande vatten från inneslutningens insida. Undersökningarna visade att det förekom vatten på insidan av tätplåten. ABB ATOM fick i uppdrag att utreda möjliga källor till vattnet och dess långtidskonsekvens på inneslutningens funktion. De möjliga källorna till vattnet ansågs vara antingen borrhvatten eller vattentransport från kalkvattnet under golvbjälklaget. I båda fallen ansågs vattnet vara kalkhaltigt och därmed ha hög pH. Eftersom stål är passivt i hög pH, ansåg utredningen att tätplåtens funktion inte äventyrades av vattenförekomsten. I samband med det upptäckta vattenläckaget undersöktes ett antal spännkablar för att säkerställa deras kondition. Undersökningen visade att spännkablar var i gott skick. [PR - Teknisk Rapport nr 57/89].

Ringhals 3 2000 - Vittring av betong på utsidan av inneslutningen

Av inlämnat underlag [18] med anledning av SKI-brev [3] framgår att man i Ringhals 3 under år 2000 genomförde en inspektion av inneslutningens yttre, varvid man kunde konstatera att betong runt domringens underkant höll på att lossna. Utan närmare precisering uppges orsaken vara vittring av betongen. I den aktuella utredningen föreslogs omedelbara åtgärder på grund av risken för att fallande betongdelar skulle kunna skada förbipasserande.

Barsebäck 2 1993 - Korrosionsskador i inneslutningens tätplåt

[SKI beslut Barsebäck 1, 6.23 - 931299, 1993-11-09 och Barsebäck 2 1994-01-21]

Under revisionsavställningen 1993 genomfördes vid Barsebäck 2 ett täthetsprov på inneslutningen varvid ett otillåtet stort läckage noterades. Undersökningen visade att inneslutningens tätplåt i ett område uppvisade korrosionsskador. Det upptäcktes även hål i tätplåten. Orsaken till skadorna befanns vara att återgjutningen av hålrum som naturligt uppstår vid tillverkningen inte hade skett på avsett sätt. Bland annat hade vatten blivit kvar i

hålrummet. När sedan betong med svällmedel hade pressats in i hålrummet, reagerade vattnet med svällmedlet och medförde att betongen blev porös. Dessutom var hålrummet enbart delvis fyllt med betong. Detta hade lett till en onormal miljö i vilken korrosion av tätplåten kunde fortgå. Orsaken till skadorna ansågs alltså vara ett systematiskt fel vid betongarbeten i anslutning till genomföringar.

SKI begärde utredning, reparation av skador och godkänd täthetsprovning för att tillstånd för återstart av Barsebäck 2 kunde ges. Med hänsyn till de stora likheterna mellan Barsebäck 2 och Barsebäck 1, krävde SKI utförda och redovisade undersökningar av motsvarande områden i Barsebäck 1, innan tillstånd för återstart kunde ges.

*Barsebäck 1 1999 - Betongpluggen,
[dnr 990742]*

År 1997 noterades en anmärkning på undersidan av betongbjälklag. Området visade lokalt på sprickbildning och missfärgning av rost. Under revision 1999 bilades betongen bort för att utreda orsaken till missfärgningen. Efter att ca 30 mm betong hade bilats bort, föll en betongcylinder ner och ett hål (Ø200 mm) uppstod mellan drywell och wetwell. Betongcylindern var ca 350 mm lång. Hålet åtgärdades med hjälp av rostfria plåtar och cementbaserat injekteringsbruk.

Analys av händelsen tyder på att hålet har troligen uppkommit som resultat av en felborrning under 1973 i samband med håltagning för nivåmätning av system 316. När den felaktiga håltagningen då uppdagades, lämnades hålet utan åtgärd. Skälen härtill är inte klarlagt.

Den konsekvensanalys som utfördes för att utreda effekten av det felborrade hålet på reaktorsäkerheten tyder på att hålet inte allvarligt påverkat reaktorsäkerheten. [Barsebäck rapport nr P1 – 9906 – 09, 1999-06-03]. Efter de utförda reparationerna gav SKI i beslut 1999-07-14, tillstånd till återstart av Barsebäck 1.

Oskarshamn 1 2002 – Hål i takplattans tätplåt, dnr 8.13-020506

Under 2002 uppdagades ett 70 mm i diameter stort hål i tätplåten i reaktorinneslutningen till Oskarshamn 1. Hålet, som var beläget i takplattan, kvarlämnades från tillverkningen. I samband med friläggningen av betongen konstaterades även en 15 mm lång spricka i tätplåtens svets inom samma område. Hålet och sprickan har reparerats, varefter tätplåten åter täckts med betong.

Oskarshamn 3 2002 – Skador i bassängens vägg, dnr 8.39-020693

Skador upptäcktes under 2002 inom ett område av ca 10x3 m på betongytorna över nivån +114,400 i 316 – bassängen, dvs på betongytorna ovanför plåtinklädnaden i sub B. Dessa skador hade uppstått genom kontinuerlig sprinkling via en klenledning. Betongytan återställdes, och orsaken till skadan eliminerades genom att i fortsättningen förhindra stänkning på betongytan

3. Vidtagna åtgärder

Som framgått ovan gick SKI ut med ett brev[1] till samtliga tillståndshavare efter de inträffade skadorna i Forsmark 1 och Barsebäck 2. Mot bakgrund av de utredningar som genomfördes efter den korroderade toroiden i Forsmark 1 skrev SKI till anläggningsägarna att de skulle göra en genomgång av i första hand inneslutningar och i andra hand övriga byggnadsstrukturer, och därvid inte bara beakta det ritningsenliga utförandet utan även sådana

avvikelser som erfarenhetsmässigt kan förekomma, samt bedöma dessa avvikelser betydelse för täthet och integritet hos konstruktionerna. Vid dessa genomgångar skulle särskilt uppmärksamhet riktas mot sådana avvikelser som kunde leda till att vatten bringades i kontakt med stål under längre tid och utbildandet av aktiv/passiv-cell. I de genomförda utredningarna med anledningen av den korroderade toroiden i Forsmark 1 fann man nämligen att korrosionsprocessen i de fall som vatten bringades i kontakt med stål kunde lokalt vara av relativt höghastighet, 5 mm/år. För icke-ingjutna ståldelar i vattenmiljö tydde vissa utredningar på att korrosionshastigheten kunde vara 0.3 mm/år. Dessa korrosionshastigheter skulle användas som riktvärde i samband med bedömningar av korrosion i relevanta strukturdelar.

SKI efterlyste vidare att anläggningsägarna för de fall där avvikelserna kunde leda till degraderingar av inneslutningens täthetsfunktion eller integritet skulle göra en bedömning av möjligheterna att kunna upptäcka dessa med de aktuella kontrollprogrammen och täthetsprovningarna för inneslutningar, som tillämpades eller planerades att bli tillämpade.

Som det även framgått ovan har SKI ställt en särskild fråga till anläggningsägarna angående de kontroller och provningar som eventuellt genomförs, utöver de som framgår av STF för respektive kärnkraftreaktor.

I det följande görs en genomgång och om möjligt en bedömning av anläggningsägarnas redovisning och vidtagna åtgärder till följd av dessa av SKI ställda frågor.

Det bör särskilt noteras att här görs endast översiktliga bedömningar av de analyser och åtgärder som industrin genomfört. Målet med denna bedömning är endast att ge en översiktlig bild av omfattningen och inriktningen av de analyser och åtgärder som industrin genomfört eller håller på att genomföra när det gäller inneslutningsfrågor. Det faller utanför ramen för detta uppdrag att göra någon mer ingående sakgranskning av de redovisade analyserna eller åtgärderna.

Forsmark

Forsmark Kraft AB (FKA) har efter de nämnda händelsen i Forsmark 1 initierad en relativt ingående utredning av potentiella hot mot täthetsfunktionen hos inneslutningar i Forsmark 1, 2 och 3. Genom utredningar har man försökt kartlägga de svaga punkterna i konstruktionen och identifiera behovet av åtgärder på både kort och lång sikt. I de inledande utredningarna [5], vilka har karaktären av statusinventering av inneslutningen, påpekas ett antal punkter i konstruktionen, vilka behöver följas upp med ytterligare analyser eller andra former av åtgärder, se nedan. Samtliga block i Forsmark har tagit fram en åtgärdsplan [6] till följd av de inledande utredningarna. När det gäller Forsmark 3 har man även gjort en redovisning med uppföljning av dessa punkter i åtgärdsplanen [8]. Åtgärdsplanen och uppföljningen av dessa återfinns sammanställda i bilaga 2.1, FKA:s uppföljning av åtgärder.

Det bör nämnas att till följd av händelsen i Barsebäck 2 med korroderade tätplåten i anslutning till genomföring är, enligt den tidigare redovisningen [27] från FKA, risken för liknande skador i Forsmarks inneslutningar liten, främst beroende på en annan tillverknings- och ingjutningsmetod av berörda konstruktionsdelar.

Läckageövervakning av C-bassäng

En genomgång med avseende på risk för vattenläckage genom sprickningar i betongen har gjorts. Vidare arkivgenomgång av befintlig dokumentation såsom konstruktions-,

byggnadsmötesprotokoll och kontrollantrappor för föreslås för att identifiera eventuella svagheter i konstruktionen.

Korrosionsrisk och svaga punkter i täta skalet

Med tanke på den korroderade toroiden i Forsmark 1 har en inventering gjorts för att undersöka om det förekommer andra svaga punkter i täta skalet. Svaga punkter definieras i utredningen som sådana konstruktionslösningar eller utförande som har lägre hållfasthet eller högre risk för läckage jämfört med övriga delar i täta skalet. Sammanfattningsvis rekommenderas i utredningen att personslussens infästningssvets i ingjutningen bör kontrolleras samt att viss risk för sprickor i svetsen vid infästningen av nedre delen av mantelplåten till horisontella plåten vid nedre voten föreligger och bör undersökas närmare. Vidare rekommenderas att spalten mellan personsluss och genomföring bör kontrolleras med hänsyn till risken för vattenansamling och därmed sammanhängande korrosionsrisk.

Efter genomgång av dokumentation konstateras för övrigt i utredningen [4] att det inte finns ställen i konstruktionen liknande de delar som i den korroderade toroiden i Forsmark 1 där isoleringsmaterial kommer i kontakt med tätplåten och därmed risk för korrosion i täta skalet.

Mellanbjälklagstättningen

Infästningen till mellanbjälklaget i den cylindriska väggen av inneslutningen lyfts fram med hänsyn till åldringsfenomen av de i konstruktionen ingående materialen som ett område vilka behöver följas upp. I Forsmark 1 och 2 ombesörjs tätningen mellan primär – och sekundära utrymmet i detta snitt av gummi. I Forsmark 3 valdes på grund av det tillkommande jordbävningsskravet en konstruktionslösning med en kuggkrans kompletterad med en ståltoroid för tätningfunktionen. Funktionen hos överkantssättningen med gummiduk i Forsmark 3 reduceras därmed till att förhindra smuts och vatten från att tränga in i kuggförbandet och ståltoroiden. I utredningen föreslås att man i Forsmark 1 och 2 tar fram ett kontrollprogram där man kollar tätningen vartannat år. För Forsmark 3 påpekas i utredningen att man en gång per år kontrollera utrymmet bakom toroiden med hänsyn till förekomst av vatten, genom att öppna minst 3 stycken efter omkretsen jämfördelade befintliga pluggar.

Bottenplåt i wet-well

Bottenplåten utgör del av täta skalet enligt utredningen. En inventering har genomförts för att undersöka hur bottenplåten övervakas och om det går några ledningar genom täta skalet till system 758, genom vilket stora vattenläckage kan upptäckas via dränagerör från kanaler under botten. Detta gäller alla inneslutningar i Forsmark. Inga tillkommande åtgärder föreslås i utredningen, utöver visuella inspektioner innan kondensationsbassängen fylls på varje gång. Detta ingår emellertid redan som krav i STF.

Provprogram för identifiering av svaga punkter

Enligt utredningen har ett program med syfte att få förbättrad kunskap om konstruktionens hållfasthetsmässiga status tagits. Genom programmet avses dels att upptäcka eventuella svaga punkter vilka underskrider uppställda hållfasthetskrav, dels bedöma graden av överkapacitet, vilket kan dras nytta av vid ombyggnader.

Borrningar

Det föreslås i utredningen en systematisk och fördjupad genomgång av dokumentationen från byggnadstiden för att göra en inventering av borrningar, till exempel för eftermonterade svetsplattor, och upprättande av en databas över dessa. Detta för att entydigt kunna ange förutsättningarna för framtida om- och tillbyggnader.

Beräkningar och dess förutsättningar

Det påpekas i utredningen att en del oklara uppgifter om förutsättningarna för beräkning av konstruktionens hållfasthet råder. Därför rekommenderas att förnyade beräkningar och översyn görs med uppdaterade temperaturlaster i såväl dry-som wett-well samt att belastningsritningar uppdateras med avseende på nya normer och bland annat att de ursprungliga belastningsförutsättningarna med beräkningar går igenom och uppdateras med hänsyn till nya normer och belastningsförutsättningar.

Betongprovningssintyg

Det framgår av utredningarna att provtryckningsintygen bör gås igenom.

Krafter och förluster i spännkablar

Det framgår att en sammanfattande rapport över resultaten från de utförda inspektionerna under årens lopp har tagits fram. En fråga som ställs i utredningen är hur länge kablarna kan vara spända med tillräcklig kraft och således förväntas fungera på avsett sätt. Inga omedelbara åtgärder rekommenderas dock med hänsyn till de återkommande inspektionerna, med vilka allt bättre underlag erhålls för framtida bedömningar.

Åldring av färg

Applicerade färgsystem valdes ursprungligen utifrån de ingående kravspecifikationerna. Av naturliga skäl kunde dock inte färgsystemen långtidsprovas vid hög temperatur och hög radioaktiv strålning innan färgerna godkändes. Därför rekommenderas i utredningarna bland annat att mätningar av färgskiktets vidhäftning till underlaget genomförs i utvalda lokaliteter.

Erfarenhetsåterföring.

Av utredningen framgår att organisationsenheten FQ har det övergripande funktionsansvaret för hantering av erfarenhetsinformation, och att byggnadstekniska frågor hanteras som en integrerad del av övriga verksamheten på FKA. Ingen ändring av denna ordning föreslås. Emellertid påpekas i utredningen att större uppmärksamhet bör ägnas inneslutningsrelaterade frågor genom att bredda erfarenhetsuppföljningen, bland annat med bildandet av en arbetsgrupp för utbyte av erfarenheten inom det byggnadstekniska området mellan kärnkraftsstationerna i Norden.

