

**Status för gjutet rostfritt stål i äldre
svenska kärnkraftverk, mars 1996**

Margareta Trolle

April 1996

ISSN 1104-1374
ISRN SKI-R--96/26--SE

SKI Rapport 96:26

**Status för gjutet rostfritt stål i äldre
svenska kärnkraftverk, mars 1996**

Margareta Trolle

Statens kärnkraftinspektion, 106 58 STOCKHOLM

April 1996

NORSTEDTS TRYCKERI AB
Stockholm 1996

Innehållsförteckning

1.	Inledning	1
2.	Metallografiska grundfakta	1
	Gjutmetod	1
	Inverkan av legeringsämnen	2
	Inverkan av ferrithalt	2
	Normal tillverkningskontroll	3
3.	Litteraturstudie	3
4	Skador i Oskarshamn 1	3
5	Materialdata	3
	Observerade skador, läge och utbredning	4
	Skadeorsaker enligt redovisade utredningar	5
	Skadetålighetsanalyser	7
6.	Övriga svenska anläggningar	7
7.	Genomförda undersökningar under 1995 års revisionsavställningar ...	8
	Redovisning för BKAB (Barsebäck)	8
	Redovisning från Oskarshamn 2 och 3	10
	Redovisning från Vattenfall/Ringhals	11
	Redovisning från FKA	12
8.	Internationella erfarenheter	12
9.	Diskussion	14
10.	Bedömning av säkerhetsläget	15
11.	Slutsatser	16
12.	Förslag till fortsatt uppföljning	17
13.	Referenser	18

Sammanfattning

En sammanställning av tillståndet för komponenter i gjutet rostfritt stål har gjorts. Bakgrunden till rapporten är de sprickor som upptäckts i ventil- och pumphus i huvudcirkulationskretsarna i Oskarshamn 1.

Syftet med det utförda arbetet är att få en bild av kunskapsläget när det gäller större gjutna komponenter hos i första hand BWR-reaktorer av externpumpstyp men även senare generationers BWR-reaktorer är av intresse. Arbetet har innefattat en sammanställning av diverse grundfakta samt en genomgång av det material inom området som OKG AB tillställde SKI i samband med FENIX-projektet. Vidare har en sammanställning gjorts av de planerade och utförda undersökningar som gjorts på övriga svenska kärnkrafts-anläggningar, som genomfördes under revisionsavställningarna 1995.

En sammanställning av de utländska erfarenheter på grundval av dels en sammanställning från ABB Atom AB och dels diverse kontakter med utländska experter som SKI har haft under 1995.

Det redovisade materialet från OKG AB visar att den omfattande sprickbildning som upptäcktes i ventil- och pumphus i Oskarshamn 1 förmodligen härstammar från tillverkningen även om ett visst inslag av miljöinducerad sprickning inte kan uteslutas. Det som skiljer Oskarshamn 1 från övriga reaktorer är att gjuthuden inte bearbetats bort när komponenten var färdig. Därmed har mindre defekter lämnats och förmodligen kunnat initiera bildning av sprickor vid efterföljande värmebehandlingar.

De ventiler och pumpar som tillverkades under den senare delen av 60- och 70-talen har tämligen stora variationer i chargeanalys och därmed olika ferrithalt inom en och samma specifikation. Det innebär att komponenter som på pappret synes vara likadana i själva verket är olika individer. Särskilt när det gäller förkomsten av ferrit så varierar halten även lokalt inom komponenten. Det resulterar i att enstaka stickprov inte ger någon upplysning om tillståndet i de icke provade delarna. För att få en fullständig bild av tillståndet hos gjutna komponenter i svenska kärnkraftverk krävs en noggrannare kartläggning.

Även internationellt har man erfarenhet av varmsprickor i gjutet rostfritt stål men inte i den omfattning som förekommit i Oskarshamn 1. En fråga som diskuteras även internationellt är dock vilken ferrithalt som är lämplig om man vill undvika varmsprickning utan att riskera förspröding av ferriten. Specifikationen i kraftbolagens anvisningar är 3%. I en del europeiska länder rekommenderas 8%. I Japan kan de föreslagna halterna vara så höga som 30%.

Summary

A compilation, state of art, of components of cast stainless steel has been carried out. The background to this report is the discovery of a large number of cracks in cast valves and pump casings in the main recirculation system in the Swedish BWR Oskarshamn 1.

The purpose of this study is to compile what is known about larger cast components primarily in older BWR nuclear power plants with external circulation pumps. The work includes metallurgical data and a compilation on the material that the owner of Oskarshamn 1, OKG AB, has delivered to The Swedish Nuclear Power Inspectorate as a result of the investigation of these components. An overview of the investigations performed on the other Swedish plants of similar design during the annual outage 1995 is also described in this report. International experience is also reported.

The results from OKG AB show that there has been extensive cracking in both valves and pump casings and that they are probably resulting defects from the manufacturing process, but an environmental factor cannot be excluded. The unique situation in Oskarshamn 1 is that the surfaces are not completely machined, leaving a large number of minor defects in or near the surface. The following heat treatment has then initiated crack growth.

The valve and pump casings that were manufactured during the late 60's and early 70's differ considerably in charge analyses and in ferrite content, this means that components with the same specification can be very different due to difference in content of alloying elements. The ferrite content can also differ within the component therefore. A single measurement does not tell us anything about the rest of the component or other components with similar specifications. In order to get a complete picture of the situation in Swedish nuclear power plants a more extensive survey needs to be performed.

Internationally the phenomenon of hot cracking in cast stainless steel is well known, but not as severe as in Oskarshamn 1. One question however that is discussed is the recommended amount of ferrite in these steels in order to avoid hot cracking without risking embrittlement of the ferrite phase. The Swedish utilities specify 3%, some European countries recommend 8%. Japan suggests ferrite contents up to 30%.

Inledning

Komponenter av gjutet rostfritt stål förekommer i samtliga svenska reaktorer. Omfattningen varierar mellan kärnkraftanläggningarna och omfattningen tycks vara något mindre i de yngre reaktorerna¹. Det är bl a pump- och ventilhus som tillverkas av detta material. Strukturen är duplex dvs en austenitstruktur med en viss mängd ferrit. Skälen till att man använder gjutet rostfritt kan vara många. De har en god hållfasthet i alla riktningar och är lätta att svetsa. God motståndskraft mot interkristallin spänningskorrosion är dessutom positiv egenskap som dessa material anses ha. Gjutning är också en tillverkningsmetod som lämpar sig för komponenter med komplicerad geometri. Många gånger kan en komponent gjutas i flera delar som sedan sätts ihop. Detta ger ett enklare tillverkningsförfarande än smidning. Möjligheterna till fullgod återkommande kontroll är dock problematiskt. Framst eftersom gjutet rostfritt är svårt att prova med ultraljud på grund av sin inhomogena och anisotropa struktur. Åtkomligheten kan vara för provningar i många fall också vara dålig.