Åtgärdsplan och uppföljning av dessa i Forsmark

De ovanstående nämnda punkterna som identifierades i de inledande utredningar har följts upp i Forsmark 1, 2 och 3. Längst med utvärderingen och genomförda åtgärder förefaller Forsmark 3 ha kommit. Uppföljningen av dessa av punkter tillsammans med den redovisning som FKA inkommit med, efter särskild begäran inom ramen för denna utredning över genomförda och planerade kontroller och provningar av inneslutningen redogörs för enligt vad som framgått ovan i bilaga 2.1.

Ringhals

Ringhals AB (RAB) har till följd av SKI:s brev om att undersöka potentiella hot mot inneslutningen liknande de som inträffade i Forsmark 1 och Barsebäck 1 inkommit med en redovisning där man baserad på analyser och erfarenheter försökt att identifiera de kritiska i delarna i inneslutningarnas konstruktion och kylvattenkanaler [9-12]. Av redovisningen framgår att man i sina analyser och bedömningar när det bland annat gäller korrosionsfenomen och andra degraderingsmekanismer, möjliga avvikelser från ritningsenligt utförande mm, beaktat följande konstruktionsdelar:

<u>Ringhals 1</u>	<u>Ringhals 2, 3 och 4</u>
<ul style="list-style-type: none">- Cylinderdelen med genomföringar- Tätplåten på bottenplanet (wet-well golvet)- Övergången mellan bottenplåten och tätplåten i cylindriska väggen- Övergången mellan tätplåten i den cylindriska väggen och den motgjutna plåten i ringbjälklaget- Den motgjutna plåten i ringbjälklaget och den koniska strumpan.- Konstruktionen i anslutningen till stora inneslutningskupolen- Konstruktionen i anslutningen till lilla inneslutningskupolen- Spännkablar, hantering, ingjutning etc- Mellanbjälklaget.	<ul style="list-style-type: none">- Cylinderdelen med ingjutna genomföringar- Tätplåten på bottenplanet- Domen- Spännkablar- Bassänger för förvaring av utbränt kärnbränsle- Hjälpvattentunnlarna och konstruktionerna i intagsbyggnad 2

Slutsatsen i de inlämnade utredningarna [9-12] är att de kontroller och inspektioner som görs av de aktuella konstruktionerna är tillräckliga, men att på någon punkt behöver ytterligare kontrollmätningar genomföras, samt att med hänsyn till korrosionsrisker inneslutningens synliga betong- och stålytor bör besiktigas enligt uppgjorda planer. Vidare påpekas att kylvattenkanaler och konstruktionsbyggnaden behöver besiktigas i samband med tömningar. Speciellt dras följande slutsatser i utredningarna:

- Följa upp resultaten av de kommande täthetsprovningarna och vara observant på eventuellt ökande läckagetrender hos dessa.
- En tjockleksmätning av plåten mellan kopulflänsen och toroiden och ca 200 mm under toroiden i Ringhals 1 bör genomföras vid nästa revision, om möjlighet finns.
- För kylvattenkanalerna bör en skärpt uppmärksamhet ägnas åt eventuella färgändringar av betongytorna med hänsyn till risken för korrosion på armeringen.

Till följd av händelserna i Barsebäck 2 med den korroderade tätplåten, gjorde RAB en del utredningar. Syftet med dessa var att klarlägga som risk för liknande skador fanns i Ringhals inneslutningar[12-13]. I utredningen gällande inneslutningen i Ringhals 1 dras slutsatsen att risken för liknande skador som den inträffade i Barsebäck 2 är små beroende på delvis annorlunda tillvägagångssätt vid tillverkning och montage. Man hänvisar även till de kontroller som skedde på plats under byggnationen. När det gäller de övriga blocken i Ringhals slås, på samma sätt som för Ringhals 1, fast att den aktuella skadan i Barsebäck 2 berodde på bristfälligt utförande. Inga speciella åtgärder innebärande utökade kontroller eller

andra provningar med anledningen av inträffade skadan i Barsebäck 2 har föreslagits i utredningarna, med mer än att man skulle avvakta de kommande täthetsprovningarna, genom vilka eventuella begynnande läckage skulle upptäckas.

Av det inkomna underlaget, [14-19], med anledning av SKI:s brev om kontroller och provningar [3] framgår att RAB genomfört kontroller och inspektioner av toroiden i Ringhals 2, det tätande elementet i övergången mellan den cylindriska väggen och bottenplåten, kontrollerats. De genomförda kontrollerna, vilka primärt genomförts inför ansökan om förlängt provningsintervaller gällande integrala täthetsprovningar enligt option B, skedde genom trycksättning av utrymmet i toroiden. Därvid noterades inga defekter i toroiden. Vidare har man gjort en utredning kring orsakerna till att kalkvattennivån ovanpå tätplåten i leca-lagret i inneslutningens bottenbjälklag sjunker. Den primära orsaken uppges sannolikt vara avdunstning. Därför fyller man på vatten med återkommande intervaller. Kalkvattnet i utrymmet används för att åstadkomma basisk miljö, och därmed minska risken för korrosionsangrepp på tätplåten.

Vidare framgår av [19] att toroidringen i Ringhals 1, det område som motsvarar den korroderade toroiden i Forsmark 1, har kontrollerats. Inga defekter uppges därvid ha uppdragats, samt att man i samband med ånggeneratorbytet i Ringhals 3 och det hål som därvid upptogs i cylindriska skalet genomförde en del undersökningar och provningar omfattande betongen, armeringen och tätplåten samt provning av tryckhållfasthet, spräckhållfasthet, karbonatisering och kloridhalt i betongen. Därvid uppges att resultaten från dessa provningar bedömdes vara acceptabla.

I samband med de sistnämnda utredningarna har RAB även redovisat resultatet från de senaste kontrollerna och inspektionerna av spännkabelsystemet i Ringhals 3, som genomfördes under RA2000. Det framgår att inspektionen omfattade det korrosionsskyddande fettet samt tillståndet hos kabelmaterialet och förankringszonerna. Inga noterbara avvikelser är noterade i utredningen. Spännkabelförlusterna uppges vara inom tillåtna intervaller [17] samt att konstruktionen fungerar på avsett sätt.

Vidare uppger RAB, [19], att byggnadsbesiktning av inneslutningarna sker återkommande enligt instruktion. För Ringhals 2 uppges att 1990 utfördes omfattande provning/undersökning av betongen av Statens Provningsanstalt, numera DNV Nuclear Technology AB, samt att vart femte år sker en visuell kontroll av betongen runt kabelförankringar med avseende på sprickbildning eller fettläckage. Det framgår även att vid varje revision utförs kontroll och eventuell påfyllning av kalkvatten i bottenplattan och toroiden.

Oskarshamn

Med anledning av SKI-brevet efter de inträffade händelserna i Barsebäck 2 och Forsmark 1 har OKG Aktiebolaget (OKG) gjort en sammanställande redovisning [24] till SKI. Baserad på inkommen redovisning kan sammanfattningsvis sägas för samtliga block i Oskarshamn att genomgångar och inspektioner som genomförts av konstruktionerna mot bakgrund av de nämnda händelserna i Barsebäck och Forsmark inte uppdragat några defekter eller andra skador i det täta skalet i inneslutningarna. Beroende på skillnader i konstruktionen uppges att problematiken med den korroderade händelsen i Forsmark 1 saknar relevans för OKG:s inneslutningar. När det gäller liknande skador som den inträffade i Barsebäck 2 framgår av OKG:s tidigare redovisning [29], att ett annan tillvägagångssätt används vid eftergjutningen av genomföringar för block 1 och 2. Vid Oskarshamn 3 har dock samma eftergjutningsmetod använts med vissa skillnader jämfört med den metod som användes vid Barsebäck 2. Det bör

noteras att OKG endast redovisar konstruktionsmetoden i [29]. Någon bedömning av riskerna för motsvarande skador görs inte av OKG. Dock har detta bedömts av SKI i ett granskningspromemoria [2], varvid det konstateras att av alla svenska inneslutningar är Oskarshamn 3 den som mest liknar Barsebäck 2 vad beträffar eftergjutnings sättet av genomföringar. Därför föreslås i granskningspromemorian en närmare granskning av denna inneslutning med utgångspunkt från händelsen i Barsebäck. Det bör även nämnas i sammanhanget att inneslutningen i Ringhals 2 också framhävs i promemoria som en av de inneslutningar som behöver ägnas särskilt uppmärksamhet vad gäller kaviteter vid eftergjutningen.

Oskarshamn 1

Inom ramen för ett tidigare större moderniseringsprojektet (Fenix-projektet- 1994) togs ett program – kallad byggnadsteknisk riskanalys [22], inom vilket ett antal bedömda snitt i betongkonstruktionen skulle underkastas kontroller för att fastställa dess tillstånd. Det framgår av redovisningen att man även kontrollerade tätplåten – i såväl frilagda som ingjutna ställen. OKG uppger i sin redovisning att händelsen med toroiden i Forsmark 1 inte är relevant för Oskarshamn 1 beroende på skillnader i konstruktioner. När det gäller händelsen i Barsebäck med korroderade tätplåten anser OKG att de genomförda proverna och kontrollerna, bland annat genom visuella inspektioner och friläggning av ingjuten tätplåt med efterföljande tjockleksmättnings, visar att tätplåten inte påvisar sådana korrosionstecken liknande de i Barsebäck och att dess tillstånd är god.

Det framgår av den kompletterande redovisningen som OKG gjort till följd av SKI:s brev om kontroller och provningar [3], att man inom ramen för Fenix-projektet sammanfattningsvis genomfört följande [23]:

- En jämförande studie av dimensioneringsreglerna för betongkonstruktioner som en gång i tiden användes vid konstruktionen av inneslutningen och motsvarande regler för betongkonstruktioner från 1994 enligt BBK:94.
- Sammanställning av belastningar och belastningskombinationer samt analyser av reaktorinneslutningens bärförmåga, vilka säges visar att kraven för betongkonstruktioner från 1994, (BBK:94), uppfylls.
- Kompletterande analyser och beräkningar som säges visar att reaktorinneslutningen har en bärförmåga som uppfyller ställda tilläggskrav på bland annat över-och undertryck, temperatur och seismisk belastning
- Vissa töjningsmättnings i inneslutningsväggen. Syftet med dessa var att genom mättnings av betongens elasticitetsegenskaper få en bild av konditionen hos förspänningskabelsystemet. Det framgår att man mätte deformationerna i både horisontella och vertikala riktningen under trycksattinneslutning, 209 kPa. Dock uttrycks i utredningen vissa frågor om töjningsmättnings i vertikal riktning. Enligt sammanvägda slutsatser i utredning uppvisade emellertid de uppmätta deformationerna att inneslutningens betongvägg med ingående spännkablar väl svarar mot ställda krav
- Införande av tryckavlastning genom blåsvägar, för att avlasta reaktorbyggnaden vid övertryckning i händelse av yttre rörbrott.

Oskarshamn 2

Som för block 1 uppger OKG att problematiken med den korroderade händelsen i Forsmark 1 kan uteslutas i Oskarshamn 2, beroende på skillnader i konstruktionen av inneslutningen. OKG uppger att man under årens lopp genomfört ett antal större inspektioner av inneslutningen och inte funnit några defekter. Det uppges i redovisningen, [24], att en total ombyggnad av samtliga EL-genomföringar till inneslutningen i block 2 skett inom ramen för MELK-projektet 1996. I samband med det säger OKG att en omfattande besiktning av inneslutningens väggar samt kartering av armeringen gjorts. Vidare uppges att man under 1993, i samband med sil-händelsen, skar upp den rostfria beklädnaden i vissa snitt i kondensationsbassängen och genomfört prover av betongen och armeringen i inneslutningsväggen. Under 1996 - 997 uppger OKG vidare att en totalrenovering av inneslutningens väggar genomförts. Vad denna totalrenovering omfattade framgår inte av underlaget. Vid samtliga dessa tillfällen uppges inga defekter ha konstaterats.

Enligt redovisningen från OKG genomförs okulär besiktning av reaktorinneslutningen vid varje revisionsavställning. Denna besiktning omfattar frilagda ytor av betong och tätplåt. Det uppges att inga defekter eller andra skador konstaterats i samband med dessa inspektioner under årens lopp.

Av det kompletterande underlaget med anledning av SKI:s brev [3] om kontroller, provningar och andra utredningar angående inneslutningar framgår att OKG tillsammans med BKAB inom ramen för rekonstruktionsprojektet, BOKA, har genomfört FEM-analyser av inneslutningens täthet och hållfasthetsmässiga integritet [26]. I de genomförda strukturanalyserna, vilka utgår från nominella konstruktionsdata, har inneslutningens bärförmåga vid transienta tryck-och temperaturlaster studerats. Därvid har kraven på byggnadskonstruktioner avseende täthet och bärförmåga beaktats enligt Dimensioneringsregler för byggnader [27], vilka tagits fram i samarbete mellan OKG, BKAB och Forsmark 3. Inga åtgärdsbehov är identifierade till följd av de genomförda analyserna, mer än att de laster vid vilka tätheten upprätthålls respektive kollapslasten för inneslutningen har kontrollerats.

Oskarshamn 3

Som för övriga blocken konstateras skadan i Forsmark 1 inte vara relevant för block 3. I sin redovisning uppger OKG att okulära inspektioner genomförs av tätplåten och betongstrukturer. I samband med dessa har under årens lopp inga defekter kunnat konstateras.

När det gäller övriga kontroller och provningar samt utredningar angående inneslutningen framgår endast att OKG gjort en uppdatering av konstruktionsförutsättningar för reaktorinneslutningen i Oskarshamn 3.

Barsebäck

Med anledning av toroidskadan i Forsmark 1 uppger BKAB i sin redovisning [25] till SKI att man i samband med upptäckten av skadan i tätplåten i reaktorinneslutningen i Barsebäck 2 1993 gjorde dels en omfattande kontroll av inneslutningens genomföringar, dels analyserade andra områden i konstruktionen av inneslutningen där man skäligen kunde misstänka att byggmetoden skulle kunna ha gett upphov till hålrum, speciellt där injiceringsgjutning kan ha använts. BKAB drar därför slutsatsen i sin redovisning att merparten av in- eller kringgjutna stålkonstruktioner i reaktorinneslutningen funnits redan vara analyserade och endera åtgärdade eller bedömda och avfärdade. Dock uppger BKAB att en ny genomgång av byggnadens ritningsunderlag identifierat några områden som inte återfinns bland de tidigare

analyserade, men att i dessa finnes efter kompletterande analyser inte kunna uppstå den typen av skada som den inträffade i Forsmark 1. Detta tack vare utformningen av de aktuella konstruktionsdelarna dels saknar förutsättningar för uppkomst av korrosionsskador, dels de goda möjligheterna av att under byggnadstiden kunnat ha gjort fullgod gjutning och upptäckt eventuella avvikelser.

De konstruktionsdelar som behandlats i de ovannämnda kompletterande analyserna till följd av händelsen i Forsmark 1 återges i bilaga 2.1, BKAB:s kompletterande analyser.

Med anledning av SKI:s brev om kontroller och provningar har BKAB inkommit med en kort sammanställande redovisning där man uppger att reaktorinneslutningen kontrolleras vartannat år, där alla åtkomliga och synliga byggnadsdelar granskas för att upptäcka fel. Dessa undersöks och bedöms. Vid besiktningen uppger man att man använder sig av strålkastare, hammare, mejsel, mätverktyg, ritningar och föregående besiktningsprotokoll.

Dessutom uppger BKAB att utöver de löpande kontrollerna genomfördes under senare delen av 1990-talet ett projekt under beteckningen Reaktorinneslutningens integritet på lång och kort sikt. BKAB har dock inte gjort någon närmare beskrivning av projektets omfattning eller de resultat som man kommit fram till.

4. Slutsatser och kommentarer

Baserat på det redovisade underlaget kan konstateras att anläggningsägarna till följd av de inträffade händelserna i Forsmark 1 och Barsebäck 2 med korroderade toroiden och tätplåten, genomfört vissa analyser och utredningar gällande inneslutningarna. Det framgår av det omfattande utredningsmaterialet som inkommit till SKI och enligt ovan gått genom översiktligt att samtliga anläggningsägare har med utgångspunkt från de nämnda händelserna, vilka hade sin orsak i avvikelser från ritningsenligt utförande, bedömt riskerna för uppkomst av liknande skador och gjort en inventering av möjliga svaga punkter i konstruktionen. Några slutsatser från den gjorda genomgången återges nedan. Dessa kommenteras längre fram.

Slutsatser

Forsmark

Tack vare de vidtagna åtgärderna bedömer FKA riskerna för fler liknande skador som den inträffade i Forsmark 1 vara små. Utredningar med syfte att kartlägga svaga punkter i inneslutningarnas konstruktion har genomförts. Ytterligare ett antal utredningar är planerade eller pågår. Av de hittills genomförda utredningarna framgår att ett antal punkter kräver en fortsatt uppföljning via underhållsprogram, medan andra har endera åtgärdats eller för närvarande bedömts inte kräva några åtgärder. Några av de punkter, vilka identifierats kräva uppföljning, är bland annat tätningsmaterialet mellan mellanbjälklaget och den cylindriska väggen i Forsmark 1 och 2, åldring av målarfärgen och domkraftsfästena i mantellådan i Forsmark 3 – med hänsyn till korrosionsfenomen.

Vidare förefaller FKA ha gått igenom sina underhållsinstruktioner för inneslutningsfrågor på ett systematiskt sätt och identifierat behovet av eventuella kompletteringar av dessa. Ett noterbart initiativ i Forsmark är dess planer att i samband med borrningar i inneslutningsväggen genomföra olika betongprover och att i en databas systematiskt dokumentera dessa. Ytterligare en åtgärd som Forsmark planerar att införa är nya instrumenteringar av inneslutningen i syfte att få fram bättre belastningsunderlag (temperaturlast).

Ringhals

Ringhals uppger att skadan med den korroderade tätplåten i Barsebäck 2 berodde på brister vid uppförandet, och bedömer risken för liknande skador i Ringhals inneslutningar som liten. Detta främst beroende på annorlunda tillverknings sätt, men även att man har haft goda byggnadskontroller för att upptäcka eventuella avvikelser från den specificerade konstruktionen. Slutsatsen i Ringhals analyser och utredningar är att de kontroller och inspektioner som görs av inneslutningens konstruktioner är tillräckliga, men att skärpt uppmärksamhet behöver ägnas åt eventuellt ökande läckagetrender vid de kommande täthetsprovningarna samt eventuella färgändringar av betongytorna i kylvattenkanalerna med hänsyn till risken för korrosion på armeringen.

Med anledning av SKI:s brev om kontroller och provningar framgår att RAB genomfört särskilda kontroller och provningar av toroiderna i Ringhals 1 och 2 utan större anmärkningar.

Oskarshamn

OKG uppger att genomförda genomgångar och inspektioner av inneslutningarnas konstruktioner mot bakgrund av de nämnda händelserna i Barsebäck och Forsmark inte uppdat några defekter eller andra skador i det täta skalet i inneslutningarna. Beroende på skillnader i konstruktionen uppges att problematiken med den korroderade händelsen i Forsmark 1 sakna relevans för OKG:s inneslutningar. När det gäller liknande skador som den inträffade i Barsebäck 2 framgår av OKG:s tidigare redovisning att annan tillvägagångssätt används vid eftergjutningen av genomföringar för block 1 och 2.

Vid Oskarshamn 3 har dock samma eftergjutningsmetod använts med vissa skillnader jämfört med den metod som användes vid Barsebäck 2. Det bör noteras att OKG endast har redovisat konstruktionsmetoden. Någon bedömning av riskerna för motsvarande skador görs inte av OKG. Dock har detta bedömts av SKI i ett granskningspromemoria, varvid det konstateras att av alla svenska inneslutningar är Oskarshamn 3 den som mest liknar Barsebäck 2 vad beträffar eftergjutningssättet av genomföringar. Därför föreslås i granskningspromemorian en närmare granskning av denna inneslutning med utgångspunkt från händelsen i Barsebäck. Av det tillgängliga underlaget framgår inte att någon närmare uppföljning av denna fråga gällande inneslutningen i Oskarshamn 3 har skett.

Under denna utredningsgång har OKG dock inkommit med kompletterande underlag, [30, 31], i vilka dessa frågor bedömts vidare. OKG drar slutsatsen att risken för liknande skador som den inträffade i Barsebäck är liten beroende på annorlunda tillverkningsmetod.

För övrigt framgår av den redovisning som OKG inkommit med anledning av SKI:s brev om bland annat kontroller och provningar att omfattande genomgångar av konstruktionen för inneslutningen i Oskarshamn 1 gjorts tidigare i samband med FENIX-projektet under mitten av 90-talet. Bland annat utfördes då töjningsmätningar av trycksattinneslutning i syfte att verifiera konditionen av förspänningskabelsystemet. I samband med sillhändelsen i Barsebäck uppges också att kontroller och provningar av den ingjutna tätplåten samt betongen har skett. Inga anmärkningar är noterade i deras utredningar.

Vidare framgår att man gjort en översyn av konstruktionsförutsättningarna för sina samtliga inneslutningar. För block 2 har man, gemensamt med Barsebäck 2, även gjort en detaljerad strukturmekanisk analys med beaktande av de nya konstruktionsförutsättningarna.

Barsebäck

BKAB uppger med anledning av toroidskadan i Forsmark 1 att i samband med upptäckten av skadan i tätplåten i reaktorinneslutningen i Barsebäck 2 1993 gjordes dels en omfattande kontroll av inneslutningens genomföringar, dels analyserade andra områden i konstruktionen av inneslutningen där man skäligen kunde misstänka att byggmetoden skulle kunna ha gett upphov till hålrum, speciellt där injiceringsgjutning kan ha använts. BKAB drar därför slutsatsen i sin redovisning att merparten av in- eller kringjutna stålkonstruktioner i reaktorinneslutningen funnits redan vara analyserade och endera åtgärdade eller bedömda och avfärdade. I de senare genomgångarna av byggnadens ritningsunderlag har man inte heller efter vidare analyser och utredningar funnit någon anledning för liknande skador som den inträffade i Forsmark.

Med anledning av SKI:s brev om kontroller och provningar har BKAB inkommit med en kort sammanställande redovisningen där man uppger att reaktorinneslutningen kontrolleras vartannat år, där alla åtkomliga och synliga byggnadsdelar granskas för att upptäcka fel. Dessa undersöks och bedöms. Vid besiktningen uppger man att man använder sig av strålkastare, hammare, mejsel, mätverktyg, ritningar och föregående besiktningsprotokoll.

Kommentarer

Till följd av bland annat SKI:s brev om att kartlägga potentiella hot i inneslutningarnas täta integritet samt identifiera eventuella svagheter i dess konstruktion med anledning av bland annat den inträffade korroderingen i den inre toroiden Forsmark 1 har anläggningsägarna genomfört omfattande utredningar och övriga analyser av inneslutningarnas konstruktioner.

I en del fall har man enligt vad som framgår ovan identifierat ett antal punkter som underkastas vidare uppmärksamhet, antingen genom de ordinarie kontrollåtgärderna eller också genom särskilda uppföljningsprogram. Detta gäller speciellt Forsmark 3, där man enligt vad som kan framgå av det presenterade underlaget gjort den mest omfattande genomgången över tänkbara hot mot inneslutningens täta funktion och presenterat ett uppföljningsprogram.

I en del andra fall har man i sina analyser konstaterat att det är tillräckligt med de ordinarie täthetsprovningarna och byggnadsbesiktningarna, sedan man på ett översiktligt gått igenom konstruktionerna. Mot bakgrund av de inträffade skadorna och dess orsak, vilka till största delen både nationellt och internationellt beror på avvikelser i konstruktion, tillverkning och eller montage, kan emellertid i vissa avseende de ordinarie kontrollerna och provningarnas tillräcklighet ifrågasättas. Detta speciellt med tanke på att de globala täthetsprovningarna i de svenska anläggningarna med undantag av Forsmark, som numera genomför ett av de 3 proverna per 10 år vid fulla DBA-trycket (Design Basis Accident), genomför provningarna vid ett tryck motsvarande halva det tryck som kan inträffa vid ett svårt haveri. Händelsen i Forsmark med korroderade toroiden torde kunna fungera som ett tecken på att de så kallade integrala proverna vid halva DBA-trycket kan ifrågasättas och inte är tillräckliga för att tidigt fånga upp eventuella degraderingar i täta skalet. Om täthetsprovningarna i Forsmark 1 hade utförts vid det höga trycket hade man sannolikt upptäckt skadan långt tidigare än vad man gjort.

Vidare är de refererade byggnadsbesiktningarna begränsade bara till synliga och åtkomliga ytor. Eventuell korrosion eller annan degradering av ingjutna komponenter, såsom armeringsjärn och tätplåt, är omöjliga att upptäcka med dessa metoder. Därför måste alternativa undersöknings- och provningsmetoder på sikt övervägas. Hur konditionen hos de

ingjutna förspänningskablarna eventuellt övervakas framgår inte av det presenterade underlaget.

Den inträffade skadan med pluggen i Barsebäck 2, vilken inträffade efter de omskriva skadorna i Forsmark 1 och Barsebäck 2 med korroderade toroiden och tätplåten, och de därefter följande utredningar i syfte att identifiera liknande skador i inneslutningar, visar återigen svårigheterna med att i efterhand, genom utredningar och genomgångar av ritningsunderlag mm, upptäcka eventuella avvikelser i konstruktionen.

Långtidsfenomen såsom krypning och krympning av betong och relaxation av förspänningskablarna adresseras inte i de presenterade utredningarna från anläggningsägarna. Dessa fenomen är speciellt viktiga att få ökad kunskap om för de inneslutningar vilka har ingjutna förspänningskablar.

Tillståndshavarna drar slutsatsen att förutsättningarna för kemiska degraderingar av inneslutningens komponenter antingen saknas, eller också genom direkta eller indirekta kontroller och provningar upptäcks. Emellertid förutsätter de därvid att inga avvikelser, liknande de i Forsmark 1 och Barsebäck 2 med korroderade toroiden och tätplåten, finns i konstruktionen, vilka mot bakgrund av just inträffade händelser inte kan uteslutas även i framtiden.

5. Referenser

- 1 SKI – brev, Cirkulärbrev beträffande korrosionsskador i inneslutningar, 1997-11-07, dnr 5.62-971521
- 2 SKI – Granskningspromemoria, genomföringar i inneslutningar, 1993-12-30, dnr 5.69-931317, Gert Hedner.
- 3 SKI – brev, Önskemål om underlag för utredning kring inneslutningen, 2001-01-12, dnr 14.42 000772
- 4 Forsmark 1, Slutlig redovisning av toroidring och reaktorinneslutningens kupolfläns revision 1997, F1-rapport 97/114, 1997-11-03
- 5 FQS-A1200/GUL 981230008, 1998-12-30 – Forsmark 1, 2 och 3 – redovisning av utredning om reaktorinneslutningarnas driftklarhet, med underrapporter GEY 11/98-1998-12-18, GEY 47/98-1998-12-18 och GEY 13/98-1998-12-18
- 6 FQS-A1200/GUL 990325010 1999-03-24– Forsmark 1, 2 och 3 – redovisning av utredning om reaktorinneslutningarnas driftklarhet, med underrapporter F3-99/34, F2-99/031 1999-03-17, F1-99/048 1999-03-16
- 7 Forsmark 3 – Redovisning av statusinventering för reaktorinneslutningen – lägesrapport, F3-rapport, F3-2000-5
- 8 Forsmark 3 – Uppföljning av punkter i åtgärdsplan för reaktorinneslutningen, F3 rapport, F3-2001-21, 2001-06-16
- 9 Ringhals – Ringhals utförda genomgångar av inneslutningar och andra konstruktioner med täthetskrav, brev R-003/98, 1999-01-26
- 10 Ringhals 1 – Korrosionsskador på inneslutningar och andra konstruktioner med täthetskrav, Rapport 1695/98, 1998-12-15, Jan Gustavsson
- 11 Ringhals 2 – Korrosionsskador på inneslutningar och andra konstruktioner med täthetskrav, Rapport 1696/98, 1998-12-15, Jan Gustavsson
- 12 Ringhals 3 och 4– Korrosionsskador på inneslutningar och andra konstruktioner med täthetskrav, Rapport 1697/98, 1998-12-15, Jan Gustavsson
- 13 Ringhals 1 – Reaktorinneslutningen, täta skalet, Rapport 1230/93, 1993-10-29, Jan Gustavsson
- 14 Ringhals 2 – Reaktorinneslutningen, täta skalet, Rapport 1260/93, 1993-11-10, Jan Gustavsson
- 15 Ringhals 2 – Reaktorinneslutningen, Täthetsprovning, täthet toroid, RapportID 1611521/2.0, 2000-06-16, Jan Gustavsson