I samband med Fenixprojektet Oskarshamn 1 upptäcktes omfattande sprickliknande indikationer i ventilhus och pumphus i huvudcirkulationskretsarna. Mot bakgrund av detta har Statens Kärnkraftinspektion beslutat titta närmare på frågeställningen.

Denna promemoria är en sammanställning av kunskapsläget avseende gjutet rostfritt i främst BWR-reaktorer av externpumpstyp. Det gäller alltså äldre gjutna komponenter varför det kan vara svårt att jämföra med komponenter i de senare versionerna av kärnkraftreaktorer.

Metallografiska grundfakta

De aktuella komponenterna tillverkas i rostfritt gjutstål där legeringssammansättningen beror mycket på hur de skall användas t ex vilket förhållande mellan austenit och ferrit som är lämplig med hänsyn till tillverkning och driftsförhållanden. Generellt kan man säga att de har hög hållfasthet och seghet samt god korrosionsbeständighet. Någon standardiserad provningmetod för spänningskorrosion i gjutet rostfritt finns dock inte², varför resultat av en sådan provning kan ge olika resultat beroende på vilken testmetod som används. Gjutet stål har till skillnad från bearbetat stål samma hållfasthet i alla riktningar. Genom värmebehandling kan man få en homogenare struktur och därmed ännu bättre egenskaper.

Gjutmetod

Komponenter av detta slag gjuts vanligen genom så kallad stiggjutning vilket innebär att den smälta metallen kommer in i gjutformen, kokillen, i ett stigplan in i botten av kokillen. Metoden ger en bra kvalitet på den gjutna produkten både ur materialhänseende och med avseende på ytkvalitet.³ Sandform är den formtyp som vanligen används vid gjutning av

stora komponenter. Sanden innehåller också bindmedel och man spekulerar i om den typ av organiskt bindmedel som använts tidigare skulle kunna ha negativ inverkan på gjutgodset. Exakt gjutförfarande som används och vilka parameterar som styrde processen finns ofta tyvärr inte dokumenterat för de äldre gjutna komponenterna.

Inverkan av legeringsämnen

Samtliga aktuella stål innehåller höga halter av krom och nickel. Detta ger ett rostfritt höghållfast värmebeständigt material. Materialet har en austenitisk struktur med inslag av ferrit och genom att legera med olika ämnen kan förhållandet mellan austenit och ferrit regleras. I gjutsammanhang är det emellertid önskvärt att legera så att man får en viss mängd ferrit. Antingen genom att stabilisera ferritfasen eller genom att bilda karbider. Mangan tillsätts för att stabilisera ferritfasen. Exempel på ämnen som både stabiliserar ferritfasen och som bildar karbider är krom, niob och molbyden. Niob tillsätts för att stabilisera stålet dvs binda kolet i karbider. Kolet hindras därmed att bilda karbider med krom och stålet bevarar på så sätt sin rostfrihet. Karbidbildningen medför också att själva kornstrukturen blir stabilare eftersom karbider låser kornen och korngränserna⁴. Ur varmspricknings-synpunkt kan dock niob vara negativt på grund av att man kan få försprödade korngränser genom niobanrikning i dem.

Inverkan av ferrithalt

Ferritens roll i gjutsammanhang är att undvika varmsprickning. Ferrithalten har också betydelse när det gäller miljöinducerad sprickning, då så som ”sprick-stoppare” eftersom kromutskiljningarna samlas i ferritöarna i stället för ett sammanhängande nätverk av urskiljningar i austenitkorngränserna². Kromkarbiderna utskiljs, p g a den höga diffusionshastigheten av krom och ferrit, på ferritsidan. Den utarmade kromhalten kan sedan snabbt återställas⁸. Dessutom anses att ferriten sägs lösa in ”farliga föroreningar” som skulle kunna försämra egenskaperna hos ett material t ex försprödning. Ju mer ämnen ferrit löser in ju hårdare blir den. Ferrit kan även själv försprödas genom sigmafasbildning och spinodalt sönderfall. Sigmafasbildning uppkommer främst hos molbydenfria stål och inom temperaturområdet 550–800°C. Om ett stål som innehåller ferrit värmebehandlas under en längre period vid 400–550°C kan materialet utsättas för så kallad ”475-försprödning” som är ett spinodalt sönderfall av ferriten och som försämrar dess egenskaper. Exempel på egenskaper som blir sämre är slagseghet, brottseghet och korrosionsresistans^{4,5}.

Ferrithalten hos ett stål kan bestämmas genom att man med olika empiriska samband får fram den teoretiska ferrithalten ur ett diagram. Man kan också mäta ferriten på ytan av komponenten i fråga och få fram ett medelvärde med hyfsad överensstämmelse med det teoretiska värdet. Mätningar på gjutna komponenter visar dock att spridningsintervallet kan vara mycket stort i en och samma komponent^{6,7}.

Normal tillverkningskontroll

Den tillverkningskontroll som utförs på rostfritt gjutgods utförs först när komponenten är färdigtillverkad d v s efter slutförd formning, bearbetning och värmebehandling av den gjutna komponenten. De provningsmetoder som används är penetrantprovning och radiografering.

Litteraturstudie

Studsvik Material AB har på uppdrag av SKI genomfört en litteraturstudie⁸. Den visar att stelningsförloppet hos gjutna komponenter är tillsammans med legeringsammansättningen avgörande för ferritandelen i komponenten. Vidare anges att gjutgods med en tillräcklig andel ferrit har större motståndskraft mot sensibilisering genom att kromkarbider skiljs ut i fasgränsen mellan ferrit och austenit istället för i korngränserna och att kromutarmning i korngränserna därmed inte sker. Å andra sidan gör ferriten att materialet åldras vid användning under långa tider i lättvattenreaktorer. Modeller för åldring av gjutet rostfritt finns beskrivna i studien. Avslutningsvis diskuteras IGSCC i gjutet rostfritt stål.

Skador i Oskarshamn 1

I samband med Fenixprojektet i Oskarshamn dekontaminerades huvudcirkulationskretsarna. Vid en efterföljande renhetskontroll upptäcktes sprickor på insidan i ett av ventilhusen. Penetrantprovning visade ett stort antal linjära indikationer ofta i ett krackelerat mönster. En utökad provning visade att såväl samtliga ventiler som pumphus hade sprickor invändigt och utvändigt. OKG tog då ut båtprov för att fastställa sprickorsaken för att därefter bearbeta bort sprickorna.

Materialdata

Ventilhusen i Oskarshamn 1 är tillverkade av niobstabiliserat rostfritt gjutgods typ W. Nr 1.4552 från Bergische Stahl-Industrie Remscheid. Efter gjutningen har ventilhusen släckglödgats i 1070°C/vatten. Ventilerna är sedan tillverkade hos KSB, Klein, Schanzlin & Becker AG. Enligt materialintygen har de genomgått IK-testning (d v s tåligheten mot interkristallina angrepp har kontrollerats) och penetrantprovning. Inga avvikelser finns rapporterade. Innerdiametern hos ventilerna är 600 mm, höjden på själva ventilhuset är cirka 1500 mm.