- 16 Ringhals 2 – Ringhals 2 inneslutning, Bottenplatta, korrosionsskydd av tätplåt, RapportID 1698317/2.0, 2000-06-28, Jan Gustavsson
- 17 Ringhals 3 – Ringhals kraftstation Block 3, Reaktorinneslutningen, Fjärde återkommande inspektion av spännkablar år 2000, RapportID 1698154/2.0, 2000-06-26, Anders Tilstam
- 18 Ringhals 3 – Yttre containmentaktiviteter Ringhals 3-2000, RapportID 1605569/2.0, 1999-11-18, Anders Tilstam
- 19 Ringhals, Barsebäck 2, R1, R2, R3, R4 underlag för utredning kring inneslutningar, rapport ID 1705528/2.0, 2001-02-28, Folkesson Lars -Erland
- 20 Oskarshamn 1,2 och 3 – Sammanställning av kontroller och utredningar utförda på reaktorinneslutning, rapport regnr 2001-02161, 2001-02-23,
- 21 NCC - Oskarshamn 1, Projekt Fenix, redovisning inför återstart, reaktorinneslutningen, Rapport över deformationsmätning av reaktorinneslutningen under juli månad 1995, Doknr 94-1007/Aa/09
- 22 Oskarshamn 1, Fenix projekt återstart- delprojekt byggnader, Byggnadsteknisk riskanalys för reaktorinneslutningen, OKG tekniskt rapport regnr 94-07689, 1994-10-05
- 23 Oskarshamn 1, Säkerhetsredovisning inför återstart 1995 – verifiering av byggnader, OKG rapport regnr 94-07865, 1995-06-27
- 24 Oskarshamnsverket, Korrosionsskador i inneslutningar, OKG rapport regnr 98-16207, 1998-12-29, med foljebrev med regnr 98-16187
- 25 Barsebäck 1 och 2, Korrosionsrisk för säkerhetsmässigt väsentliga stålkomponenter som in-och kringjutets i betong, Rapport P1-9812-33, 1998-12-07
- 26 Scanscot Technology, Oskarshamn 2 och Barsebäck 1/2- Analys av inneslutningens täthet och bärförmåga, teknisk rapport 98115/TR01, 1999-02-26.
- 27 Scanscot Technology, Oskarshamn 1/2/3, Barsebäck 1-2 samt Forsmark 3 – dimensioneringsregler för byggnader (DBR:1998), Teknisk rapport 98118/TR01, 1998-12-04.
- 28 Forsmark Kraftgrupp AB, Forsmark 1, 2 och 3 – risk för korrosion på tätplåt runt inneslutningsgenomföringar – Skillnader mellan Forsmark och Barsebäck, FQ-A1200/FQS
- 29 OKG Aktiebolag, Konstruktionsmetoder för reaktorinneslutningar av betong, Regnr 93-08254, brev med bilagda utredningsrapport regnr 93-07996, 1993-11-04
- 30 OKG, Oskarshamn 1, 2 och 3 – Utredning avseende reaktorinneslutningar – SKI brev 1442-990396/99188, OKG-rapport 2002-00738 utgåva 1, 2002-01-15

- 31 *OKG, Oskarshamn 1, 2 och 3 – Utredning avseende reaktorinneslutningar – Utredning av frågeställningar ställda i SKI brev 1442-990396/99188, OKG-rapport 2002-00519 utgåva 2, 2002-04-05*

Bilaga 2.1, FKA:s redovisning av åtgärdsplaner och uppföljning av dessa

Forsmark 3	Planer, 1999	Uppföljning av planer och åtgärder, rapport 2001-jan.
Läckageövervakning av C-bassäng	Inga. Ytterligare genomgång av arkiv bedöms inte ge bättre underlag	Inga åtgärdsbehov identifierade
Täta skalet Svaga punkter, - personsluss	Anslutningssvetsen skall kontrolleras med avseende på ritningsenligt utförande, främst a-mått	Visuell kontrollerad genomförd under RA99. Magnetpulverprovning genomförd under RA00
- personsluss	Komplettering av infästningssvetsar	Svetsarna kompletteras/förstärks, RA01
- Infästning till mellanbjälklag	Inga planer??	
Korrosionsrisk -domkraftsfästen på mantelplåt(ingjutna tätplåten, nedre delar mot botten?)	Kontroll av fästen mot mantelplåten: - Riskanalys för ingrepp i mantelvägg - Tänkbara inspektionsmetoder	Förstudie, 2 års ram satt för ev åtgärder. Inspektion under RA01
- Nedre kupolfläns	Återställa miljön bakom flänsen till basisk	Åtgärdat under RA99
- Lab.prov av korrosion i betong	Litteraturstudie med möjliga åtgärder	Inga åtgärder. Utredning av FORCE-inst. visar inte på risk för galvanisk korrosion i akt. Miljö
Tätning mellan cylinderskal och mellanbjälklag		Inga åtgärder
Program för identifiering av svaga punkter	Inventering av arkiverat beräkningsmaterial, nya belastningsförutsättningar	Nya KFM framtagna. Behov av ytterligare inventering av arkivmtrl.
Bottenplåt i wet-well	Inga	Inga behov identifierade
Borrningar i betong	Inventering av läge för utförda borrningar, Skapa dataregister Utveckla rutiner för framtida borrningar	Inventering genomförd. Aktuella instruktioner finns. Datorbaserad system planerad.
Temperaturlaster i wet-well	Inga akuta problem identifierade, hänskjuts till punkt om belastningsunderlag- beräkningar	
Sammanställning av betonghållfasthet	Utredning pågår – komplett rapport aviserad.	Inga akuta problem identifierade. FTCB utredning visar ingen risk för degenerering av grundmurarna i RI
Spännkablar, efterspanning, inspektion	Bassängkablar och kablar i övre ringplatta åtgärdas i samband med planerade inspektioner 2002 och 2005	173-del av sp.kablarna justerade nu vad gäller förspänning. Lab.prov av trådar har skett.
Erfarenhetsåterföring	Att ta initiativ för att bilda en arbetsgrupp, och ordna ett workshop, FTX rutiner förstärks	Samtliga punkter genomförda. Ett workshop med svenska industrin genomförd under hösten 1999
Åldring av färg	Inga åtgärder, se nedan punkten om kontroll av målade ytor	

<u>Återkommande kontroll och provningar</u>		
Tryckkapacitet av betong- kontroll av sulfat påverkan	I samband med borrhningar tas ut prover. Instruktion om detta tas fram.	Löpande satsningar pågår. Datorbaserad system kommer att tas fram under 2001. Instruktioner finns nu. Prov uttaget 1999 på F1. Låga sulfathalter. Applicerbar på F3.
Tryckkapacitet av betong- kontroll av mekanisk påverkan	Avsugning i samband med varje revision, nuvarande inspektionsprogram kompletteras	Befintlig instruktion täcker frågan och är tillräcklig
Dragkapacitet hos slakarmering	När tillfälle ges uttas borrhkärnor, med mätning av karbonatiseringsdjup, kloridinträngning, programmet för F1 applicerbar på F3	Löpande satsningar pågår. <u>Karbonatiseringsprov</u> i väggen på sekundärutrymmet utförd. Ingen detekterbar karboniseringshalt. <u>Kloridhalt</u> : inga åtgärder efter analyser
Dragkapacitet hos slakarmering – korrosion	Kontroll av ventilationsfunktionen för spännkabelventilationen med 12 veckors intervall	
Dragkapacitet hos slakarmering – temperatur uppföljning	Temperaturmätpunkter etableras i vissa av spännkabeltrumorna. Avläses en gång per år. Införes år 2000	Förstudie genomförd. Föreslås att 28st temp.givare installeras. Planeras bli införd 2002.
Sprickinventering	Sprickindikering enligt FGU-instruktion omarbetas. Inspektion varje revision	Tillräckligt med befintligt instruktion. Ing fler åtgärder.
Gummitätning mellanbjälklag	Årlig uppföljning av F1/F2:s genomförda kontroller. Varje revision	Inspektion genomförd 1999. Mindre färgändring kunde konstateras. Underhållsinstruktion utgiven. Underhållsåtgärder genomförda under mars 2001.
Stålkonstruktionens degenerering- Målningskontroll	Samtliga åtkomliga ytor inspekteras varje år visuellt. Rutin för efterföljande åtgärder tas fram	10 % varje år. Befintliga instruktioner tillräckliga
Kontroll av testkanaler	Testkanaler vid skarvsvetsar och genomföringar i täta skalet kontrolleras, 10% per år. Nya instruktioner tas fram	Inspektion och täthetsprovningar av samtliga kanaler genomförd. Underhållsinstruktion utgiven.
Utrymme mellan kupolfläns och betong	Uppföljning av kemiska processer och mätningar med bland annat fiberoptik. Kontroller inledningsvis varje.	Instruktion framtagen.. Resistansmätning av kemikontroll upplagd.
Utrymme bakom nedre kupolfläns	Uppföljning av vattenläckage i kompressionsutrymme. Instruktion 77Va711 i B5:80 finns	Rondning sker
Mellanbjälklagstätning	Mellanbjälklagstätning med kuggkrans och ståltoroid(rostfritt)	Inspektion genomförd RA99. Inga anmärkningar. Underhållsinstruktion

	kontrolleras regelbundet, okulärt och med fiberoptik. Pluggar finns. :1:a inspektion 1999.	framtagen.
<u>Indirekta degenereringsfenomen</u>		
Målningskontroll	Återkommande inspektioner, tester av vidhäftning, mm	Visuell kontroll, 10 % av berörda ytor varje revision
Temperaturmätning på betongytor	Utredes gemensamt med F1/F2.	
Spänning i slakarmering – kompletterande mätningar	Spänningen i slakarmering mäts. Befingliga trådtöjningsgivare används. Utförs var tredje år.	

Forsmark 1 och 2	Åtgärdsplaner, 1999	Uppföljning av planer och åtgärder.
Läckageövervakning av C-bassäng	Inga åtgärder. Befintliga kunskaper och rutiner tillräckliga	
<u>Täta skalet</u> Svaga punkter, - mantelplåtens infästning i nedre ringplatta	Inga åtgärder. Ev läckage upptäcks genom de integrala proverna. Svetsen ingjuten, ej kontrollerbar. Anslutningssvetsen skall kontrolleras med avseende på ritningsenligt utförande, främst a-mått	
- personsluss	Infästningssvetsens ritningsenliga verifiera. Svetsen kan vara för liten. Förstudie tas fram med kontrollberäkningar	
- Toroid	Förebyggande åtgärder mot korrosion samt förbättrade kontroller, komplettering av instruktioner för kontroll	En kontroll har utförts. Acceptabelt resultat, dock spår av korrosion.
Korrosionsrisk -cylindriska mantelplåten	Kontroll av blandskarvar föreslagits. FTCB utreder möjliga provningsmetoder	
- testkanaler vid genomföringar	Risk för korrosion. Periodisk kontroll läggs upp i FU-systemet	
Utrymme mellan slussar och foderrör	Utrymmet kan vara utsatt för fukt och ev korrosion. Inspekteras. Utredning av F2R tas fram.	
Kupol	Infästning av isolering map korrosion undersöks. Insp. Utföres periodisk enligt STF. Ingen korrosion har konstaterats	
Mellanbjälklag	Kontroll av gummiduk, provbitar tas ut.	
Expanderbultar	Några bultar ej fästa enligt spec.	

	metod och materialspecifikation tas fram.	
Bottenplåt i wet-well	Inga åtgärder. De rekommenderade åtgärderna ingår redan i STF	
<u>Återkommande kontroll och provningar</u>		
Sprickinventering	Inga vidare åtgärder. Inventering och inspektion utföres enligt instruktion varje år.	
Kemisk påverkan	Metod för provtagning av sulfat, karbonatisering och klorinträngning finns beskrivna i FT-rapport 99/75	
Spännarmering	Inspektioner av spännarmering utföres enligt F1-instruktion. Ev omspänning utred. Typgodkännande krävs.	Resultatet av senaste provningarna finns i rapport FT 98/284.
Mellanbjälklags-tätning	Rutiner o kontrollmetoder tas fram. Tätningen inspekteras enligt STF-prov	
	Inga åtgärder, se nedan punkten om kontroll av målade ytor	
Målningskontroll av stålytor	Inspektionsprogram finns. Omfattning ej reglerad. Rör genomföringarnas målning inkluderas i programmet	
Täthetstest av test kanaler.	Nuvarande prov enligt instruktions tas bort. Ej normenliga krav. Periodisk inspektion map fukt läggs upp i FU-systemet.	
Personslussar	Målningsinspektion enligt ovan. Ingen periodisk test krävs efter vidtagna åtgärder	
Målningsbesiktning av betong ytor	Sker enligt instruktion	
Trådtöjningsgivare på slakarmering	Sådana kan finnas kvar från byggnadstiden. Utredning om dessa finns o kan användas.	
Toroid	Behovet av återkommande kontroller avgörs efter planerade prover	
Målningskontroll	Åtgärds paket tas fram av målningsgruppen. (?)	
Dränage från foderrör i mellanbjälklag	Kontroll ingår i de integrala proverna och driftläggningskontroll av ventilerna. Inga vidare åtgärder	

	planerade	
Borrningar, för provtryckning	Instruktion och register för att tillvarata borrhärnor i samband med framtida borrningar	Inventering av borrningar från byggperioden och drifttiden gjort. Dokumentation finns. Dock ej enhetlig.
Temperaturförutsättningar, och ökning av temperlater	Beräkningsmodell med tas fram. Begränsningar finns i STF. Behov av tempgivare på betongytan utreds.	
Tempgivare i spännkabelutrymme.	Behov och ev montagefrågor utreds	
Program för beräkningsinsatser vid framtida händelser		
Beräkningsmodell – Belastningar	Oklara och motstridiga uppgifter i befintligt. Ny beräkningsmodell med förutsättningar etc tas fram under 1999	
Beräkningsdata	Aktuell data på betongens tryckhållfasthet tas fram från prover. Analys av resultat från borrhärnor nyttjas.	
Betongprovningssintyg	Resultatet från löpande provningar sammanställs systematiskt	
Krafter och förluster i spännkablar	Inga vidare åtgärder planerade. Resultatet från inspektioner och <u>metoder</u> (?) finns i rapportform.	
Erfarenhetsåterföring	Etablerade utökade kontakter med kärnkraftsverken i nord. Inga andra åtgärder finns omnämnda	
Åldring av färg	Metoder och acceptanskriterier utreds i pågående projekt	
Mellanbjälklag	Farhågor om att isolering mellan processrör och foderrör i mellanbjälklaget finns. Inspektioner under 1999 planerade	

Bilaga 2.2, BKAB:s kompletterande analyser

Konstruktionsdel	Problembeskrivning	Slutsats o förslag till åtgärder
Kupolflänsen och dennes anslutning mot tätplåten.	Under vissa förutsättningar skulle området kunna utsättas för ett yttre vattentryck. Området motsvarar den skadade toroiden i Forsmark 1	Annan utformning än i Forsmark 1. Inga åtgärder
Hanteringsbassänger – RI:s kupolfläns	Bassängerna är invändigt försedda med en rostfri plåt. Utrymmet mellan plåt och betong är försett med dränage anslutningar. Dränagerören i systemet är anslutna till ett gemensamt utrymme, som ronteras.	Infästningen av kupolflänsen annorlunda än i forsmark 1. Ingen toroidring och termisk isolering finns. Läckageuppföljning, dränering och rondering anses vara tillräckliga åtgärder.
Kupolfläns och ingjutna ringen	Kupolringen och tätplåten ligger direkt på utsidan av betongen.	Inget utrymme för kavitet. Inga åtgärder
Reaktorinneslutningen	Viss ritningsunderlag har gått igenom. Därvid har positioner befunnits ej kontrollerade tidigare: -injicering kring spännbultar för förankring av avblåsningsrören. - nedre leden i övergången mellan den cylindriska väggen och bottenplattan med hänsyn till att yttre vattentryck skulle kunna uppstå. Utrymmet mellan kondensationsbassängens rostfria plåt och betongvägg är försett med dränagerör, vilka i normalt läge är stängda. Därför skulle tryck mot den ingjutna horisontalplåten i nedre delen av cylinderväggen kunna uppstå.	Ingen kavitet bedöms kunna uppstå vid kringgjutningen av spännbultar. Inga åtgärder föreslås således. Tack vare ingjutningssättet av horisontalplåten saknas förutsättningar för att kavitet runt denna skall kunna uppstå. Därför finns ingen risk för korrosion.
Övriga byggnader	Kylvattenkanaler har förhållanden där ingjutningsstålet skulle kunna korrodera. Sådan korrosion har noterats i taken på hjälpkylvattenkanalerna. Orsaken anges vara att armeringen ej fått föreskrivet betongskikt.	Problemet är identifierat och uppföljning görs under revisionerna.
Övriga delar	När det gäller övriga konstruktionsdelar såsom genomföringar i inneslutningen hänvisar BKAB till tidigare analyser och utredningar, huvudsakligen till följd av den korroderade tätplåten i Barsebäck 2, 1993.	

Bilaga 3:

Erfarenheter och skador internationellt

Gabriel Barslivo

Internationella erfarenheter

Vid en genomgång av olika skador och degraderingar, vilka oftast finns sammanställda i arbeten från internationella samarbetsgrupper inom IAEA och OECD/NEA [1-4], som inträffat i inneslutningarnas konstruktioner av betong och stål, kan det konstateras att bilden är ganska spridd. I de amerikanska anläggningarna har flest skador rapporterats, medan i de europeiska anläggningarna är omfattningen mindre. I föreliggande genomgång, vilken omfattar endast ett fåtal lämpliga länders erfarenheter av skaderelaterade frågor, lämnas rapporterade skador i konstruktionen av inneslutningar i de forna öst-staterna utan kommentarer, eftersom konstruktionen av dessa anläggningar när det gäller materialval, konstruktiv utformning samt kvalitetskontroller av material och utförande är på basis av tillgänglig information svårbedömda i jämförelse med de västerländska konstruktionerna.

För en jämförelse och bedömning av de internationellt rapporterade skadorna och degraderingar i reaktorinneslutningar eller andra betongkonstruktioner och relevansen av dessa för de svenska anläggningarna, bör självklart göras mot bakgrund av eventuella olikheter i konstruktion, materialkvalitet, utförande och de standarder som legat till grund för konstruktioner, vilka kan ha en avgörande betydelse för konstruktionernas tålighet. De svenska reaktorinneslutningarna har konstruerats och byggts efter nationella standarder, till skillnad från övriga stålkarlkomponenter såsom rör- och reaktortankkarlkomponenter där de amerikanska normerna varit styrande i förhållandevis betydligt större omfattning, inte bara för svenska utan även för övriga europeiska reaktorer. Orsaken till detta torde bero på att de amerikanska normerna för betongkonstruktioner i kärnreaktorer inte var så välutvecklade i kombination med att det nationellt fanns en gedigen erfarenhet av betongkonstruktioner.

En väsentlig aspekt som skulle kunna vara värd att beakta vid en jämförande studie mellan skador och degraderingar i inneslutningarnas konstruktioner i Sverige och utlandet, som dock med hänsyn till olika skäl är svår att göra, är de kontroller som utförts av byggnationen. Detta mot bakgrund av att de flesta inträffade skadorna, såväl nationellt som internationellt kan hänföras till icke-konstruktionsenligt utförande, samt att det i dagens läge inte finns lättillgängliga och tillförlitliga oförstorande provningsmetoder, förutom möjligen för relativt klara och lättåtkomliga konstruktioner, för att kunna verifiera tillståndet i grova betongkonstruktioner, som inneslutningen är ett exempel på.

Det som är gemensamt för reaktorinneslutningar för lättvattenreaktorer i västvärlden är att de har samma konstruktionsstyrande händelser, vilket innebär i allmänhet att inneslutningen skall utgöra den yttre barriären i djupförsvaret, kunna innesluta utsläpp av radioaktiva ämnen vid haverier såsom LOCA - Loss of coolant accident. Därav följer de gemensamma förutsättningar för konstruktionen, vilket innebär krav på en viss tryckupptagande volym, viss tjocklek på inneslutningsväggen för att klara vissa belastningar och bland annat att den skall vara gastät, vilket huvudsakligen åstadkommit med en stålplåt, antingen ingjuten i betongväggen eller att den ligger på insidan av väggen, som en del i de amerikanska anläggningarna.

Emellertid torde det finnas betydande likheter när det gäller drift, i synnerhet mellan de amerikanska och svenska anläggningarna, eftersom de svenska kärnkraftverken är byggda efter det amerikanska konceptet, Westinghouse och GE. Därför kan det finnas en grund för jämförelser av sådana skador som kan vara driftinducerade. När det gäller återkommande täthetsprovningar och visuella inspektioner i de svenska anläggningarna görs de efter de

amerikanska normerna, närmare bestämt i appendix J i US CFR 50. Därför torde ur denna aspekt vissa skadors förutsättningar för detektering också kunna jämföras.

Amerikanska anläggningar

Inträffade skador och degraderingar i de amerikanska anläggningarnas inneslutningar finns kort sammanfattat i [3]. Det rapporteras att minst 66 skador av olika slag ha inträffat. Det uppges vidare att en fjärdedel av alla inneslutningar har haft någon form av korrosionsskador, och att nära hälften av alla inneslutningar av betong rapporterat degraderingar i den för- eller efterspända betongen.

I bilaga 3.1 återges exempel på inträffade skador och degraderingar i de amerikanska inneslutningarna. Beskrivningarna av orsaken till degraderingarna och var i konstruktionen dessa skador inträffat är ytterst summarisk i tillgänglig litteratur. En observation som kan göras av de återgivna händelserna är att skadorna huvudsakligen berott på korrosionsangrepp av olika slag samt att de uppdagats genom visuella inspektioner. Detta kan betyda att skadorna inte varit av tillräcklig omfattning eller av sådan art att de kunnat upptäckas genom de föreskrivna återkommande inspektionerna och kontrollerna såsom de s.k. globala täthetsprovningarna av inneslutningen, eller att de tillämpade kontrollerna inte varit av tillräcklig hög kvalitet eller haft avsedd effekt. Det bör tilläggas att de amerikanska normerna fram till mitten av 90-talet föreskrev täthetsprovningar en gång vart tredje år. Därefter har den amerikanska tillsynsmyndigheten, NRC, medgett att täthetsprovningarna under vissa förutsättningar kan utföras en gång per 10 år. Se vidare avsnitt om återkommande provningar.

I takt med att anläggningarna blir äldre, börjar enligt [1] allt fler skador och degraderingar i de amerikanska inneslutningarna observeras: Dessa skador uppges i de flesta fall ha sin orsak i miljörelaterade faktorer, men även byggnadsfel och felaktigt materialval uppges som orsak till de konstaterade skadorna.

Enligt [1-3] har sedan mitten på 80-talet 32 stycken korrosionsskador i amerikanska anläggningars inneslutningar rapporterats. Dessa har varit i såväl tätplåten som i andra stålkomponenter vilka ingår i betongkonstruktionen. I två av de rapporterade skadorna har korrosionsangreppen penetrerat genom tätplåten i den förspända betongen. I ytterliga fyra fall har angreppen varit av sådan grad att halva tjockleken av tätplåten lokalt korroderat bort. Det uppges att uppdagningen av skadorna i endast fyra fall av det totalt rapporterade har upptäckts genom planerade inspektioner, eller sådana vilka föregår de s.k. integrala proverna av inneslutningen. Hela 7 stycken har upptäckts genom till provningar och kontroller av inneslutningen icke relaterade aktiviteter.

När det gäller hur skadorna har uppdagats så har endast fyra stycken av de rapporterade uppdagats genom planerade inspektioner och täthetskontroller. Vad detta betyder för kontrollernas effektivitet och tillförlitlighet är inte lätt att besvara utan att studera de enskilda skadorna.

Det kan tilläggas att PWR-inneslutningar i de amerikanska anläggningar är i huvudsak av tre typer [BSRC-700/94/019] vad avser tätplåtens placering:

- Förspänd betong med tätplåten fritt exponerad på insidan av betongväggen
- Armerad betong med tätplåten fritt exponerad på insidan av betongväggen
- Cylindrisk eller sfärisk stålkärl

Någon motsvarande sammanställning för BWR-reaktorer har inte påträffats i de tillgängliga referenserna. Emellertid har av de totalt 109 reaktorerna i drift 1997 [4] 41 stycken förspända betongkonstruktioner (prestressed concrete containment), 31 stycken armerad betong (reinforced concrete containments) och 37 stycken inneslutning av stål (steel containment). Inneslutningar med ingjuten tätplåt är enligt uppgift sällsynt förekommande i USA. Därmed är behovet i USA av kontroll och provningsmetoder för ingjutna strukturer begränsad till armeringsjärn.

Monoteringsystem i USA.

Kontroller och inspektioner i USA regleras i Regulatory Guide (RG) 1.90 och 1.35. Kontrollerna enligt dessa guide är utöver återkommande trycktäthetsprovningarna, vilka regleras i andra guider, se avsnittet om återkommande kontroller i rapporten.

I Regulatory Guide (RG) 1.90 regleras kontroller och mätningar av fast (cement) injekterade förspänningskablar i inneslutningen [4]. Enligt denna ges två olika alternativ för monoterings av tillståndet i spännkablar: Det första går ut på att mäta förspänningen i kablarna genom strategiskt placerade mätgivare av olika slag såsom töjningsgivare, spänningsmätare (stress meters) och lastgivare (load indicators). Det andra alternativet går ut på att monotera deformationer i den förspända betongen under vissa givna tryckbelastningar.

När det gäller icke-fast injekterade förspänningskablar, sådana som ligger i foderrör med korrosionshämmande medel, och är åtkomliga för inspektion och byte, regleras kraven på återkommande kontroller och inspektioner i RG1.35, som reviderats så sent som 1990. Enligt denna utföres styckvisa kontroller av kablarna, 21 stycken totalt under de tre första inspektionerna – 10 i omkretsled, 5 i vertikalled och 6 i kupolen, under de första tre inspektionerna, och totalt 9 stycken, 3 i omkretsled, 3 i vertikalled och 3 i kupolen, under de efterföljande inspektionerna. I guiden regleras även inspektioner av förankringsplattorna till förspänningskablarna, kontroller av infettningsmedlet, tester av materialegenskaper i kablarna och visuella inspektioner av betongen.

Sammanfattningsvis kan det konstateras att i de amerikanska anläggningarna utförs kontroller och återkommande provningar av förspänningskablarna, även de som är fastingjutna, i enlighet med vissa myndighetsguider.

Belgien

Av totalt 7 stycken reaktorer (PWR) har 5 stycken förspända inneslutningskonstruktioner, med ett inre och yttre skal, av vilka det inre skalet är förspänd med fastingjutna förspänningskablar. Dock är 3 kablar i varje grupp (omkretsled, vertikalt och kupolen) ej fast ingjutna, för monoteringsändamål, i enlighet med de amerikanska kraven och normerna för konstruktion av inneslutningar, som man i Belgien valde att tillämpa. Tätplåten är fastingjuten i det ca 85 tjocka inre betongskalat. De två andra reaktorerna har sfäriska inneslutningar, som inte är förspända.

Det finns inga nämnvärda skador i de belgiska reaktorinneslutningarna presenterade i litteraturen. Emellertid omnämns överbelastning i åtdragningsplattorna i förankringspositionerna för förspänningskablarna. Enligt vad som framgår kan på grund av de återkommande testerna en viss överbelastning ha skett i vissa komponenter här. Farhågor om att vissa komponenter (tendons) till och med kan brista i samband med de återkommande testerna nämns som en konsekvens.

Enligt [3] har man i Belgien uppdaterat sina instruktioner och kontrollprogram för att ta hänsyn till kraven i ASME-XI (1992), subsection IWE och IWL, gällande visuella inspektioner och andra besiktningar av tätplåt och förspänningssystem.

Monoteringsystem i Belgien

Enligt papper i [1,4] monteras alla inneslutningar i de Belgiska anläggningarna enligt myndighetskrav. Av vad som framgår monterade man in en hel del mätinstrument i inneslutningskärlen under byggnationen av dessa. Dessa instrument används för kontinuerliga mätningar av töjningar, tryck och vibrationer. De icke-fastgjutna förspänningsskablar används för mätningar av förlustkrafter och förändringar av materialegenskaper, i enlighet med myndighetskrav. Det framgår att man gör ominstallationer av instrument allteftersom de gamla blir uttjänta.

Schweiz

Schweiz har fem kärnkraftreaktorer, 2 BWR och 3 PWR. Enligt uppgift är konstruktionen i fyra av inneslutningarna av den typen att tätande funktionen upprätthålls av självständigt stålkärl innanför betongkärlet. Den resterande inneslutningens tätande konstruktion består en tätplåt som ligger på insidan av betongväggen.

Bland inträffade skador nämns korrosionsskador i kupolens yta (PWR), sprickor i täckningsmaterial och läckage från bororerad vatten från bränslebassängen [3]. Således inga större skador i det tätande skalet i inneslutningarna förefaller ha inträffat.