Pumphusen är tillverkade av ostabiliserat rostfritt gjutgods typ BS 1504-801 från Osborn-Hadfields Steel Founders Ltd. Efter gjutningen har pumphusen glödgats i 1080°C vatten. Inga avvikelser är rapporterade i materialintygen. I intygen anges att pumparna har IK-provats med godkänt resultat. Vikten hos dessa komponenter är cirka 1 ton. Såväl ventilhus som pumphus är individer och har gjutits vid olika tillfällen samtliga komponenter har därför individuella chargeanalyser, som framgår av följande sammanställning:

	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	Co	Nb
V1	.04	1.12	1.00	.028	.004	18.4	.77	10.2	.15	.46
V2	.04	.68	.70	.032	.004	18.1	.57	10.4	.18	.46
V3	.04	.77	.77	.038	.007	18.5	.48	10.3	.16	.40
V4	.04	.84	.79	.034	.010	18.8	.75	11.0	.16	.38
V5	.09	.80	1.19	.028	.004	18.0	.52	9.90	.15	.71
V6	.03	.67	.79	.032	.006	18.2	.34	9.79	.20	.50
V7	.05	.61	.76	.032	.010	17.8	.60	10.3	.18	.50
V8	.05	.86	.62	.032	.010	18.8	.78	9.79	.15	.41
P1	.07	.52	.77	.030	.030	21.6	-	10.30	-	-
P2	.06	.77	.93	.027	.024	19.9	-	9.3	-	-
P3	.06	.73	.77	.019	.029	20.4	-	8.7	-	-
P4	.08	.90	.78	.034	.034	19.2	-	8.7	-	-

Enligt dåtidens tillverkningsregler fick upp till 10% av godset svetsrepareras utan krav på rapportering. Efter montaget avspänningsglödgades hela huvudcirkulationssystemet 450°C, d v s även ventiler och pumpar under 4 timmar.

Observerade skador, läge och utbredning

I Oskarshamn 1 samtliga ventilhus och i tre pumphus i HC-kretsarna upptäcktes sprickor⁹. Dessa uppvisade två olika typer av sprickkaraktär på ytan. Dels observerades kracklerade mönster, dels kunde man enskilt belägga långsträckta sprickor. Antalet sprickor i pumphusen var färre än i ventilhusen. Det som skiljer aktuella komponenter i Oskarshamn 1 från övriga anläggningar är att den s k gjuthuden inte bearbetats bort och att de flesta sprickor som upptäckts har förekommit i dessa obearbetade områden. De upptäckta inre sprickorna bearbetades bort efter godkännande från SKI. Den längsta sprickan som bearbetades bort i ventil V8 var 120 mm lång och 14,5 mm djup. I övrigt var maximalt

bearbetningsdjup 40 mm. På utsidan kvarlämnades sprickorna, eftersom dessa bedömdes ha ett maximalt djup på 7 mm.

Genom att ta båtprover ur gjutgodset har tre olika typer av sprickor konstaterats.

- Interkristallina sprickor i fasgränsen ferrit/austenit
- Varmsprickor/återvärmningsprickor i svetsreparerat område
- Interkristallina sprickor helaustenitiskt gods

De ovannämnda båtproven är cirka 6–7 mm djupa. I båtproven konstaterades även att det finns områden med stora austenitkorn (~1mm) nära ytan. Några millimeter längre in i godset verkar gjutstrukturen vara normal. I olika typer av korngränser, både rena austenitkorngränser och fasgränser austenit och ferrit, konstaterades utskiljning av kromrika faser främst karbider. Vid ett tillfälle gav en TEM-analys kromutarmning ner till 4%. Ferriten i proverna uppvisar en högre hårdhet än förväntat. Orsaken till detta kan enligt OKGs rapport⁸ vara begynnande spinodalt sönderfall och sigmafas bildning. Någon sigmafas har dock inte påträffats. Vid TEM-undersökning konstaterades att austenitfasen var kalldeformerad. I det undersökta provet där sprickan löper i fasgränsen mellan ferrit och austenit finns det spår av selektiv korrosion av ferriten. Korrosionshastigheten synes dock vara låg. Sprickytorna var täckta med tjock oxid som var svår att avlägsna. Oxidens utseende sägs tyda på att sprickorna är gamla. Oxiden i sprickspetsen uppges dock vara tunnare. Detta kan enligt OKGs bedömning antingen bero på att den är yngre eller att spaltkemin i sprickan är sådan att oxiden växer långsammare där.

I ett båtprov som var relativt sprickfritt konstaterades sporadiskt grova förbindelser av niodkarbider och/eller niobnitrider. I samtliga komponenter konstaterades även en låg ferrithalt särskilt i de områden där sprickor lokaliserades.

Skadeorsaker enligt redovisade utredningar

I den rapport⁹ som OKG tillställt SKI anges att sprickorna härrör från tillverkningen. Omfattningen och det makroskopiska utseendet hos sprickorna liknar inga tidigare iakttagna miljö- och driftinducerade sprickor, möjligen med undantag av termisk utmattning. Förutsättningar för termisk utmattning finns dock i aktuella pump- och ventilhus.

De legeringar som använts i samtliga fall förväntas stelna austenitiskt eller ferritiskt beroende på segringsförhållanden. De uttagna proverna visar oftast ett austenitiskt ytskikt medan man efter ett par millimeter in i gjutgodset hittar en mer normal gjutstruktur med en viss andel ferrit. Att de maskinbearbetade ytorna uppvisar en struktur som innehåller

ferrit styrker denna uppfattning. De maskinbearbetade ytorna är också i det närmaste sprickfria.

Det finns sprickor som iakttagits och som är rena tillverkningsfel typ varmsprickor, återvärmningssprickor och rena gjutfel. Vidare finns det andra sprickor som inte entydigt kan förklaras. Man kan inte fastställa om sprickorsaken är IGSCC, varmsprickning eller mekaniskt interkristallint brott. En kombination av dessa kan inte heller uteslutas.

För att ett austenitiskt material ska utsättas för IGSCC krävs ett sensibiliserat material, dragspänningar och en oxiderande miljö. OKGs utredningar pekar åt att sensibiliseringen av materialet är ringa samt att påkänningarna på komponenterna är måttliga, men att miljön, som i Oskarshamn 1 varit normalvattenkemi (NWC), är sådan att den skulle kunna underlätta IGSCC. Man kan alltså inte helt utesluta IGSCC.

Sprickorna i det helaustenitiska godset samt de som löper i fasgränsen ferrit/austenit beror antagligen på mekaniskt överbelastade svaga korngränser sk ”ductility dip”. Det innebär att utskiljningarna inuti kornen får en utskiljningshärdande effekt samtidigt som korngränserna är försvagade av segringar och utskiljningar. Korngränserna blir därmed svagare än själva kornen och får ta upp de spänningar som uppstår vid värmebehandling.