Enligt av vad som framgår i [3, 4] har de schweiziska myndigheterna krav på att anläggningarna med jämna mellan rum skall visa huruvida de uppfyller ställda säkerhetskrav. I rekommendationer till anläggningsägarna har myndigheten specificerat sin syn på nödvändiga program och åtgärder för att kontinuerligt verifiera att ställda krav uppfylls: 1) identifiering av potentiella degraderingar och områden i betongen och övriga komponenter som kan vara känsliga för dessa degraderingar, 2) genomgång av periodiska tester och underhållsåtgärder som tillämpas, 3) fastställande och värdering av testdata framtagna med senaste testtekniken, provided by the state-of-art techniques, och 4) andra nödvändiga åtgärder för att fastställa eventuella åldringsprocesser.

För att uppfylla det ställda kraven har anläggningsägarna följaktligen gemensamt tagit fram ett program [5], med syfte att i tid fånga upp degraderingar och vidta åtgärder. För armerad betong omfattar programmet periodiska visuella inspektioner, periodiska tester av vissa speciella komponenter, såsom förankringar och tätningselement, I programmet listas relativt detaljerad olika komponenter och testmetoder för dessa med acceptanskriterierna, samt när och under vilka förhållanden även vissa andra tester, såsom med ND-metoder, skall vidtas.

Sammanfattningsvis kan det konstateras att inga större degraderingar och skador finns rapporterade från reaktorinneslutningar i Schweiz, samt att tillsynsmyndigheten i detta land ålagt anläggningsägarna att genom periodiska rapporteringar ständigt visa att man uppfyller ställda säkerhetskrav för inneslutningarna, och andra betongkomponenter. För att uppfylla detta har anläggningsägarna tagit fram ett program för tester och kontroller, med det preventiva syftet att fånga upp eventuella degraderingar i tid.

Frankrike

I Frankrike har man ca 60 stycken PWR-reaktorer och 2 stycken hybridreaktorer [1]. PWR-reaktorernas inneslutningar (containment) har i princip två olika konstruktioner: Den första

typen containment påminner om de i Ringhals 2-4 med en enkel armerad och förspänd betongskal, med tätplåt, 6 mm. Den andra typen, som förekommer i reaktorer med effekt av 1300 och 1450 MW, består av två koncentrisk inneslutningar. Det inre fungerar som det primära tätskalet och är förspänd armerad betong. Det yttre skalet är avsett som skydd för yttre händelser, och består endast av armerad betong.

Förspänningen i de båda typerna av inneslutningar åstadkoms med spänningskablar, vilka med undantag av några testkablar är fast injekterade med cement.

De degraderingar och skador som finns rapporterade härrör från korrosion i den 6 mm tjocka ingjutna tätplåten och relativt stor förlust av förspänningskraften i spännkablarna [1]. Det framgår att korrosionen av tätplåten har inträffat huvudsakligen i två områden: längs hela omkretsen av tätplåten i den koniska väggen i närheten av den övre bottenplattan och under övergången mellan den koniska delen och den 1 m tjocka bottenplattan. Korrosionen i en del ställen hade penetrerat tätplåten helt, upp till 10 cm i diameter. Orsaken anges bland annat vara stagnation av vätska i testkanaler för täthetskontroller av svetsar under konstruktionen av inneslutningarna. Defekterna, som tydligen inte kunde upptäckas med de återkommande täthetsprovningarna, åtgärdades på sedvanligt sätt genom att bila och svetsa tätplåten.

Förlusten av förspänningskraften i spännkablarna observerades genom mätningar och kontroller av de icke-ingjutna testkablar. Det anges att minskningen av förspänningen är dock fortfarande inom acceptabla gränser för närvarande. Med nuvarande prediktionsmodeller befaras emellertid att förspänningsrelaxationen i två till tre inneslutningarna blir så stora och över acceptabla gränser före den förväntade livslängden på 40 år [4]. Orsaken till relaxeringen uppges beror på med tiden förändrade materialegenskaper såsom krypning och krympning i betongen. För att bättre kunna prediktera denna typ av fenomen pågår inom EDFs regi en del forskning kring problematiken med förlust av förspänningskraften i spännkablar och tidsrelaterade problem i betongen [3].

Enligt uppgift har de på senare tid uppförda inneslutningar med dubbla skal och med vare sig ingjuten eller utanpå väggen liggande tätplåt, fått i efterhand tätas på innerväggen med epoxymassa, för att övertyga sig om den tätande funktionen i händelse av utsläpp från primära systemet. Detta har man gjort efter skalexperiment med anledning av farhågor om att betongen ensamt inte skulle hålla tät för gaser.

Enligt [3] genomförs i Frankrike de återkommande täthetsprovningarna av inneslutningen vart 10:e år, sedan man före nukleära drifttagningen genomfört både tryck- och täthetsprovningar. Dessa första tryck- och täthetsprovningar upprepas dock efter de första revisionsavställningarna (inom 2 år).

Monoteringssystem i Frankrike

I och med den stora populationen av reaktorer som tillverkats i olika serier, instrumenterar man tydligen ett antal reaktorer i varje serie, enligt vad som framgår ganska grundligt [4]. Mätningar via olika givare genomförs kontinuerligt. Man mäter bland annat termiska gradienter i betongen, förspänningen i förspänningskablarna, vibrationer, deformationer. Data fjärrsamlas var tredje månad och utvärderas. Ett fenomen som man försöker utvärdera är krypning och krympning i betongen genom mätningar av deformationer i betongen.

Sammanfattningsvis kan det konstateras att man i Frankrike haft korrosionsskador i tätplåten och betydande relaxation av förspänningskraften i spännkablarna i några av PWR-

inneslutningarna. Relaxationen tycks med tiden öka till den graden att den förväntade livslängden på 40 år inte klaras av. Vidare framgår att man har kontinuerliga mätningar av bland annat deformationer i inneslutningen, samt att man har pågående forskningsprojekt för att bättre förstå tidsrelaterade förändringar av materialegenskaperna i betongen.

England

Inneslutningarna i de engelska kärnkraftreaktorerna består av ett antal principiellt olika konstruktioner. De inneslutningar som är förspända har förspänningssystem med spännkablar, som ligger i foderrör med korrosionshämmande medel. Inga större skador och degraderingar har rapporterats. Emellertid framgår av [1-4] att man har haft problem med förspänningsanordningen, med töjda och spruckna dorn, för kablarna. Vidare har man konstaterat en vis relaxation av förspänningskraften i förspänningskablar, men dessa uppges i stort sätt vara inom design. Enligt av vad som kan förstås av det som finns återgivet i litteraturen uppges korrosion och relaxation av förspänningslasten som de största potentiella problemen för inneslutningarna.

Monotering i England

De under utförandet av konstruktionen installerade mätinstrumenten, som primärt var till för att verifiera konstruktionen i samband med de första provtryckningarna, används fortfarande. Det framgår att man allteftersom gör erforderliga byten av komponenter i systemet. Man mäter bland annat deformationer, temperaturer etc. i betongen, relaxation av förspänningar i spännkablarna. Dessa används för att ständigt verifiera konstruktionens status. Vidare framgår att man i en del fall kontinuerligt mäter korrosionshastighet genom mätning av elektriska potentialen i vissa hydrerade lokaliteter.

Japan

Bland japanska reaktorinneslutningar har 5 stycken (av PWR-typ) konstruktion med förspända inneslutningar [2, 3]. Förspänningskonstruktionen med spännkablar och de återkommande kontrollerna av dessa följer de amerikanska Regulatory Guiden, bland annat RG 1.35 [4]. Det rapporteras att de utförda kontrollerna fram till idag visat att relaxationen av förspänningskraften är enligt prediktion och ligger inom tillåtna intervaller. För övrigt framgår det att mätningar av temperaturer och töjningar i betongkärlet utförs och baserat på bland dessa predikteras krypning och krympning i betongskalet. Inga degraderingar och skador i reaktorinneslutningarna finns rapporterade [2]. Inga skador finns nämnda i tillgängliga referenser.

Tyskland

Enligt [2] har genomförda kontroller och inspektioner av reaktorinneslutningar i Tyskland inte kunnat avslöja några allvarliga degraderingar och skador. Anledningen uppges vara att man redan på konstruktionsstadiet adresserat denna typ av problemställningar såsom korrosion. Bland de mindre degraderingarna och skadorna nämns yttlig korrosion av tätningselement, vissa ställen i kondensationsbassängen (condensation chamber) med degraderingar i ytbeläggningar, vissa ställen under isoleringen där kondens kunnat ansamlas och i övergången mellan tätplåt (steel shell, kan vara en inneslutningstyp med fristående stålkärl och omgivande betongskal, som vissa inneslutningar i USA) och betong, där tätplåten varit innesluten av betong. Emellertid säges att sådana skador förekommer i ytterst begränsad omfattning under de 25 år som gått. Det säges dock också att information om den egentliga statusen på tätplåten i sådana icke för inspektion åtkomliga områden är begränsat. Därför har vissa mindre studier för att med ND-metoder (ultrasonics) fastställa tillståndet hos tätplåten genomförts. Vidare

uppges att korrosion i de tyska inneslutningarna förväntas bli en långsam process tack vare att miljön är nitrogernt.

För övrigt framgår av papper i [1] att man i Tyskland har försökt att ta fram regler för användning av ND-metoder i betongkonstruktioner, samt att större ansträngningar pågår för att vidare utveckla dessa.

Referenser

- 1 OECD/NEA - Workshop on the Instrumentation and Monitoring of Concrete Structures, NAE/CSNI/R(2000)15, Workshop Proceedings Brussels, Belgium, 22, 23 mars 2000.
- 2 IAEA, Assessment and management of ageing of major nuclear power plant components important to safety: Metal components of BWR containment systems, IAEA-TECDOC-1181, October 2000.
- 3 IAEA, Assessment and management of ageing of major nuclear power plant components important to safety: Concrete containment building, IAEA-TECDOC-1025, June 1998.
- 4 JOINT WANO/OECD, NEA workshop prestress loss in NPP containment, Civaux NPP, 25-26 august 1997, OECD/GD(97)225
- 5 Gemensamma guide för kraftföretagen i Schweiz: Guide for Maintenance Certification of Structural Engineering, revision 01, As of October 31, 1997

Bilaga 4 – Skademekanismer

Behnaz Aghili

1 Degraderingsmekanismer

Med åren ändras betongens egenskaper. Orsaken är både påverkan från miljön och att betongens mikrostruktur förändras. Betongens långtidsegenskaper beror alltså på hur bra den motstår dessa degraderingsmekanismer [2, 3]. De degraderingsmekanismer som är av intresse för inneslutningen och dess beståndsdelar berörs nedan först generellt, och sedan mer specifikt för inneslutningarnas konstruktioner i de svenska anläggningarna.

1.1 Betong

Betongens åldringsbeständighet kan begränsas på grund av kemiska eller fysikaliska processer. De dominerande faktorerna i nästan alla dessa processer, är beroende av transportmekanismen mellan porer och sprickor och även närvaro av vatten.

Kemiska angrepp

Med kemiska angrepp menas förändring av betongen genom kemiska reaktioner med antingen cementen, ballasten eller armeringsjärnet (och/eller andra element som har bäddats in i betongen). Kemiska orsaker till försämring av betongens egenskaper kan indelas i tre kategorier, nämligen

- 1) hydrolys av cementpastans komponenter med färskvatten,
- 2) katjonbyte mellan aggressiva lösningar och cementpastan och
- 3) reaktioner som resulterar i expansiva produkter.

De kemiska förändringarna i betongen är beroende av vätskans pH och betongens genomtränglighet, reaktivitet och alkalitet. De kemiska angreppen kan yttra sig på många olika sätt. Några av dem belyses nedan.

Urlakning

Rent mjukt vatten kan lösa stora mängder kalciumhydroxid. Vatten som strömmar igenom otät betong eller genom sprickor i betong kan därför lösa ut den kalciumhydroxid som bildas vid cementreaktionen. Urlakningens omfattning är beroende av de lösta jonerna som finns i vattnet, betongens genomtränglighet och temperatur. Urlakning kan leda till sänkt hållfasthet genom att betongens porositet ökar. Därmed blir betongen mer känslig för frostsador eller diffusion av klorider som kan leda till korrosion av stål inbäddad i betongen. Dessutom minskar betongens pH och dess förmåga att passivisera beståndsdelar tillverkade av stål. Processens omfattning kan begränsas genom att begränsa vattenflödet genom betongen. Vattentät betong d.v.s. betong med lågt vattencementtal är normalt resistent mot urlakning.

Sulfatangrepp

Vattenlösliga sulfater som finns i grundvatten eller jord kan tränga in i betongen och reagera med dess innehåll av aluminatföreningar. De kemiska produkterna som bildas är starkt svällande. Expansionen leder ofta till totalt sönderfall av konstruktionen. Betong som innehåller mindre andel av aluminatföreningar, är armerad och har mindre vattencementtal, är oftast mindre känslig för denna degraderingsmekanism.

Sura angrepp

Sura angrepp innebär att syror som finns närvarande i grundvatten eller annat vattenflöde, kan lösa ut de kalkhaltiga komponenterna i betongen. Angreppets omfattning beror inte enbart på syrans aggressivitet utan i första hand på hur lösliga de resulterande saltprodukterna är. Angreppet sker från ytan. Man får därför en angreppszon som vandrar från ytan och inåt.

Fenomenet är av mindre betydelse för inneslutningen då dessa har ofta konstruerats med stora måttmarginaler.

Cementballastreaktioner

Vissa ballastmaterial kan reagera med cementpastan under bildande av svällande reaktionsprodukter, vilka kan förstöra betongen fullständigt. Det vanligaste fallet är reaktioner mellan ballast som innehåller alkalilöslig kiselsyra och det alkalirika porvattnet i cementpastan. Reaktionen resulterar i en trögflytande s k alkalikiselsyragegel vilken i fuktig miljö tar upp stora mängder vatten under svällning. Svällningen förorsakar omfattande uppsprickning i betongen.

För att skadlig svällning ska ske krävs en viss kombination av reaktiv ballast, ballaststorlek, mängden alkali och närvaro av vatten. Det normala sättet att undvika skador är att använda ett lågalkaliskt portlandcement och applicera fuktbarriärer på betongytan.

Karbonatisering

Karbonatisering sker genom att koldioxid som finns i luften diffunderar in i betongen och reagerar med dess kalciumhydroxid och dyl. Resultatet av denna reaktion är en volymsänkning och därmed viktökning av betongen. Dessutom ökar hållfastheten något. Karbonatiseringens viktigaste effekt på konstruktionen är att betongens pH minskar. Därmed avtar miljöns korrosionsskyddande effekt på armeringsjärnet.

Fysikaliska angrepp

De fysikaliska angreppen omfattar degradering av betong på grund av externa förhållanden som ofta resulterar i antingen sprickbildning på grund av överskridande av betongens hållfasthet, eller förlust av ytmaterial. Skador som uppkommer på grund av överbelastning, klassas inte som åldringsmekanism. Å andra sidan kan överbelastningen accelerera åldringen genom att ge upphov till sprickbildning som i sin tur förenklar inträngning av skadliga vätskor i betongen.

Kristallisering av klorider och andra salter

Salter kan orsaka sprickor i betongen genom det tryck som orsakas av tillväxt av kristaller. Konstruktioner som har kontakt med varierande vattennivåer eller salthaltigt grundvatten är utsatta för detta. När vattencementtalet är lågt är detta problem mindre uttalat.

Frostangrepp

Betong, som är mättad eller nästan mättad på vatten, och utsätts för frysning och upptining, kan få frostsador. Skadorna orsakas av högt inre tryck p g a isbildning i de kapillära utrymmena i cementpastan. Skadorna kan yttra sig i form av sprickor, spjälkning eller avflagnig. Faktorer som påverkar betongens resistens mot detta är andelen luftporer i betongen (och hur dessa porer är fördelade), vattencementtalet, betongens hållfasthet och vattenmättnadsgrad. Val av beständigt material är också av betydelse.

Abrasion, erosion och kavitation

Material kan försvinna från betongytan p g a abrasion, erosion eller kavitation. Med abrasion syftar man till torr nötning medan erosion är nötning orsakad av vätska som innehåller hårda partiklar. Kavitation av ytmaterial, beror på uppkomst av ångbubblor och deras efterföljande kollaps (beroende på att vattenströmmen ändrar riktning eller trycket förändras) på betongytan. Betongens resistans mot abrasion och erosion beror på cementens och ballastens kvalitet. Kavitation undviks bäst genom att få bort dess orsaker.

Temperaturer

Om betong utsätts för förhöjd temperatur påverkas dess hållfasthet och styvhet. De mekaniska egenskaperna förändras på grund av ändringar i betongens vattenhalt och att föreningen mellan cementpastan och ballasten försämras. Det förekommer olika uppgifter på vid vilka temperaturer betongens mekaniska egenskaper börjar förändras på ett påtagligt sätt. Enligt [3] uppträder inte dessa förändringar förrän temperaturen närmast sig 400°C. Vid dessa temperaturer börjar kalciumhydroxid att dehydratiseras. Förhöjd temperatur kan även leda till att betongen spricker eller flagnar av. Dessutom kan förhöjd temperatur påverka betongens krypegenskaper och volymförändringar.

Vid mera långvariga temperaturbelastningar torde betongens mekaniska egenskaper ändras vid betydligt lägre grader. Enligt [4] kan långvariga temperaturer kring 150°C påverka de mekaniska egenskaperna hos betongen med sprickningar som följd, samt vid 300°C armeringens vidhäftning börja släppa. Dock är detta inte tillräckligt klarlagt i tillgängligt underlag. Vidare klarlägganden bör, vad gäller sambandet mellan termiska belastningar och betongstrukturers mekaniska egenskaper, genomföras.

Bestrålning

Bestrålning kan påverka betongens egenskaper. Neutronbestrålning leder till volymökning hos betongen. Även uppvärmning av betongen (p g a energiupptagning) och därmed förlust av vätska förekommer. Gammabestrålning leder till radiolys av vattnet i betongen med gasbildning och även försämrade kryp- och krympeegenskaper som följd. Vid höga bestrålningsdoser (1×10^{19} neutron/cm²) försämras även betongens hållfasthet och elasticitetsmodul.

Utmattning/vibration

Betongkonstruktioner som utsätts för last-, temperatur- eller fuktvariationer kan förstöras på grund av utmattning. Utmattningsskadan börjar som irreversibla deformationer i form av mikrosprickor, i omedelbar närhet av stora ballastpartiklar, armeringsjärn eller där spänningskoncentrationer förekommer. Med upprepad belastning kan dessa mikrosprickor växa till stora sprickor. Haveri av betongkonstruktioner till följd av utmattning är mycket ovanligt med tanke på betongens goda utmattningsegenskaper. Ändå kan skador orsakade av utmattning bli aktuella när konstruktionen åldras.

Sättning

Alla konstruktioner har en tendens till sättning under uppbyggnad och under de första levnadsåren. Sättning kan leda till att vissa delar kommer ur läge och därmed utsätts för höga belastningar. Vid konstruktion av inneslutningar har i vanliga fall hänsyn tagits till sättning. Vanligen sker den största sättningen under de första månaderna av livstiden.

1.2 Armeringsjärn

De potentiella orsakerna till armeringsjärnets degradering är korrosion, höga temperaturer, strålningseffekter och utmattning.

Järnets sträckgräns minskar vid för höga temperaturer. De temperaturer som är aktuella för inneslutningen leder inte till drastisk sänkning av sträckgränsen därför bedöms inte detta fenomen vara någon degraderingsorsak för inneslutningen.

Vid höga neutrondoser förändras också järnets mekaniska egenskaper. Dessa förändringar blir märkbara vid doser överstigande 10^{18} neutron per cm^2 . Sådana neutrondoser bedöms inte förekomma i inneslutningar under deras normala livstid.

Utmattning av armeringsjärn kan förekomma när stora belastningsvariationer under lång tid förekommer. Sådana belastningar ska inte förekomma i inneslutningen.

Korrosion är den degraderingsmekanism som är av störst intresse för armeringsjärn i inneslutningen och behandlas därför nedan.

Korrosion

I högkvalitetsbetong där armeringsjärnet är täckt väl av betongen, korroderar inte armeringsjärnet. Betongens höga pH (>12) medför att ett passivt, skyddande järnoxid bildas på järnets yta. Om betongens pH sjunker till lägre än 11 bildas i stället ett poröst oxidskikt på järnytan som inte fungerar som korrosionsskydd.

Betongens pH kan sjunka på grund av karbonatisering, närvaro av kloridjoner eller läckage av de alkaliska substanserna ut ur betongen.

Karbonatisering är en långsam process i betong av god kvalitet. Det kan ta flera tiotals år att åstadkomma 20 mm karbonatiseringsdjup i en högkvalitets betong. Processen fortskrider däremot snabbare när betongens kvalitet är sämre (betongen är mer porös eller innehåller sprickor). I inneslutningens fall **skulle karbonatiseringen kunna bli ett problem på insidan speciellt med tanke på de höga temperaturerna.**

Det passiva oxidskiktet kan även förstöras p g a diffusion av kloridjoner i betongen. Även vid höga pH (>11,5) kan kloridjoner orsaka korrosion av armeringsjärnet. Klorider kan finnas i betongen eller komma in genom saltvatten eller dyl. Om kloridhalten i betongen är för hög tenderar betongen att behålla mer vatten. Den höga vattenhalten försämrar korrosionsförhållandena för armeringsjärnet ytterligare.

1.3 Spännarmering

De degraderingsmekanismer som kan drabba spännarmeringen är korrosion, temperatureffekten, utmattning, bestrålningseffekten och förlust av förspänningen. När det gäller utmattning, bestrålning och temperatureffekter gäller samma resonemang som har framförts för inneslutningens armeringsjärn, även för spännarmeringen. De degraderingsmekanismer som är av intresse för inneslutningens spännarmering är därmed korrosion och förlust av förspänningen. Dessa behandlas nedan.

Korrosion

Korrosion av spännarmeringen kan vara lokalt eller allmänt. De flesta korrosionsfall som har observerats i andra betongkonstruktioner har berott på lokal korrosion t. ex. gropfrätning, spänningsskorrosion, väteförsprödning eller en kombination av dessa. Spännkablar kan även korrodera som en följd av bakteriers/mikrobers närvaro i systemet. Spännarmeringens spänningstillstånd (förspänd) gör den mera känslig för korrosion. Olika system, fett, cement eller smörjolja, används vanligen för att skydda spännarmeringen mot korrosion.

Förlust av förspänningskraft

En viss förspänningskraft förloras i spännarmeringen för att inneslutningens konstruktion ska vara funktionsduglig. Förlust i förspänningskraften kan bero på friktion, defekter i fästelement

(ändarna), elastisk krympning, relaxation och betongens krypning och krympning. Relaxation och betongens krypning och krympning är tidsberoende och därmed livslängdsrelaterade.

Spänningsrelaxation, som definieras som spänningsförlust när töjningen är oförändrad, är beroende av spännarmeringens materialegenskaper, temperatur, förspänningsgraden och tid. Krypning och krympning av betongen står för de volymändringar som uppträder i betongen under konstruktionens livslängd och som kan påverka spänningen i spännarmeringen signifikant.

1.4 Tätplåt

I de svenska kärnkraftverken har enbart metalliska mellanlägg använts. Metalliska mellanlägg, tät- och täckplåtar, drabbas av samma skademekanismer som armeringsjärnen. Även här är korrosion och utmattning de viktigaste degraderingsmekanismerna. Oftast används tjockare plåt än nödvändigt för att ha en korrosionsmarginal. Användning av korrosionsskydd är också mycket vanlig på tätplåten. Av störst intresse för plåtens funktion är lokalkorrosion som kan leda till otäthet. Lokal korrosion kan förekomma på grund av vattenansamlingar i områden där korrosionsskyddet är skadat. Utmattning kan vara av intresse där spänningstillståndet är mindre gynnsamt, t.ex. vid svetsdefekter, diameterövergångar, etc. Cyklisk belastning kan förekomma på grund av temperaturväxlingar, vibrationer och dyl.

1.5 Bedömning av relevanta skademekanismer för inneslutningarnas konstruktioner i Sverige

Av genomgången ovan framgår att betongens egenskaper och dess motstånd mot de olika degraderingsmekanismerna är mycket beroende av de ingående materialen, det vill säga av den betongkvalitet som har använts. Den miljö som betongen utsätts för är en annan viktig faktor. Förutom denna utredning har ett utredningsuppdrag slutförts vid KTH med syfte att både kartlägga de ingående materialen i inneslutningarna i de svenska kärnkraftverken och uttala sig om vilka degraderingsfenomen som kan vara aktuella för dessa [2]. KTH:s utredning har använts som underlag för följande översiktliga bedömningar. Av utredningen framgår dock att en del materialdata för inneslutningarna i Ringhals och Barsebäck 2 saknas.

Kokarvattenreaktorerna har en inneslutning som ligger helt och hållet inomhus. Dessa konstruktioner är därmed inte känsliga för skademekanismer som huvudsakligen orsakas av yttre förhållanden, t.ex. karbonatisering utvändigt, frostangrepp, abrasion eller erosion. Inneslutningarna för reaktorerna av PWR-typ (Ringhals 2–4) står däremot utomhus. Dessa är påmålade med skyddslager. Dessa skyddslager skyddar dock inte mot diffusion av koldioxid. Av de enstaka prover som Ringhals har genomfört, enligt bilaga 2 framgår att karbonatiseringsdjupet är försumbar och ej kan påverka armeringen.

Invändig karbonatisering kan dock förekomma i både BWR och PWR. **Det är troligt att karbonatiseringsdjupet inte är så stort och inte påverkar tätplåtens funktion nämnvärt. För att kunna göra en bedömning av konstruktionens livslängd är det ändå önskvärt att kunna bedöma om och hur karbonatisering har fortskridit invändigt i inneslutningen. Vidare undersökningar av bland annat förekomst och effekterna av karbonatisering är planerade inom projektet enligt [5, 6]. Även kloridinträngningen och dess effekt på konstruktionen kommer att undersökas i nämnda projekt.**

För att bedöma risken för urlakning, sulfatangrepp, sura angrepp och alkalieballastreaktioner måste kunskaper om betongens kvalitet och dess vattencementtal vara tillgängliga. Av utredningen enligt [2] framgår att högkvalitativ betong har använts vid tillverkningen av inneslutningarna. Riskerna för nedbrytning av betongen bedöms därför vara små. Dessutom har ett forskningsprojekt vid Barsebäck 1 initierats som bl a syftar på att ytterligare klarlägga betongens tillstånd efter långtidsdrift [5].

Under normaldrift ligger de globala temperaturerna i inneslutningarna i intervallet 20–60°C, beroende på anläggning. Temperaturer av denna storleksordning bedöms inte påverka betongmaterialets mekaniska och kemiska egenskaper nämnvärt i det långa tidsförloppet. Däremot förekommer under normaldrift lokala temperaturer som överstiger 100°C, enligt industrins redovisningar i en del fall upp till 174°C. Så höga temperaturer kan befaras påverka betongstrukturernas mekaniska egenskaper med sprickningar som följd. I redovisningarna från tillståndshavarna uppger de att det utförs vissa regelbundna kontroller med hänsyn till sprickningar. Även eventuella materialförändringar på grund av så höga temperaturer även är planerade inom projektet vid Barsebäck [5].

De skademekanismer som är aktuella för inneslutningens armeringsjärn är bestrålning och korrosion. Armeringsjärnet är som berördes ovan inbäddat långt in i betongen. Bestrålningen torde därför inte vålla något problem för det inbäddade och skyddade armeringsjärnet. Däremot är det oklart vilka bestrålningsnivåer själva betongen i vissa avskärningsstrukturer närmast reaktortanken utsätts för, och vilken inverkan detta eventuellt kan ha på betongens egenskaper. Denna frågeställning avses att bli utrett i det fortsatta arbetet med inneslutningar. Korrosion av armeringsjärnet på grund av karbonatisering eller diffusion av kloridjoner bedöms inte förekomma i sådan omfattning att det äventyrar inneslutningens funktion.

Spännarmeringen utgör det viktigaste konstruktionselementet för inneslutningens förmåga att klara sin funktion. I de fall spännarmeringen är ingjuten finns mycket liten möjlighet att fortlöpande kontrollera armeringens status både när det gäller förlust av förspänning och eventuell korrosion av spännarmeringen. I korrosiva miljöer finns stora risker för att spännarmeringen får skador. Tillståndskontroll av de spännarmeringar som är inbäddade i fett, kan göras utan större problem. Möjligheterna att säkerställa den ingjutna spännarmeringens status, med hjälp av någon form av oförstörande provning, bör utredas.