Eftersom sprickorna förekommer till största delen icke bearbetat material så kan de ha uppkommit på följande sätt. Vid gjutningen har grunda stelningssprickor uppstått och blivit kvar i de obearbetade områdena då de inte upptäckts vid tillverkningskontrollen. Vid efterföljande släckglödning har materialet drabbats av hot ductilitydip som därmed har medfört djupare sprickning. Att sprickningen förekommer till största delen i ventilhusen som är av stabiliserat stål styrker inte heller IGSCC-teorin eftersom detta material genom stabiliseringen skall vara mindre känsligt för spänningsskorrosion. Kvarvarande defekter på 15 mm djup liknar mer gjutdefekter än miljöinducerade sprickor. Däremot skulle kanske niob i korngränserna i dessa sammanhang ha en försprödande inverkan, något som kanske borde utredas närmare.

Begynnade spindalt sönderfall och sigmabildning kräver temperaturer över drifttemperatur. Eftersom systemet avspänningsslöddades efter montaget vid 450°C i fyra timmar så är det fullt möjligt att en ”475-gradersförsprödning” har påbörjats.

Sammanfattningsvis kan man säga att sprickorna med stor sannolikhet härrör från tillverkningen. Att de inte upptäckts vid tillverkningen kan ha flera orsaker. Dels beror det på när kontrollen av dem utfördes, om det var före värmebehandlingen så ansågs de kanske som små och utan betydelse, dels kan de ha varit täckta av en tunn gjuthud som sedan korroderat bort eller på något annat sätt avlägsnats. Inslag av miljöbetingad sprickning kan inte uteslutas.

Skadetålighetsanalyser

Innan sprickorna bearbetades bort utfördes skadetålighetsanalyser¹⁰ i syfte att försäkra sig om att komponenterna även efter avlägsnandet av sprickorna skulle uppfylla minimikraven på hållfasthet enligt ASME III. Eftersom sprickorna visade sig vara djupare än vad man först trodde gjordes analyserna i flera steg. Till grund för analyserna gjordes först finita elementberäkningar (FEM) för hela komponenterna. Maximalt sprickdjup sattes då till 15 mm. Resultaten av dessa analyser visade att ett avlägsnande av sprickorna var möjligt. Eftersom det efter den första avverkningen kvarstod sprickor på vissa områden i en del av ventilerna modellerades urgröpnings i en submodell av ventilerna. Resultaten från dessa FEM-analyser visar att spänningsfördelningen är mycket lokal och att de tjockleksreduktioner som planerades kunde genomföras utan att konstruktionen försvagades i oacceptabel grad. Resultaten av skadetålighetsanalyserna för ventilerna kan sammanfattas enligt följande:

- Relativt stora defekter kan accepteras, upp till ca 20 mm djup på utsidan i det mest påkända snittet.
- Det föreligger inte någon risk för sprickinitiering i sprickfria områden med hänsyn till specificerade tryck- och temperaturtransienter samt driftinducerade vibrationslaster.
- Sprickpropagering av befintliga sprickor på grund av tryck- och temperaturtransienter är försumbar de närmaste tjugo åren.
- Den enda kända sprickinitierings- och sprickpropageringsmekanismen är interkristallin spänningskorrosion och den är endast aktuell för defekter belägna i ventilhusens media berörda innerytor.
- Eventuell spänningskorrosionstillväxt sker relativt långsamt.

För pumparna genomfördes liknande analyser vars slutsats blev ett tillåtet bearbetningsdjup på 24 mm. Pumphanalyserna genomfördes på tre utvalda ställen som ansågs vara representativa för de ytor i pumphuset där sprickor upptäcktes och bearbetades bort. För pumphus gäller för övrigt i stort sätt detsamma som för ventilerna.

Övriga svenska anläggningar

Vid ett möte hos SKI i april 1995 redovisade en arbetsgrupp med representanter från Vattenfall-Ringhals, OKG AB och BKAB dels tillverkningsdata, bl a teoretiska uppskattningar av ferrithalten enligt Schofer i de gjutna komponenterna, dels förslag till åtgärder. Dessa begränsades då till ferrithalmsmätningar på utsidan av enstaka ventil- och pumphus, samt TV-inspektion och ferrithalmsmätning av åtkomliga ytor på desamma. Som en följd av de upptäckta sprickorna och denna redovisning begärde SKI in förslag från

samtliga anläggningsinnehavare om vilka åtgärder som planerades under revisionsavställningarna 1995¹¹.

Någon enhetlig sammanställning av hur många komponenter av gjutet rostfritt som finns på respektive anläggning finns inte. Uppgifter från Forsmark tyder dock på att andelen gjutna komponenter är mindre i de nyare anläggningarna.

Genomförda undersökningar under 1995 års revisionsavställningar

Redovisning från BKAB (Barsebäck)

Vid ovannämnda möte redovisade BKAB beräknade värden på 10–16% ferrit och utvändigt uppmätta värden till 6–19% i huvudcirkulationssystemets ventiler. Dessa är tillverkade av ostabiliserat gjutgods av typen G-X6 CrNiMo 19.10. I pumphusen, som är tillverkade av niobstabiliserat gjutgods av typen G-X7 CrNiMoNb 18.10, W 1.4581, varierade den teoretiska ferrithalten mellan 3,4% och 9,4%.

I brev¹² redovisade BKAB ett förslag till utökad kontroll. Den utökningen innebar:

- Utvärdig ferrithaltsmätning på samtliga ventil och pumphus.
- Invändig TV-inspektion av ventil 313 V1 med öppnad ventilkägla och genom flänsen på pumphus 313 P1. Kompletterande inspektion av innerytan genom materialuttagshål med hjälp av videoscope.
- Materialuttag ur ventil 313 V1 och pump 313 P1 genom hålbörning för att klarställa komponenternas materialegenskaper i tvärsnittet.

Resultaten från dessa undersökningar i Barsebäck ¹³ är följande. Ferrithalten uppmättes på utsidan av samtliga pump- och ventilhus. Med två undantag överstiger medelferrithalten 5%. Enskilda områden med ferrithalter på 0–1 % finns också men dessa är till ytan mindre än i Oskarshamn 1. Penetrantprovning av ytterytan utfördes också på två pumpar och tre ventiler. Inga indikationer upptäcktes. För att studera eventuell förekomst av icke ytbrytande defekter slipades dessutom ett område i ventil V7 ner till maximalt 3 mm och penetrantprovades. Då noterades fyra mycket korta sprickindikationer, som dock försvann efter ytterligare 1 mm slipning. Det bör noteras att ytterytan på komponenterna är slipad till skillnad från komponenterna i Oskarshamn 1.

Invändig ferrithaltsmätning utfördes på ett pumphus och ett ventilhus. Resultatet från pumphus visar att ferrithalten på de uppmätta ställena varierar mellan 0% och 6% (34 mät-punkter) och har ett medelvärde på 0,808%. Resultatet från ventilen visar att ferrithalten varierar från 0,6% till 9,6% med ett medelvärde på 6,7% (83 mät-punkter). Visuellt kontroll

med videokamera på de uppmätta områdena visade inga tecken på sprickor eller ”noterbara defekter”. Som en förklaring till de låga ferrithalterna anges att inmatningen vid gjutningen har skett underifrån.

Samma pumphus och ventiler undersöktes med TV-kamera. Utrustningens detekteringsförmåga provades ut mot en känd spricka i en smidesring mellan pumphus och ventilrör och som kunnat lämnas tills vidare efter skadetålighetsanalyser visar på tillräckliga säkerhetsmarginaler. I pumphuset registrerades 9 st defekter. De flesta var korta interkristallina sprickor som klassades som varmsprickor från tillverkningen. De två defekter som påträffades i ventilen klassades som mikrosugningar från tillverkningen. Bilderna från TV-undersökningen är av god kvalitet.

Två borrhärdar togs ut, ett från pumphus P1 och ett från ventilhus V1. Dessvärre tappades borrhärdan från ventilhuset bort, varför endast den från pumphuset kunde utvärderas. Ferrithaltsmätning av denna borrhärd visade att ferrithalten ökade från 4,5% på insidan till 7% på utsidan. Borrhärdan innehöll delvis en svetsreparation men för övrigt uppvisade den normal gjutstruktur. Kontroll av sammansättningen har också genomförts, den stämmer väl överens med materialintyg.

På grundval av resultaten från Barsebäck 1 beslutades om ett bantat program för Barsebäck 2. Detta bestod av:

- Ferrithaltsmätning på utsidan av samtliga ventil- och pumphus i ”begränsade stråk” baserat på erfarenheter från Barsebäck 1.
- Invändig TV inspektion av åtkomliga ytor i pumphus 313 P1.

Ferrithaltsmätningarna¹⁴ visade att medelvärdet för pumphusen var, med ett undantag, 5%. För ventilhusen var medelvärdet 6,6%. Områden med 0% ferrit finns även i Barsebäck 2s komponenter, men de uppges vara små. Penetrantprovning i utsidan på av en pump och en ventil visade inga tecken på sprickor.

Etsförsök genomfördes på tre områden på pump P4. Syftet med detta var att få en uppfattning om de dropp i ferrithalt som har konstaterats. Två av de undersökta områdena var svetsreparerade och visade sig innehålla 0% ferrit. Det tredje området var inte svetsreparerat utan anses bero på en lokal segringseffekt.

TV-inspektionen i P1 utfördes på åtkomliga icke bearbetade ytor. Två sprickindikationer hittades. Den ena var troligen en korrosionsdefekt orsakad av deformationsmartensit som uppkommit vid bearbetning. Bilderna från denna TV inspektion har dock sämre kvalitet än de som redovisades för Barsebäck 1. Orsaken härtill är oklar.

Redovisning från OKG AB (Oskarshamn 2 och 3)

I Oskarshamn 2 var planerna i enlighet med det ovan refererade mötet och omfattade teoretiska ferrithaltsmätningar på utsidorna av pump- och ventilhus. TV-inspektion skulle genomföras på insidan av ett ventilhus och ett pumphus. Utvändigt penetrant planerades på utvalda delar av ventil- och pumphus. Vid ett senare tillfälle ska dock ventiler som ingår i projekt VMAN demonteras och undersökas närmare för att man på så sätt ska kunna öka kunskapen kring skador i gjutet rostfritt¹⁵. Materialen är desamma som i Barsebäck 1 och 2 med teoretiska ferrithalter på 6,2–9,4% i pumphuset och 10,2–18,5% i ventilhusen.

Förutom de tidigare föreslagna undersökningarna gjordes även i Oskarshamn 2 en invändig ferrithaltsmätning¹⁶. Ventilhus V3 och pumphus P3 valde ut dessa ferrithaltsmätningar. De teoretiska ferritvärdena för dessa komponenter enligt den redovisning som tidigare redovisats på SKI var 14,5% i ventilhuset och 9,4% i pumphuset. De uppmätta resultaten blev följande:

	Utsida (%)	Insida (%)
Pumphus		
Min	1,0	3,0
Max	10,0	6,5
Medel	5,8	5,1
Ventil		
Min	0,0	0,5
Max	12,0	12,0
Medel	6,1	8,5

I de områden där ferrithalten är 0% antas att svetsreparationer har skett. TV-inspektioner genomfördes på samma sätt som i Barsebäck¹⁷. Vid dessa inspektioner konstaterades att det är skillnad om man undersöker en våt och en torr yta. En våt yta framträder mörkare varför detekterbarheten blir sämre eftersom sprickor också erfarenhetsmässigt framträder mörkt. Eftersom verifieringen inför inspektionerna gjordes på torr yta måste deras trovärdighet därmed ifrågasättas. Vid inspektionerna lokaliserades emellertid 12 st defekter i ventilen och 5 st defekter i pumphuset, d v s sammanlagt 17 st defekter. De bilder som SKI tagit del av är dessutom endast Xkopior av dålig kvalitet, varför man inte kan se något på dem.

Oskarshamn 3, som är en internpumpsreaktor, är den yngsta generationen BWR-reaktorer. I Sverige föreslogs inga undersökningar alls¹⁸. Dessa komponenter har emellertid genomgått fullständig penetrantprovning vid tillverkningen, där upptäckta skador reparerades och därefter återprovades. Då med godkänt resultat. Den teoretiska ferrithalten

enligt Schaeffler var ca 10% vilket är acceptabelt men OKG reserverar ändå sig för eventuella variationer. Pumphuset skall därför provas invändigt senare i samband med att pumparna demonteras. Dock inte under RA 95.

Redovisning från Vattenfall Ringhals (Ringhals 1–4)

Ringhals 1 har samma material i huvudventilationssystemets ventiler och pumpar som finns i Oskarshamn 1. Teoretiska ferrithalter är 1,6–6,6% i ventilerna och 12,7–17,9% i pumphuset. Vattenfall Ringhals redovisar för Ringhals 1 också en omfattande utredning¹⁹ bl a baserad på undersökning av en ventil som kapades ur 321 under RA 93. Denna ventil har samma tillverkare, samma material och samma miljö som ventilerna i HC- kretsarna har. Vidare redovisas skadetålighetsanalyser, och tillverkningsdokumentation av huvudcirkulationssystemets ventiler och pumpar. Undersökningens omfattning förutom den urkapade 321 ventilen var följande¹⁷:

Ett pumphus och ett ventilhus hade valts ut för invändig inspektion med samma metod som användes i Barsebäck 1 och Oskarshamn 2²⁰. Innan inspektionen hade de invändiga ytorna i pump- och ventilhus högtrycktvättats för att avlägsna löst sittande beläggning som kan försämra detekterbarheten. Inga sprickliknande defekter observerades. Endast smärre gjutfel hittades i ventilhuset. I pumphuset registrerades inga defekter.

Ferrithaltsmätning genomfördes på både in- och utsidorna²¹. På insidan av ventilen mättes ett bearbetat område och ett obearbetat område. Det obearbetade området som låg i botten på ventilen uppvisade en mycket låg ferrithalt. Mellan 0–1,5% ferrit med ett medelvärde på 0,1% (12 mätpunkter). Det bearbetade området hade något högre medelvärde 2,2%. Orsaken skulle enligt Ringhals bero på att man vid bearbetning kan få deformationsmartensit som också är magnetiska. Därav den högre ”ferrithalten”. Ferrit-halten i de utvändiga ytorna ligger i samma härad, d v s medelvärdena i tre områden är 0,5–2,2% (36 mätpunkter). Det bör här noteras att den beräknade ferrithalten enligt Schoefer var för ventilen 3,9%.

I pumphuset är medelvärdet mätt på invändiga ytor 9,8% (12 mätpunkter). Uppmätta värden på utvändiga ytor är 3,7–10,2% ferrit (36 mätpunkter). Det teoretiska ferritvärdet här var 17,9%.

Slutsatserna från undersökningarna är att ferrithalten varierar betydligt över komponenternas ytor. Men i övrigt har man inte hittat några indikationer med de inspektionsmetoder som använts. Något bildmaterial har dock inte redovisats till SKI.

Under 1997 års revisionsavställning planeras fullständig inspektion av huvudcirkulationssystemets pumpar och ventiler.

Vidare har Ringhals lämnat en redogörelse för tillståndet i PWR²² anläggningarnas gjutna komponenter. Det finns en plan för provning av gjutet rostfritt, både kortsiktigt och långsiktigt. Under RA 95 har särskild kontroll gjorts med avseende på sprickor i de gjutna komponenter som öppnas upp för underhåll. I det långsiktiga programmet har Ringhals startat upp ett projekt som avser att prova reaktorkylkretsarna på block 2–4. Någon sådan provning har inte gjorts tidigare. Ringhals utför ett pionjärarbete på området. Målet är att prova primärloopar inklusive RCP-hus med en av myndigheterna godkänd teknik. Projektet består av fyra delar:

- Skadetålighetsanalyser
- Provningsteknik
- Robotutveckling
- Provning genomförande

Redovisning från FKA (Forsmark 1–3)

I forsmarksreaktorerna varierar antalet gjutna komponenter beroende på vilken generation reaktorerna tillhör¹. Forsmark 1 och 2 har 50–100 komponenter (grov uppskattning) och Forsmark 3 har 17 komponenter. I Forsmark 1 avsågs att penetrantprova ventilerna 321 V5 och V6. I Forsmark 3 planerades inga provningar p g a det låga antalet gjutna komponenter och med tanke på dosbelastningen.

Forsmark 1 och 2 har redovisat²³ att man har penetrantprovat vardera fyra ventiler i system 321 utan anmärkning. Utöver detta har Forsmark 1 även provat en ventil i system 323 och en i system 351. Ventilen i 351 visade upp en pora, vilken betraktades som normalt förekommande i gjutgoods och lämnas därför till nästa provningstillfälle.

Internationella erfarenheter

I samband med att problemen i Oskarshamn 1 uppdagades tog SKI ett antal kontakter för att få information om utländska erfarenheter och råd om hur sprickorna skulle kunna ha uppkommit. Vidare finns i det material som OKG AB tillställt inspektionen en sammanställning gjord av ABB Atom AB med både svenska och internationella erfarenheter²³.

Vid de kontakter som SKI hade diskuterades bl a ferritmängden, nioben, inverkan av värmebehandling, om varmsprickor är enbart ytbrytande samt möjligheter till fullgod provning. Vid dessa kontakter framkom att många hade erfarenheter av varmsprickor, dock inte i den omfattningen som förekom i Oskarshamn inte känd. Däremot pekade man på att varmsprickor mycket väl kan vara icke ytbrytande. Vidare finns det samstämmiga signaler om att även släckglödning kan ge varmsprickor. När det gäller ferritmängd så visar det sig att det är svårt att hitta några samstämmiga uppgifter om värden för lämplig ferritmängd.

Ferritmängden sägs väljs beroende på de krav som ställs på komponenten eftersom ferrit är både positivt och negativt. I svetsssammanhang anges i en del handböcker 3% ferrit. Men när det gäller stora komponenter är siffran 8% vanligare. Skälen kan vara att segringarna blir större med högre ferrithalt vilket leder till en ojämnare fördelning av ferritstabiliserande ämnen och föroreningar som måste lösas av ferriten. Inverkan av niob och andra stabiliserande ämnen ansågs inte vara något problem. Man har inte sett något annat än att stabiliserade stål är mindre känsliga för spänningskorrosion. De provningsmetoder som samtliga hänvisade till var penetrantprovning och i viss mån ultraljud trots de problem som finns att uppnå bra provningsresultat med denna metod. Förekomst av skjuvskador bekräftas också av några kontakter. ASTM standard kräver att 5 mm ska slipas bort innan provning av ytan utförs.

ABB Atom har för OKGs räkning sammanställt erfarenheter av sprickor i komponenter som är tillverkade i rostfritt gjutgods²⁴. I denna rapport anges att rostfritt gjutgods av den aktuella sorten är okänslig för IGSCC om ferrithalten hålls över 3%. Däremot är det mycket vanligt med verkningsdefekter, särskilt i niobstabiliserade material. ABB Atoms erfarenheter genom åren har resulterat i att man i de två senaste reaktorerna Forsmark 3 och Oskarshamn 3 har installerat smidda ventilhus eftersom det har varit svårigheter vid tillverkningen av gjutna komponenter. Dessutom ökade kontrollkraven för varje reaktorleverans och det blev därmed svårare och svårare att uppfylla kraven. Detta med hänsyn till att strukturen är komplicerad och ytorna är grova samt att defekter och svetsreparationer är vanliga. I rapporten finns även uppgifter om Combustion Engineering (CE) erfarenheter. Dessa uppges vara samma som ABBs. CE har haft liknande sprickor som Oskarshamn 1. De anger att ytuppkolning kan medföra sensibilisering av materialet. Även låga ferrithalter leder till problem med stelningssprickor. Niob kan enligt CE öka denna effekt särskilt vid upplösningbehandlingar och svetsreparationer.

I Japan har man inte haft några driftinducerade sprickor. Inga Nb-stabiliserade material används för ventil- och pumphus och man har en sträng kontroll på ferrithalten. Den ligger mellan 8% och 30%. I Amerikanska kokarreaktorer har det förekommit sprickor i pläteringen samt i två jetpumpar och en ventil. Sprickorna i pumparna klassades först som SCC men det ändrades senare till tillverkningsprickor. De förekom i områden med låg ferrithalt och hög kolhalt.

I USA har även arbeten gjorts för att försöka bestämma hur hög ferrithalt som krävs för att undvika spänningskorrosion i gjutet rostfritt med olika kolhalter. Resultaten indikerar att hög kolhalt kräver en högre ferrithalt. ABB har även varit i kontakt med The Welding Institute i England. De poängterade att särskilt Nb-stabiliserade material är svåra att svetsa och svetsreparera. Stelningssprickor och återvärmningssprickor är typiskt i sådana material särskilt om ferrithalten låg.

Diskussion

Denna sammanställning av kunskapsläget och de genomförda kontrollerna under revisionsavställningarna 1995 visar att det i första hand rör sig om komponenter som tillverkades i slutet på 60-talet eller första halvan av 70-talet där problem kan befaras. Dokumentationen av tillverkningen och den efterföljande kontrollen finns inte tillgänglig och troligen är den inte lika omfattande som i senare generationers komponenter samtidigt som kraven har skärpts. Det verkar som om de större komponenterna från denna tid kan betraktas som individer. Trots att materialspecifikationen är densamma för respektive verk så varierar ferrithalterna mycket, dels mellan komponenterna, dels inom en och samma komponent. Det innebär att ett enstaka stickprov eller undersökning av en komponent inte säger något om de andra komponenterna. Dessutom kan svetsreparationer som inte dokumenterats komma att påverka tillståndet hos komponenterna.

Det som är oroande är att dessa sprickor troligtvis har uppkommit redan vid tillverkningen, att de undgått upptäckt i tillverkningskontrollen, och att de därmed har funnits där hela tiden. Vidare att sensibiliserande värmebehandling har förekommit i systemet, att man inte har haft någon återkommande kontroll, att det vid tiden för tillverkningen av de gjutna pumparna och ventilerna inte fanns någon standardiserad IK-provning². Dessutom att vissa delar av pumpar och ventilhus är obearbetade i Oskarshamn 1. Det innebär att mindre sprickor i ytskiktet kan ha fungerat som anvisningar för de sprickor som bildats på grund av krympspänningar eller på grund av de efterföljande värmebehandlingarna och svetsreparationerna. Gjuthuden kan också ha dolt icke ytbrytande varmsprickor vid tillverkningskontrollen. Genom att bearbeta bort gjuthuden innan komponenten tillverkningskontrolleras så förbättras både tillståndet och möjligheterna till fullgod provning betydligt.

Av de reaktorer som är av samma typ som Oskarshamn 1 har samtliga redovisat utförda provningar och undersökningar. Dessa är ungefär samma slag nämligen, ferrithaltsmätningar på utvändiga ytor och på begränsade områden av invändiga ytor samt TV-inspektion. I Barsebäck tog man ut borrhärdar för att se på gjutstrukturen. Den borrhärd som analyserades uppvisade "normal gjutstruktur", men även detta resultat kan bara ge oss en uppfattning om tillståndet i just borrhärden eftersom strukturen beror på hur stelningen skett i just denna del och hur detta påverkat till exempel segring av olika ämnen i just den punkten.

Endast Barsebäck har redovisat med originalbilder från utförda TV-inspektioner, varför det är svårt att bilda sig en uppfattning om hur det verkligen ser ut. Bilderna från Barsebäck 1 ser bra ut medan bilderna från Barsebäck 2 är något sämre och svårare att tyda. Vidare har åtkomligheten i de övriga anläggningarna vid inspektionen av vissa komponenter varit begränsad.

I Forsmarksreaktorerna och Oskarshamn 3 har man haft ett annat sätt att närma sig frågan. Där har man dock för avsikt att titta närmare på gjutna komponenter vid revisionsavställningar i framtiden.

Ventilerna i Oskarshamn 1 har en teoretisk ferrithalt på 2–8,2% enligt Schoefer. I ventil V3 som har en teoretisk ferrithalt på 4,7% gjordes en uppmätning av densamma på såväl in- som utsida. Denna uppvisade en stor variation i ferrithalt. På insidan varierade halterna mellan 0 och 4,7%. Endast i 2 fall uppmättes värdet 4,7%. I 25 fall var värdet 0. På utsidan varierade värdena också kraftigt mellan 0% och 6,5%. Avläsningarna gjordes på samma ställen på in- och utsida, men någon korrelation mellan värdena på in- och utsida låter sig inte göras.

Orsaken till sprickornas uppkomst är enligt OKG AB att korngränserna har försprödats vid de värmebehandlingar som gjorts efter gjutningen samt i vissa fall även i samband med de svetsreparationer som gjorts i samband med tillverkningen. Förutsättningar för miljöinducerad sprickning finns också genom att miljö är den rätta och man har sett kromutarmade korngränser. Spänningarna antas vara låga i gjutgods varför den drivande kraften för sådan spricktillväxt är mycket liten. Eftersom såväl varmsprickor som miljöinducerad sprickning följer korngränserna går det inte att enbart göra metallografiska undersökningar för att försöka fastställa sprickmekanismen. Att de djupaste sprickorna endast uppkommit p g a miljöinverkan är inte sannolikt eftersom sprickhastigheten i såfall skulle vara större än vad som hittills uppmätts. De mekaniska egenskaperna hos gjutet rostfritt har undersökts²⁵. Dessa undersökningar visar att brottsegheten avtar med tiden, hur mycket beror på sammansättning, ferritmängd och struktur.

Trots en relativt högre teoretisk ferrithalt enligt analysintygen så kan det förekomma områden i de gjutna komponenterna som har mycket låga ferrithalter (nära noll%). Ferritens betydelse är att undvika varmsprickning. Ferrithalten har också betydelse när det gäller miljöinducerad sprickning då såsom "sprick-stoppare" samt att ferriten sägs lösa in "farliga föroreningar". Någon lämplig mininivå av ferrit verkar vara svår att hitta. Ibland föreslås 3% som lämpligt (Kraftbolagens KBM) om man vill undvika varmsprickor. Gränsen 3% hänförs nog enligt min uppfattning till svetsning och man kan undra om det verkligen gäller samma för så stora gjutgods som det gäller i detta fall. Mätresultaten ovan visar att det behövs en högre halt eftersom fördelningen av deltaferrit i stora gjutna komponenter varierar mycket. Ferritens fördelning är beroende av hur en komponent gjuts. Flera av de ovan undersökta komponenterna uppvisar mycket låga ferrithalter på insidan vilket kan bero på att smältan matas in underifrån. Förslag såsom att ytan uppkolats p g a bindemedel m m har också framförts.

Bedömning av säkerhetsläget

Varje verk med externpumpsreaktorer har genomfört kontroller av varierande omfattning på minst en pump och en ventil. Enligt det resonemang som förs ovan så kan man endast uttala sig om just de komponenter som provats och kanske endast om de delar av komponenter som provats. Man kan därför inte för någon av anläggningarna säkert säga att man inte behöver bekymra sig för allvarliga defekter eller sprickor i gjutet rostfritt. Vidare har man inte heller funderat på tillståndet som andra komponenter i gjutet rostfritt.

Slutsatser

Denna studie behandlar i första hand gjutna komponenter hos svenska BWR-reaktorer av externpumpstyp. Studien har resulterat i följande slutsatser:

1. Det kan vara svårt att göra jämförelser med yngre reaktortyper eftersom tillverknings- och kontrollmetoder har utvecklats genom åren.
2. De aktuella komponenterna visar en tämligen stor variation när det gäller charge-analyser och ferrithalter. Man kan betrakta varje komponent som en individ. Ferrithalten varierar dessutom kraftigt inom komponenten och även om det teoretiska värdet stämmer överens med medelvärdet hos uppmätta värden som är avvikelsen från medelvärdet ofta stort.
3. De sprickor som upptäcktes i en mycket stor omfattning i Oskarshamn 1 hittades i områden där gjuthuden inte avlägsnats efter gjutningen.
4. De sprickor som hittades var upp till 120 mm långa, och maximalt 40 mm djupa d v s mer än halva godstjockleken. Sprickorna löpte antingen i fasgränsen mellan ferrit och austenit eller i interkristallint i rent ausenitiskt material eller svetsreparerat material.
5. De upptäckta sprickorna härör med stor sannolikt från tillverkningen men efter som man sett kromutarmade zoner så kan inte IGSCC uteslutas. Tillväxthastigheterna har dock i ett sådant eventuellt fall varit mycket låga.
6. Utförda skadetålighetsanalyser visar att sprickorna i Oskarshamn 1 kunde bearbetas bort utan att komponenterna försvagades till en oacceptabel nivå.
7. Redovisning från övriga anläggningar har i stort sett varit i form av stickprov på enstaka komponenter varför resultaten från dessa inspektioner endast säger något om de utvalda komponenterna och dessutom endast om den del som inspekterats. Inspektionen har utfört TV-utrustning. Kvaliteten på de bilder som tillställts inspektionen har varierat. Skälet till detta kan bero på hur och vilken del av de komponenter som undersökts vidare sägs det vara av betydelse för möjligheten att urskilja defekter om ytorna är torra eller våta.

Dessutom har denna typ av okulära kontroller begränsad detekteringsförmåga om det förekommer tunna sprickor.

8. Ferritens betydelse i gjutet rostfritt är att förhindra varmsprickning samt att undvika IGSCC. Vilken miniminivå på ferritinnehåll som torde krävas finns inte säkert fastlagt men internationella erfarenheter pekar på en halt uppemot 8%.
9. Dokumentation från svetsreparationer som gjorts i samband med tillverkningen saknas. Upptill 10% av gjutgodset får bestå av svetsmaterial från reparationer.
10. En fortsatt uppföljning av tillståndet hos komponenter i gjutet rostfritt stål behövs. I ett första steg vore det lämpligt med en inventering av dessa komponenter innan beslut fattas om eventuellt utvidgad provning.

Förslag till fortsatt uppföljning

Kartläggning av antalet gjutna komponenter i respektive anläggning bör göras. Denna kartläggning bör omfatta följande:

Antal komponenter per verk
typ av komponent, materialdata
system, driftförhållanden
tillverkningshistorik
kontrollomfattning.

Först när denna kartläggning avslutats och utvärderats kan man fatta beslut om fortsatta insatser när det gäller kontroller och eventuella forskningsinsatser.

Referenser

1. Forsmark 1–3. *Beträffande sprickor i komponenter av gjutet rostfritt material.* 1995-06-07.
2. Linder J., *Interkristallin korrosion i gjutna rostfria stål av typen 18Cr, 10Ni – En Litteraturstudie.* IM-2555.
3. Fredriksson H., Åkerlind U. *Gjutningens processteknologi.*
4. *Sandvikens handbok del 2.*
5. Josefson B., Norrgård K. *Undersökning av brottytor och mikrostruktur i tre båtprov uttagna ur ventilhus från HC-krets i Oskarshamn 1.* Studsvik material M-95/15.
6. *Material redovisat av kraftbolagens projektgrupp för gjutet rostfritt hos SKI.* 1995-04-18.
7. Eriksson T., Buzancic T. *Materialteknisk undersökning av ventil V8 och V3 313 01.* Uddcomb engineering 1995-04-07.
8. Norring K. *Degradering av gjutet rostfritt.* En Litteraturstudie. SKI Rapport 95:66.
9. Bengtsson B., Oskarshamn 1 System 313. *Indikationer i ventil och pumphus.* Slutrapport avseende skadeanalys OKG 95-05065.
10. *Fenix Mekanik* granskningspromemoria.
11. *Brev från SKI till anläggningsinnehavarna.* 1995-04-25. SKI dnr 14.4-950536.
12. Barsebäck 1. *Åtgärder under kommande revisionsavställning med avseende på funna skador i 313 i Oskarshamn 1.* Utökat program 1995-05-15.
13. Barsebäck 1. *Resultatsammanställning av inspektioner i HC-kretsarna, system 313 P1–P4 och V1-V8 RA 95.* 1995-06-15.
14. Barsebäck 2. *Resultatsammanställning av inspektioner i HC-kretsarna, system 313 P1-P4 och V1-V8 RA 95.* 1995-09-15.
15. Oskarshamn 2. *Åtgärder under kommande revisionsavställning med avseende på funna skador i 313-systemet i Oskarshamn 1.* 1995-07-18.

16. Bengtsson B., Oskarshamn 2. *Undersökning av gjutna komponenter i HC-loopar.*
17. STK Inter Test/Hans Magnusson, HMA Oskarshamn 2. *Redovisning av genomförda kontroller av pump- och ventilhus i system 313.*
18. Oskarshamn 3. *Beträffande sprickor i komponenter av gjutet rostfritt material.* 1995-06-01.
19. Ringhals 1. *Åtgärdsprogram rostfritt gjutgods.* 1995-06-21.
20. Ringhals 1. *Program för inspektion av rostfritt gjutgods i 313 V003 och 313 P003 under RA 95.* 1995-06-20.
21. Ringhals 1. *Information provresultat rostfritt gjutgods.* 1995-08-30.
22. Ringhals 2–4. *Säkerhet hos komponenter i gjutet rostfritt material.* 1995-06-20.
23. Forsmark 1, 2 och 3. *Provning av gjutna rostfria komponenter revision 1995.* 1995-09-11.
24. Ekström P., FENIX Oskarshamn 1. *Erfarenheter av sprickor i komponenter tillverkade av gjutet rostfritt stål.*
25. Chopra O.K., Chack W. J. *Mechanical properties of Thermally Aged Cast Stainless Steels from Shippingport Reactor Components.*



Postadress/Postal address

SKI
S-106 58 STOCKHOLM

Telefon/Telephone

Nat 08-698 84 00
Int +46 8 698 84 00

Telefax

Nat 08-661 90 86
Int +46 8 661 90 86

Telex

11961 SWEATOM S