I de svenska kärnkraftverken har metallisk täckskiva, tätplåt, använts. Tätplåten kan drabbas av korrosion, vilket ges exempel på nedan. I detta sammanhang är inte allmän korrosion något större problem eftersom detta har tagits med i beräkningarna vanligen genom att tjockt plåt har använts. Inte heller lokalkorrosion bör orsaka något problem om konstruktionen är utförd i enlighet med gällande krav och ritningar, och inga degraderingar i det skyddande skiktet inträffat så att vatten läckt in på tätplåten så att en korrosiv miljö uppstår. Med tanke på de skador som har förekommit i de svenska anläggningarna bedöms just detta vara en skademekanism som måste utredas då avvikelser från ritningar har upptäckts som kan orsaka ej acceptabla konsekvenser för inneslutningens täthet. Därför bör möjliga och tänkbara avsteg i samband med utförandet av inneslutningarna så långt som möjligt utredas och dokumenteras. Möjligheten att kontrollera tätplåtens kondition genom oförstörande provning bör utredas.

2 Referenser

- [1] SKI Rapport 02:59 - Betonginneslutningar i svenska kärnkraftverk, en sammanställning över konstruktion och material, Thomas Roth, Johan Silfwerbrand och Håkan Sundquist/KTH
- [2] IAEA, Assessment and management of ageing of major nuclear power plant components important to safety: Metal components of BWR containment systems, IAEA-TECDOC-1181, October 2000.
- [3] IAEA, Assessment and management of ageing of major nuclear power plant components important to safety: Concrete containment building, IAEA-TECDOC-1025, June 1998.
- [4] ACI- 349.3R-96, American concrete institute, Evaluation of Existing Nuclear safety-related Concrete Structures.
- [5] SKI dnr 14.41-020909/02205- Materialprovningprojekt vid Barsebäck 1, projektet pågår för närvarande.
- [6] SKI – dnr 14.41- 021245/02206, Förändringsprocesser hos betong i reaktorinneslutningar, Lunds Tekniska Högskola, ett projekt under uppstart.

Datum/Date
2001-10-15

Vår referens/Our Reference
14.42-
990396/99188

Ert datum/Your date

Er referens/Your Reference

Distribution enligt
sändlista

UTREDNING FÖR KOMMENTARER SAMT ÖNSKEMÅL OM UPPGIFTER FÖR UTREDNING KRING INNESLUTNINGEN

Vi aviserade i tidigare brev, 2001-06-12, med frågor kring inneslutningar med anledning av pågående forskningsprojekt på KTH, att viss kompletterande information skulle behövas för att fullborda den mera övergripande utredningen kring inneslutningar som pågick inom SKI. Denna utredning föreligger nu i en arbetsutgåva och bifogas. Som synes har delar/aspekter i utredningen inte kunnat färdigställas, beroende på brister i underlaget angående konstruktion och material. Även viss kompletterande information angående kontroller och provningar önskas.

De material och frågor som vi önskar få kompletterande information kring framgår i sammanställning av den särskilda frågelistan som bifogas. Denna frågelista skickas även digitalt. Det bör observeras att en del av de ställda frågor är mera av bekräftandekaraktär, det vill säga att i första hand stämma av vissa data i utredningen, medan en del andra syftar till att inventera behovet av eventuella SKI- och industrigemensamma forsknings- och utvecklingsinsatser när det gäller inneslutningsfrågor.

Ni är välkomna att kommentera utredningen med hänsyn till sakuppgifter och förslag till kompletteringar vad avser utförda kontroller och provningar eller de beskrivande delarna av konstruktionen. Era kommentarer på rapporten och svar på ställda frågor, både på de bifogade och de som lämnats tidigare, men ännu ej hunnits att beaktas i denna version av rapporten, kommer så långt som möjligt att beaktas i slutrapporten.

Eventuella frågor kring det önskade underlaget kan besvaras av vår Gabriel Barslivo.

SKI är tacksam för Er medverkan och önskar Era svar om möjligt senast i 15 december i år. Om Ni inte hinner till den 15 december var vänliga återkom för överenskommelse om en senare tid.

AVDELNINGEN FÖR REAKTORSÄKERHET

Enheten för Hållfasthet och Material

Lars Skånberg

Gabriel Barslivo

Sändlista

OKG Aktiebolag – Sven Nordlöf

Forsmarks Kraftgrupp Aktiebolag - Karl-Fredrik Ingemarsson

Barsebäck Kraft AB – Göran Larsson

Ringhals AB – Krister Egnér

För kännedom: Anläggningsansvariga vid RI

UTREDNING KRING INNESLUTNINGAR - FRÅGELISTA

1	Berörda reaktorinneslutningar	4
2	Tekniska livslängden	4
3	Instrumentering.....	4
3	Konstruktions- och driftdata samt verifieringar	4
4	Provtryckningar	5
5	Tätetsprovningar	5
6	kontroller (Inspektioner).....	6
7	Testkanaler	6
8	Förspänningskabelsystem.....	7
9	Oförstörande provningsmetoder (OFP).....	7
10	Material – inneslutningens olika konstruktionsdelar.....	8
11	Forsknings-och utvecklingsbehov	9

1 BERÖRDA REAKTORINNESLUTNINGAR

Frågorna nedan gäller reaktorinneslutningarna i:
Ringhals 1-4, Oskarshamn 1-3, Forsmark 1-3 och Barsebäck 2.

2 TEKNISKA LIVSLÄNGDEN

- 2.1 Hur lång är den beräknade tekniska livslängden för inneslutningen?
- 2.2 Vilket år beräknas den inträffa?
- 2.3 Vilka snitt i konstruktionen och faktorer är enligt genomförda utredningar och beräkningar livstidsdimensionerande för inneslutningen?
- 2.4 Vilka snitt i konstruktionen och faktorer är enligt era bedömningar livstidsdimensionerande för inneslutningen?
- 2.5 Övrigt som ni vill lägga till/kommentera:

3 INSTRUMENTERING

Enligt SAR skedde under uppförandet av konstruktionen en del instrumentering av inneslutningen, bland annat för att göra deformationsmätningar i samband med provtryckningen.

- 2.1 Används dessa instrument fortfarande för att utföra vissa mätningar?
- 2.2 Skulle de kunna användas idag?
- 2.3 Om ja, vilka instrumenteringar sker det idag av inneslutningen och dess konstruktionsdelar av betong?
 - Temperaturer och andra belastningar
 - Vibrationer
 - Deformationsmätningar
 - Spännkabelsystem
 - Korrosionsprodukter och andra kemiska degraderings processer
- 2.4 Övrigt som ni vill lägga till/kommentera:

3 KONSTRUKTIONS- OCH DRIFTDATA SAMT VERIFIERINGAR

Se tabell sid 10 i rapporten samt bilaga 1.

- 3.1 Ange konstruktionstryck för inneslutningen, och dess olika delar.

-
- 3.2 Vilket är det maximala tryck som beräkningsmässigt kan inträffa i samband med ett svårt haveri i inneslutningen?
- 3.3 När beräknades det maximala trycket? Ange tidsperioden.
- 3.4 Ange konstruktionstemperatur för inneslutningen, och dess olika delar.
- 3.5 Ange normal drifttemperaturer för inneslutningen, och dess olika delar? Lokalt i betongen, till exempel runt genomföringar och avskärmningstrukturer runt reaktortryckkärlet, kan temperaturen vara högre än den genomsnittliga för inneslutningen. Ange gärna dessa också, med en kort beskrivning.
- 3.6 Enligt uppgifter i vissa anläggningars SAR har strukturella integriteten för inneslutningarna i de svenska kärnreaktorerna verifierats via moderna beräkningar för högre tryck än konstruktionstrycket. I förekommande fall redogör för dessa beräkningar med referens:
- 3.6.1 Ange maximala trycket, vid vilket det senast beräknats att tätheten hos inneslutningen kan uppfyllas?
- 3.6.2 Ange maximala trycket, vid vilket det senast beräknats betydande plastiska deformationer uppstå i inneslutningen och dess olika delar.
- 3.6.3 Vid vilket tryck beräknas tätheten kunna vara uppfyllt?
- 3.7 Övrigt som ni vill lägga till/kommentera:

4 PROVTRYCKNINGAR

- 4.1 Hur många provtryckningar har skett av inneslutningen? Ange tiden för dessa och det tryck som provet utfördes vid.
- 4.2 Vid vilket tryck utlöser blecksystemet för haverifilter (FILTRA och motsvarande), och tryckavlastningssystemet med direkt friblåsning till atmosfären?

5 TÄTHETSPROVNINGAR

- 5.1 Vilken option i appendix J använder ni för de globala och lokala täthetsprovningarna?
- 5.2 Vid vilket tryck är läckagefaktorn vid de globala täthetsprovningarna definierad, alltså det tryck som gäller vid de integrala proverna?
- 5.3 Vid vilka tryck har ni under årens lopp utfört täthetsprovningarna? Ange gärna tid, tryck och läckagefaktorer i en tabell

-
- 5.4 Ange stabiliseringstiden som ni tillämpar vid de globala täthetsproverna? Stabiliseringstiden definieras här som den tid under vilken en tryckupbyggnad sker tills stationära förhållanden uppnåtts och innan mätningar påbörjas.
- 5.5 Ange mätningstid som ni tillämpar vid de globala täthetsproverna? Mätningstid definieras här som den tid under vilken stationära förhållanden anses råda och mätningar pågår.
- 5.6 Övrigt som ni vill lägga till/kommentera:

6 KONTROLLER (INSPEKTIONER)

Utöver tidigare erhållna svar på SKI:s brev angående kontroller och provningar behövs följande preciseringar.

- 6.1 Vilka byggnadsinspektioner genomförs återkommande eller av särskild anledning? Beskriv gärna dessa med avseende på frekvens, omfattning och metod.
- 6.2 Utförs de enligt dokumenterade instruktioner? Bifoga gärna program för dessa i förekommande fall.
- 6.3 Vilka normer använder Ni för de visuella kontrollerna?
- 6.4 Har ni vissa konstruktionsdelar som ni följer speciellt, dvs sådana som med hänsyn till nationella eller internationella erfarenheter befaras bli utsatta för degraderingar och skador och anses kräva särskilt uppmärksamhet? Vilka är dessa i så fall?
- 6.5 Övrigt som ni vill lägga till/kommentera:

7 TESTKANALER

- 7.1 Enligt SAR finns i vissa inneslutningar testkanaler för täthetsprovningar av svetsar i den ingjutna tätplåten. Finns sådana testkanaler i er inneslutningen?
- 7.2 Vilka är dessa testkanaler. Beskriv dem gärna med avseende på konstruktion och var, i vilka positioner, i inneslutningarna dessa finns?
- 7.3 Sker provtryckning av dessa?
- 7.4 Hur ofta sker provtryckningen?
- 7.5 Vid vilket tryck utförs provningarna?
- 7.6 Sker provningarna enligt dokumenterad program? Redogör gärna för programmet i förekommande fall, eller bifoga den.
- 7.7 Övrigt som ni vill lägga till/kommentera:

8 FÖRSPÄNNINGSKABELSYSTEM

Se kap 6.1.6 i bifogad rapport.

- 8.1 Är alla förspänningskablar fastingjutna? Stämmer uppgifterna i rapporten och bilaga 1 angående förspänningskabelsystemet?
- 8.2 Finns det en del som inte är fastingjutna och används för testsyften, s.k. testkablar?
- 8.3 Vilka kontroller genomför Ni i syfte att fastställa förspänningen i förspänningskablar?
- 8.4 Beskriv frekvens och omfattning för kontroller och provningar som ni utför av förspänningskabelsystem.
- 8.5 Vilka metoder använder ni för att kontrollera förspänningen i kabelsystemet? Gör gärna en kort beskrivning av dessa?
- 8.6 Vilka standarder (normer) utför Ni kontrollerna efter?
- 8.7 Fångar man upp det man avser med använda metoder?
- 8.8 Vilka är de bedömda svagheter i dessa metoder?
- 8.9 Vilka är de bedömda styrkorna i dessa metoder?
- 8.10 Har ni observerat några degraderingar och skador i kabelsystemen under årens lopp? Vilka är dessa? Var i kablarna?

9 OFÖRSTORANDE PROVNINGSMETODER (OFP)

Oförstörande provningsmetoder kan användas dels för bestämning av betongens kondition, dels för detektering av skador i betongen eller dess metalliska delar. Exempel på OFP- metoder är:

- indirekt bestämning av betongens hållfasthet med Schmidt studshammare, ljudhastighetsuppmätning eller kombinerad metod.
- högenergiradiografering
- RADAR
- konventionell ultraljudprovning
- nonlinear ultraljudprovning
- akustisk emission

- 9.1 Vilka erfarenheter har ni av OFP-metoder för betongstrukturer? Har ni använt eller använder ni OFP-metoder för att undersöka vissa komponenter ingående i inneslutningens konstruktion?

-
- 9.2 Vilka konstruktionsdelar har ni i så fall provat på detta sätt?
- 9.3 Vilka konstruktionsdelar vore önskvärt att prova i första hand?
- 9.4 Har ni planer för en utvidgad användning av OFP-metoder för betongstrukturer?
Kort om dessa.
- 9.5 Övrigt som ni vill lägga till/kommentera:

10 MATERIAL – INNESLUTNINGENS OLIKA KONSTRUKTIONSDELAR

- 10.1 Vilka materialprover av inneslutningens konstruktioner tar ni, återkommande eller enstaka? Redogör gärna för dessa med avseende på typ av provning (kemiska, hållfasthet etc), omfattning och frekvens, och bakgrund till dessa prover?
- 10.2 Enligt vilka standard utförs och utvärderas dessa prover?
- 10.3 Finns dessa provningar reglerade hos er? I vilka dokument i så fall?
- 10.4 Har ni resultaten från tidigare provningar bevarade?
- 10.5 Har ni indikationer på försämringar av materialegenskaper, mekaniska eller kemiska sådana, vilka ni har kunnat konstatera utifrån dessa prover?
- 10.6 Övrigt som ni vill lägga till/kommentera:

11 FORSKNINGS-OCH UTVECKLINGSBEHOV

På SKI:s uppdrag bedrivs för närvarande ett forskningsprojekt på KTH angående åldringsfrågor av vissa konstruktionsdelar i inneslutningen. Flera forskningsprojekt till är under planering.

- 11.1 Vilka egna utredningar, forsknings- och utvecklingsprojekt har ni på gång, eller planerar för?
- 11.2 Kring vilka strukturer, som är väsentliga för inneslutningens integritet och eller täthetsfunktion, ser ni behov av att få ökad kunskap om? Fysikaliska fenomen såsom åldring, metodutveckling kring kontroller och provningar, kemiska processer, Belastningar, beräknings-och värderingsmetoder för strukturer, etc? Gör gärna en kort beskrivning av det som ni anser vara angeläget.
- 11.3 Övrigt som ni vill lägga till/kommentera:

