

R-06-05

Kapsel för använt kärnbränsle

Oförstörande provning av kapselkomponenter

Svensk Kärnbränslehantering AB

September 2006

Svensk Kärnbränslehantering AB

Swedish Nuclear Fuel
and Waste Management Co
Box 5864

SE-102 40 Stockholm Sweden

Tel 08-459 84 00
+46 8 459 84 00

Fax 08-661 57 19
+46 8 661 57 19



ISSN 1402-3091

SKB Rapport R-06-05

Kapsel för använt kärnbränsle

Oförstörande provning av kapselkomponenter

Svensk Kärnbränslehantering AB

September 2006

Förord

Svensk Kärnbränslehantering AB, SKB, ansvarar för att det radioaktiva avfallet från de svenska kärnkraftverken hanteras på ett sätt som är säkert både för människa och miljö. SKB:s anläggningar SFR, Slutförvar för radioaktivt driftavfall och Clab, Centralt mellanlager för använt kärnbränsle, är i drift medan inkapslingsanläggningen och slutförvaret ännu inte har uppförts.

I slutförvaret kommer det använda kärnbränslet att vara placerat i kemiskt beständiga kapslar bestående av en yttre korrosionsbarriär av koppar och en bärande insats av segjärn. Kapslarna har till uppgift att isolera det använda kärnbränslet från omgivningen. Det produktionssystem för att tillverka och försluta kapslarna som SKB utvecklar omfattar hela kedjan från framställning av koppar- och segjärnsgöt för tillverkning av kapselkomponenterna till en färdig och försluten kapsel.

Denna rapport redovisar oförstörande provning av kapselkomponenter och är en del av den preliminära tekniska dokumentationen för kapseln. Redovisningen utgör det första etappmålet i SKB:s program för kvalificering av tillverkning och förslutning av kapseln för använt kärnbränsle.

Dokumentationen har utarbetats inom ramen för ett projekt (Dokap) med syfte att i sammanhållen form redovisa hur kapselns långsiktiga säkerhet säkerställs genom den utvecklade konstruktionen och de system och processer som utvecklats för tillverkning och förslutning av kopparkapseln.

Många författare, inom och utom SKB, har bidragit till den preliminära tekniska dokumentationen:

Huvudrapport: redaktör Karin Pers (Kemakta Konsult AB)

Program för kvalificering av tillverkning och förslutning: Håkan Rydén (SKB)

Konstruktionsförutsättningar: Håkan Rydén (SKB), Lars Werme (SKB), Peter Eriksson (SKB)

Tillverkning av kapselkomponenter: Nina Leskinen (SKB), Peter Eriksson (SKB), Martin Burström (MABU Consulting)

Svetsning vid tillverkning och förslutning: Lars Cederqvist (SKB), Sören Claesson (Bodycote Materials Testing)

Oförstörande provning av kapselkomponenter: Göran Emilsson (Bodycote Materials Testing)

Oförstörande provning av svetsar: Ulf Ronneteg (Bodycote Materials Testing)

2006-09-22

Håkan Rydén

Enhetschef Inkapslingsteknik

Sammanfattning

Denna rapport är en del av den preliminära tekniska dokumentation som utgör det första etappmålet i SKB:s program för kvalificering av tillverkning och förslutning av kapseln för använt kärnbränsle. Sammantaget syftar dokumentationen till att ge en sammanhållande redovisning av konstruktionsförutsättningarna för kopparkapseln, enligt KBS-3-systemet, och preliminära tekniska beskrivningar av de metoder och processer som används vid tillverkning och förslutning av kapseln.

Redovisningen i detta dokument beskriver de oförstörande provningsmetoder som använts för provning av tillverkade kapselkomponenter och erfarenheter med dessa. SKB planerar att upprätta provningsverksamhet av komponenterna vid Kapsellaboratoriet i Oskarshamn. Denna utveckling beskrivs övergripande i dokumentet, då preliminära provningskonfigurationer och system är planerade att tas i drift under 2006. Vidare utgår rapporten från det referensalternativ som SKB har valt, vad gäller komponenter och tillverkningsmetoder.

Rapporten behandlar först en genomgång av krav från olika intressenter. De krav som identifierats hanteras sedan för att urskilja hur väl de anses omhändertagna. I vissa fall innebar detta att aktiviteter och utredningar är nödvändiga för att säkerställa att olika krav uppfylls. De handlingslinjer som blir resultatet av att krav inte kunnat uppfyllas redovisas också.

Innehåll

1	Inledning	9
1.1	Denna rapport	12
2	Strategi och arbetssätt	13
3	Förutsättningar och krav	15
3.1	Krav på framtida OFP-processer	16
3.2	Krav från utvecklingsprojekt för tillverkning	16
4	Kapselkomponenter	17
4.1	Kopparrör	17
4.2	Segjärnsinsats	18
4.3	Kopparlock/botten	19
4.4	Övriga komponenter	20
5	Använda provmetoder	21
5.1	Ultraljud	23
5.1.1	Kopparrör	24
5.1.2	Gjuten segjärnsinsats	24
5.1.3	Kopparlock/botten	27
5.2	Penetrant	28
6	Erfarenheter från provtillverkning	29
6.1	Provmeter	29
6.1.1	Kopparrör	29
6.1.2	Kopparlock/botten	29
6.1.3	Segjärnsinsats	29
6.2	Diskontinuiteter	31
6.2.1	Kopparkomponenter	31
6.2.2	Segjärnsinsatsen	32
6.3	Praktiska aspekter	34
7	Utveckling och forskning	35
7.1	Utveckling av provmetoder	35
7.1.1	Kopparrör	35
7.1.2	Gjuten segjärnsinsats	37
7.1.3	Kopparlock/botten	38
7.2	Forskning	40
7.2.1	Bestämning av kornstorlek	40
8	Kravhantering	41
8.1	Kommentarer till ställda krav	41
8.1.1	Uppföljning av krav på OFP-processer för kapselkomponenter	41
8.1.2	Uppföljning av krav från utvecklingsprojekten tillverkning	41
8.2	Interna krav till produktionssystemet	42
8.3	Kvalificering	42
9	Framtida handlingslinje	43
10	Kommentarer	47

11	Referenser	49
12	Förkortningar	51

1 Inledning

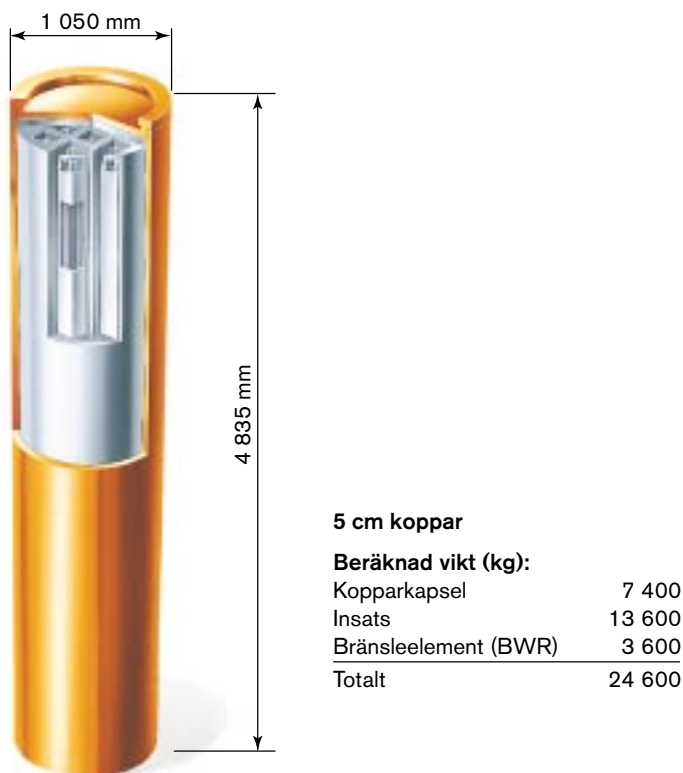
Slutförvaret för använt kärnbränsle enligt KBS-3-metoden utformas för långsiktig säker förvaring. Metoden innebär att det använda kärnbränslet kapslas in i lastbärande och vattentäta kapslar. Kapslarna deponeras i kristallint berg på 400–700 meters djup och omges av en buffert som hindrar vattenflöde och skyddar kapseln. Efter deponering återfylls de bergrum som krävs för deponeringen.

I slutförvaret har kapseln till uppgift att isolera det använda kärnbränslet från omgivningen. SKB:s referensutformning för kapseln består av en yttre korrosionsbarriär av koppar och en lastbärande insats av segjärn. Kapseln har en diameter på drygt en meter och den är nästan fem meter lång, se figur 1-1. Fylld med BWR-element väger den 25 ton och fylld med PWR-element 27 ton.

Kapseln utformas och dimensioneras för att motstå de belastningar den förväntas bli utsatt för i slutförvaret. Den ska också kunna tillverkas, hanteras, transporteras och deponeras i slutförvaret på ett säkert sätt.

För att genomföra deponering och tillverkning av kapslar krävs, förutom anläggningar för geologisk slutförvaring och inkapsling av bränslet, ett system för tillverkning av kapslar. Utvecklingen av detta system utgår från teknik som har förutsättningar att uppfylla specifikationer avseende kapselns utformning, material och kvalitet.

Inför en framtida driftssituation ställs krav på kvalificering av leverantörer, system och processer som kommer att ingå i produktionssystemet. Kraven som ställs är spårbara till myndighetskrav och SKB:s kvalitets- och miljöledningssystem för kapseltillverkning.



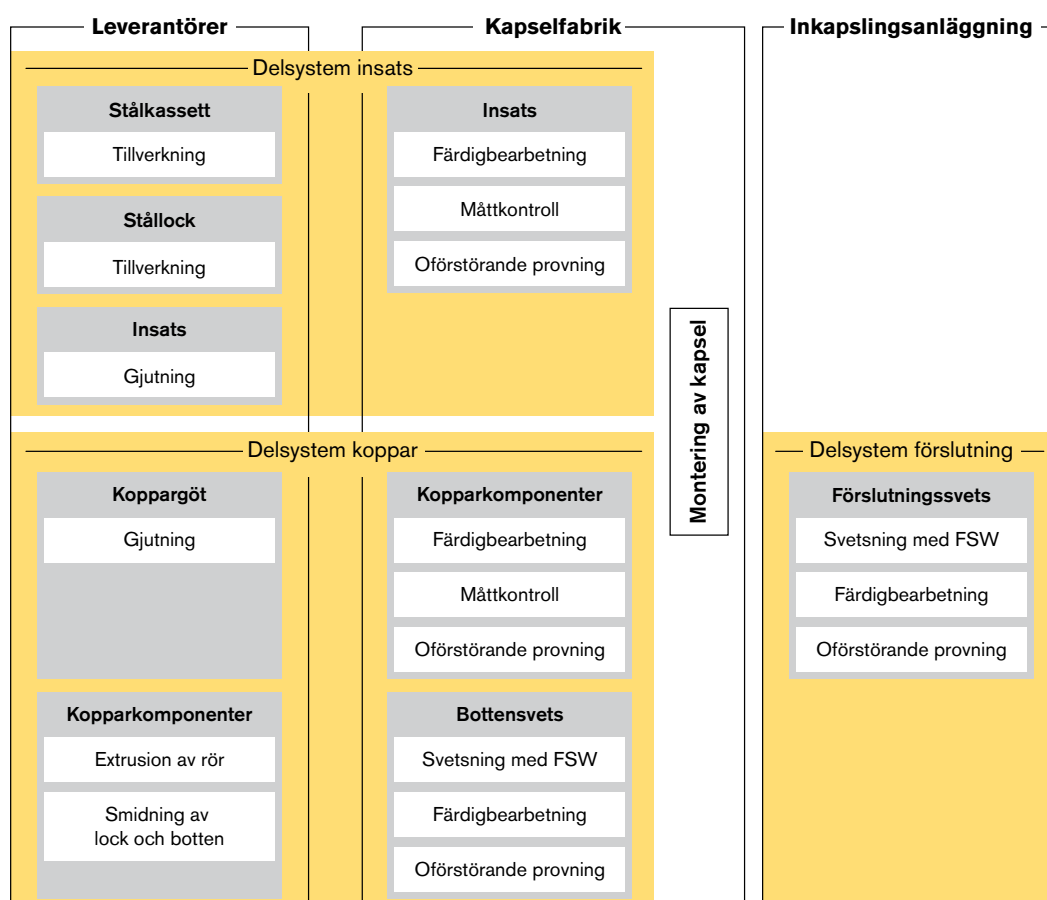
Figur 1-1. Kapsel för använt kärnbränsle. Kapseln består av ett ytterhölje av koppar och en insats av segjärn för BWR-element.

Programmet för kvalificering av tillverkning och förslutning /SKB 2006f/ beskriver det långsiktiga arbetet med att bygga upp förutsättningar för att genomföra kvalificeringar. Det första etappmålet i programmet, år 2006, är att presentera den preliminära tekniska dokumentationen av systemet för tillverkning och förslutning av kapslar. Den preliminära tekniska dokumentationen har utarbetats inom ramen för ett projekt med syfte att i sammanhållen form redovisa hur kapselns långsiktiga säkerhet säkerställs genom den utvecklade konstruktionen och de system och processer som utvecklats för tillverkning och förslutning av kopparkapseln.

Den preliminära dokumentationen omfattar beskrivningar av SKB:s referensutförning av produktionssystemet för tillverkning och förslutning av kapseln. Referensutförningen omfattar de metoder, system och processer som i dagsläget bedöms kunna användas för att producera kapslar som uppfyller ställda krav. SKB bedriver i flera fall utveckling av kompletterande eller alternativa metoder som också kan bli aktuella i framtiden.

Referensutförningen av produktionssystemet, se figur 1-2, omfattar:

- Leverantörer som tillverkar koppargöt.
- Leverantörer som tillverkar kapselns kopparkomponenter – kopparrör, kopparlock och kopparbotten.
- Gjuterier som tillverkar insatsen i segjärn.
- En kapselfabrik där svetsning av kopparbotten, slutbearbetning, kontroll och montering av kapseln sker.
- En inkapslingsanläggning där förslutning och kontroll av svetsen görs.



Figur 1-2. Referensutförning av produktionssystemet för tillverkning och förslutning av kapslar.

Tillverkningsmetoderna i referensutformningen är:

- Gjutning av insatsen i segjärn.
- Gjutning av kopparämne.
- Extrusion av kopparrör.
- Smidning av kopparlock och kopparbotten.
- Svetsning av botten med friction stir welding (FSW).
- Förslutning av kapseln med FSW.

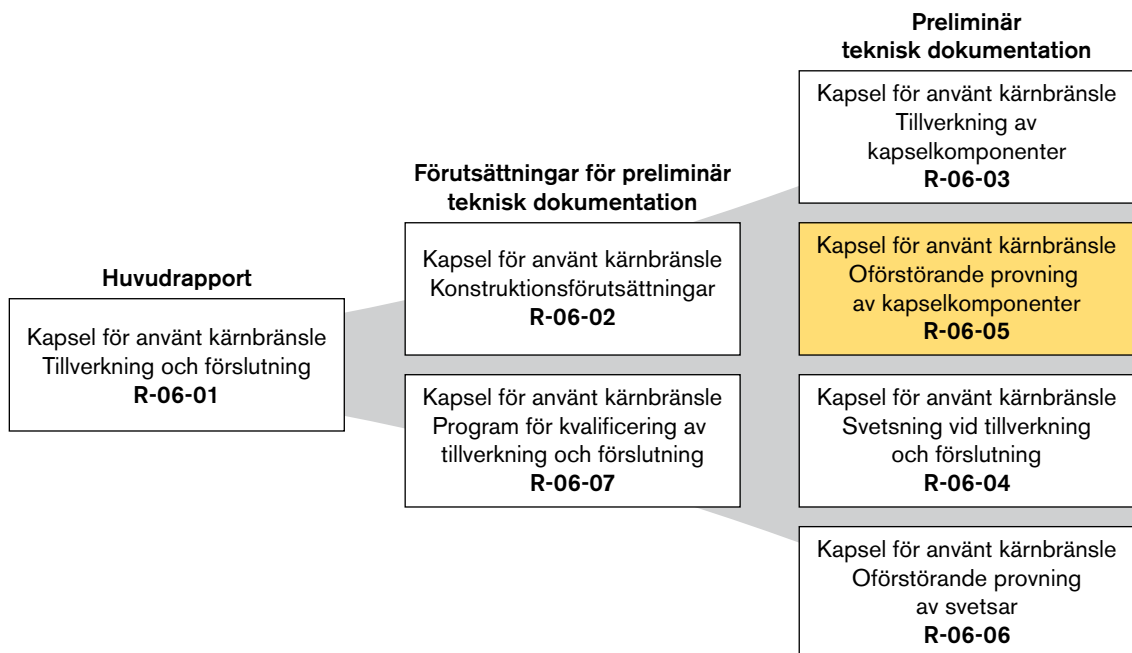
Dokumentationen, se figur 1-3, från projektet omfattar en sammanfattande huvudrapport och sex underlagsrapporter. Huvudrapporten /SKB 2006a/ beskriver de övergripande sammanhangen och logiken i dokumentationen och underlagsrapporterna omfattar:

Förutsättningar för den preliminära tekniska dokumentationen

- Konstruktionsförutsättningarna /SKB 2006b/ redovisar de krav som ställs på kapseln samt dess utformning och är en utgångspunkt för utformningen av produktionssystemet för kapslar.
- Program för kvalificering /SKB 2006f/ anger förutsättningar för och identifierar mål och milstolpar för implementering och kvalificering av produktionssystemet.

Preliminär teknisk dokumentation

- Beskrivning av tillverkningsmetoder i produktionssystemet, kvalitets- och miljöledningssystem för kapseltillverkning samt kapselfabriken /SKB 2006c/.
- Beskrivning av svets tekniken vid förslutning av kapseln och svetsning av kopparbotten samt bakgrunden till valet av referensmetod för svetsning /SKB 2006d/.
- Beskrivning av provningstekniken för kvalitetskontroll av kapselns komponenter (denna rapport).
- Beskrivning av provningstekniken för kvalitetskontroll av förslutnings- och botten-svetsen /SKB 2006e/.



Figur 1-3. Rapporter i projekt Dokap.

Redovisningen av den preliminära tekniska dokumentationen har följande struktur:

- Identifikation av krav som ställs på system och processer. Viktiga krav härleds från konstruktionsförutsättningarna och kvalificeringsprogrammet.
- Tekniska beskrivningar av system och processer.
- Utvärdering av om de ställda kraven är uppfyllda.
- Presentation av handlingslinjer för att uppfylla krav och förutsättningar.

1.1 Denna rapport

Rapporten är en redovisning av processer för oförstörande provning av kapselkomponenter. Redovisningen ingår som en del i den preliminära tekniska dokumentationen som SKB presenterar.

SKB har valt att ta i drift egna processer och system för att kunna prova kapselns olika komponenter. Anledningen till detta beslut finns dokumenterat i /Ronneteg och Moberg 2003/, där olika leverantörers provningssystem finns beskrivna. Systemen för provning av komponenterna beräknas vara driftsatta under sommaren 2006. Eftersom denna rapport färdigställs innan färdigställandet och driftsättning ges en generell beskrivning. För information om provning av bottensvetsen hänvisas till rapporten /SKB 2006e/.

De första delarna i rapporten behandlar strategier och arbetssätt samt systematiserad kravhantering. Dokumentationen är inriktad mot preliminära tekniska lösningar och erfarenheter från försök med dessa. Slutligen presenteras även tillämpad utveckling, uppföljning av krav samt framtida handlingslinjer.

Rapporten har följande indelning:

- Kapitel 2 Presentation av strategier och arbetssätt, gällande arbetet med oförstörande provning av kapselkomponenter.
- Kapitel 3 Identifiering och beskrivning av de krav som ställs på processer för oförstörande provning av kapselkomponenter.
- Kapitel 4 Beskrivning av aktuella komponenter: kopparrör, kopparlock/botten samt sejärninsats.
- Kapitel 5 Val av preliminära provningsmetoder samt kort presentation av respektive metod.
- Kapitel 6 Sammanfattning av de erfarenheter som erhållits från utförd provning.
- Kapitel 7 Redogörelse för tillämpad utveckling samt forskning.
- Kapitel 8 Uppföljning av identifierade krav samt klargörande av hur olika krav ska hanteras och följas upp.
- Kapitel 9 Presentation av framtida handlingslinjer med avseende på olika aktiviteter och åtgärder som behöver utföras för att uppfylla identifierade krav.
- Kapitel 10 Allmänna kommentarer om den oförstörande provningen av kapselkomponenter.

2 Strategi och arbetssätt

SKB bedriver arbete med att utveckla samt demonstrera processer för seriemässig tillverkning och oförstörande provning av kapslar. Hittills har stor del av arbetet fokuserats mot utveckling av stabila tillverkningsprocesser. Inom området oförstörande provning (OFP) har arbetet fokuserats mot att identifiera lämpliga provningsmetoder.

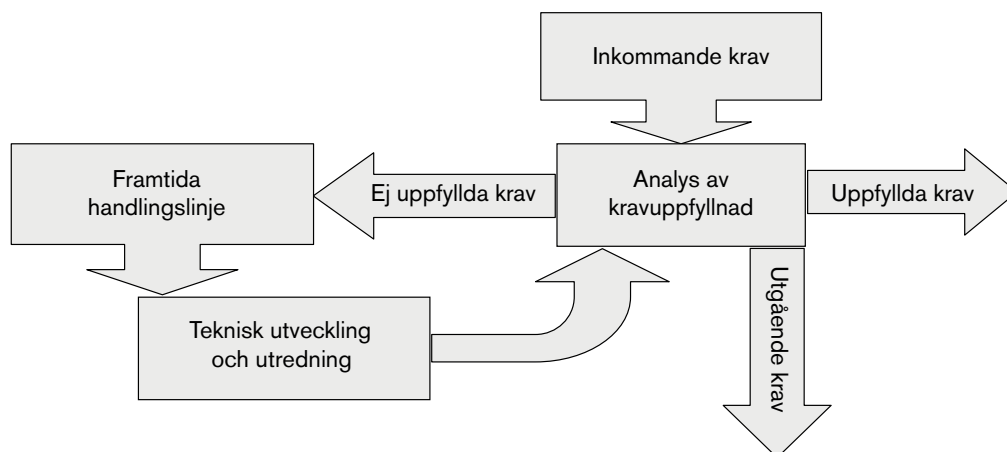
I samband med denna redovisning har en systematisk analys av de identifierade kraven genomförts. Figur 2-1 ger en översiktlig bild över hur denna analys har gjorts och hur SKB planerar att systematiskt utföra kommande arbeten. Ingående krav från olika intressenter identifieras och struktureras. Därefter analyseras till vilken grad kraven är uppfyllda. Eventuellt krävs utredningar och teknisk utveckling för att uppfylla kraven. I grunden är denna systematiserade kravhantering en iterativ process där en kontinuerlig analys utförs för att se om kraven är uppfyllda. Denna analys kan även resultera i krav på andra processer inom produktionssystemet, dessa benämns utgående krav.

I ett första skede gjordes en kartläggning av vilka provningsmetoder som används hos SKB:s leverantörer av kapselkomponenter /Ronneteg och Moberg 2003/. Denna kartläggning visade på brister och små möjligheter för utveckling av processer och system hos tillverkarna inom området oförstörande provning.

För att kunna genomföra planerade aktiviteter inom området oförstörande provning upprättas för närvarande resurser för provning av kopparrör, kopparlock/botten och segjärnsinsats vid Kapsellaboratoriet i Oskarshamn. Dessa system beräknar SKB att driftsätta under 2006.

Utifrån vad som tidigare nämnt i detta kapitel blir följande aktiviteter viktiga för verksamheten inom oförstörande provning av kapselkomponenterna:

- Testa och utveckla metoder för oförstörande provning av kapselkomponenterna.
- Ta fram provningsprocedurer och specifikationer för provningssystem.
- Prova kapselkomponenter och utvärdera resultaten.
- Utvärdera provningsmetodernas tillförlitlighet.
- Ta fram underlag för framtida system till kapseltillverkningen.



Figur 2-1. Kravhantering.

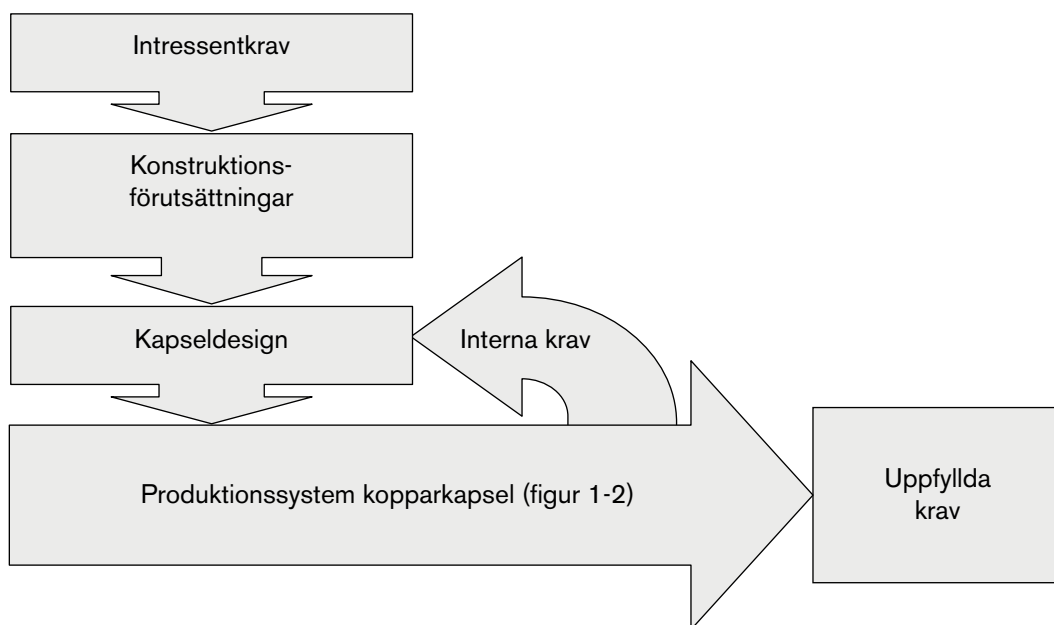
3 Förutsättningar och krav

För att säkerställa kapselns funktion i slutförvaret ställs krav på kapseln och dess ingående komponenter. Detta innebär att kapselkomponenterna ska kvalitetssäkras. En del i denna kvalitetssäkring är oförstörande provning. Kapselns komponenter består av olika material och har olika geometrier. Därför delas de in i kopparrör, kopparlock/botten, segjärnsinsats och övriga komponenter (stållock och bult till insatsen).

I gruppen övriga komponenter finns objekt som kan anses vara standardiserade och kan upphandlas mot certifikat. SKB har valt att fokusera utvecklingsinsatserna mot de kapselkomponenter som inte kan anses vara standardprodukter: kopparrör, kopparlock/botten och segjärnsinsatsen. Detta innebär att dessa objekt behandlas mer ingående i denna rapport. För mer information om komponenterna hänvisas till kapitel 4 där de beskrivs.

Arbetet med den systematiserade kravhanteringen har lett fram till att ett antal övergripande krav på den oförstörande provningen har identifierats. Dessa krav kommer från såväl kapselns delprocesser i produktionslinjen som från kapselns konstruktionsförutsättningar /SKB 2006b/ och system för kvalificering och kvalitetssäkring /SKB 2006f/. Hur dessa krav tas om hand redovisas i kapitel 8.

Kravhanteringsens flöde redogörs i figur 3-1. Konstruktions- och produktionsförutsättningarna ger en viss design av kapseln, dessa kommer också att ställa krav på produktionssystemet. Inom produktionssystemet kan vissa processer och system ge återkopplade krav, så kallade interna krav, till produktionsförutsättningarna.



Figur 3-1. Flöde för produktionssystemets krav.

3.1 Krav på framtida OFP-processer

Provningsen som ska utföras gäller för de kapselkomponenter som tidigare behandlats i inledningen: kopparrör, segjärnsinsats samt kopparlock/botten. I många fall är det frågan om detaljerade krav på provningen härledda från kapselns funktion. Även krav som kommer från framtida kvalificerings- och tillverkningsprocesser måste tas omhand. Kraven som ställs upp är relativt generella, vilket innebär att de är övergripande och gäller för alla kapselns komponenter, se tabell 3-1.

Tabell 3-1. Krav på framtida OFP-processer för kapselkomponenter.

Rubrik	Krav
Teknik	Metoder och system för att kontrollera kapselkomponenterna ska finnas.
Kvalitet	OFP ska kunna detektera samt storleks- och lägesbestämma möjliga diskontinuiteter i komponenterna så att konstruktionsförutsättningarna innehålls.
Tillförlitlighet	Detekteringssannolikheten och noggrannheten vid storleks- och lägesbestämning ska vara tillräcklig för att säkerställa att konstruktionsförutsättningarna innehålls.
Kapacitet och varaktighet	Processerna för OFP ska möta slutförvarssystemets krav på deponering av 1 kapsel per dag under lång tid, minst 60 år (konstruktionsförutsättning för inkapslingsanläggningen).
Uppfylla tillämpbara myndighetskrav	Processer och system ska kvalificeras enligt SKB:s ledningssystem för miljö- och kvalitet vari tillämpbara myndighetskrav kommer att ingå.

3.2 Krav från utvecklingsprojekt för tillverkning

Den provning som leverantörerna av kapselkomponenter utför kan inte ses som fullständig då den i många fall har brister /Ronneteg och Moberg 2003, SKB 2004/. När olika tillverkningsmetoder ska utvecklas och utvärderas krävs OFP-processer som kan ge information om erhållen tillverkningskvalitet och eventuell förekomst av diskontinuiteter.

Ett av kraven som då kommer från projekten för utveckling av tillverkningsprocesser är att provningen av komponenterna ska utföras tillförlitligt och kvalitetssäkrat. Orsaken till detta är för att säkerställa att tillförlitliga resultat levereras för korrekt utvärdering av de komponenter som tillverkas. Kapaciteten för OFP-processerna ska inte heller begränsa utvecklingen av tillverkningsprocesserna.

4 Kapselkomponenter

Enligt KBS-3-metoden, vilken är SKB:s huvudlinje för omhändertagande av använt kärnbränsle, ska en yttre korrosionsbarriär i form av en kopparkapsel och en bärande insats av segjärn användas. Detta kapitel kommer att behandla de olika komponenter som behövs för detta ändamål.

De komponenter som beskrivs är tillverkade enligt SKB:s referensmetoder:

- Extruderat kopparrör.
- Smitt lock och botten.
- Gjuten segjärnsinsats.

Sist i kapitlet behandlas även de komponenter, stållock och bult, vilka anses vara standardiserade. Tillverkning och kvalitetssäkring av dessa komponenter kan anses vara väl beprövade.

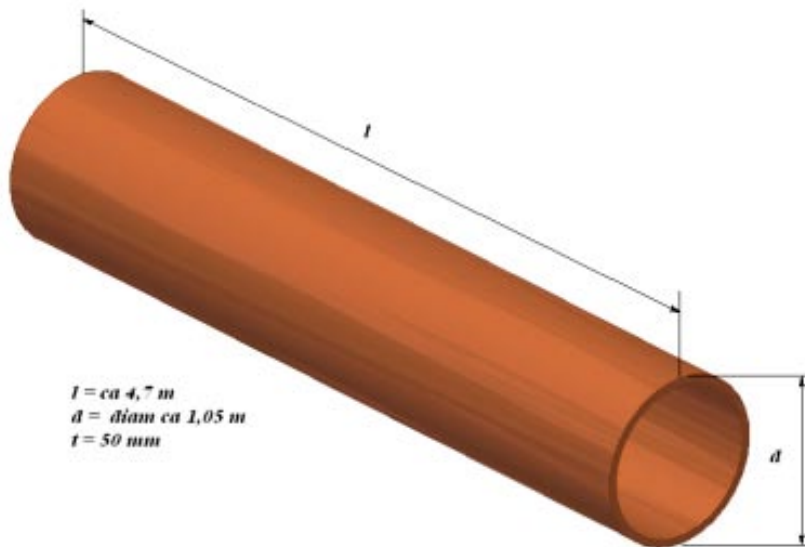
Ytterligare information om kapselkomponenterna och deras tillverkningsmetoder finns i rapporten /SKB 2006c/ medan bottensvetsen behandlas i rapporten /SKB 2006d/.

4.1 Kopparrör

Denna komponent har som funktion att vara korrosionsbarriär i slutförvaret. Ett krav på lyftsäkerhet ska även uppfyllas då den är komplett med insats och bränsle. Sömlösa kopparrör har tillverkas med tre alternativa metoder: extrudering, dornpressning och smide. Av dessa metoder har SKB valt extrudering som referensmetod. Då denna metod har valts kommer den integrerade botten som erhålls vid dornpressning att kunna exkluderas vid provning av kopparröret.

Krav på korrosionsbeständighet och svetsbarhet har resulterat i att SKB sammanställt tekniska specifikationer med speciella krav på kopparmaterialet. Någon direkt motsvarighet till detta kopparmaterial finns inte i svensk eller internationell standard. Materialet ska uppfylla kraven i EN 1976:1988 för CuOFE eller Cu OF1 med vissa tilläggskrav gällande sammansättning och förekomst av föroreningar /SKB 2006b/.

Kopparcylindern har en ytterdiameter på 1,05 m och en längd på ca 4,7 m, se figur 4-1.

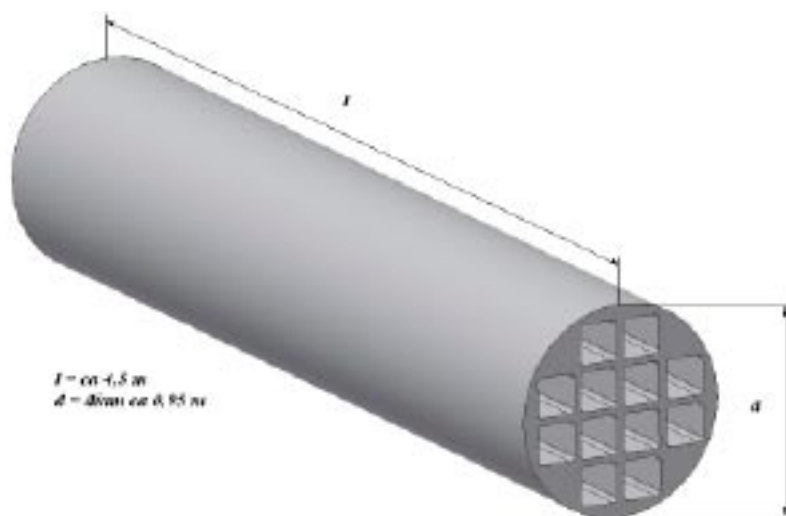


Figur 4-1. Principskiss över kopparröret.

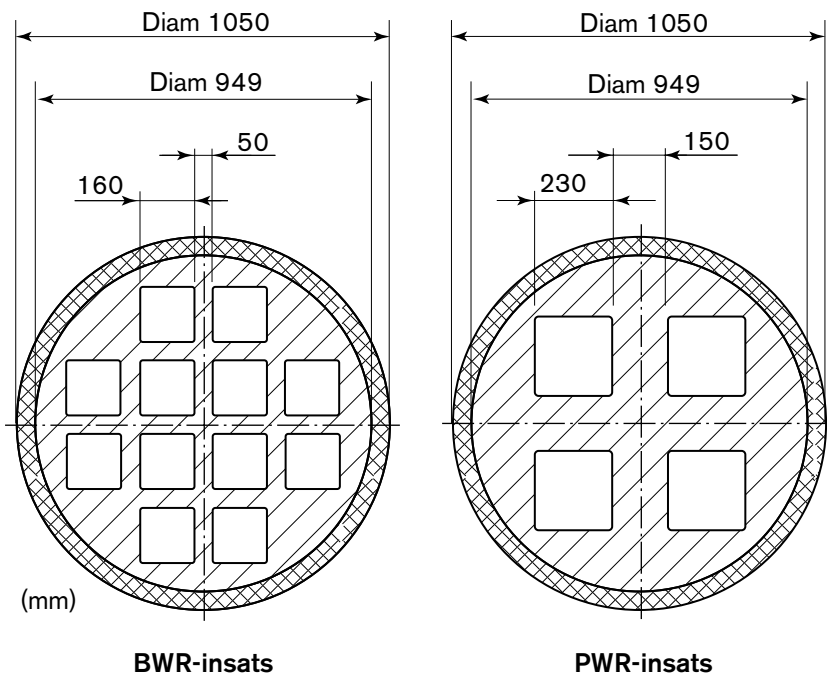
4.2 Segjärnsinsats

Segjärnsinsatsen har som funktion att upprätthålla kapselns mekaniska egenskaper. Insatsen (figur 4-2) tillverkas genom gjutning. Vissa tillverkare använder fallande gjutning medan andra använder stigande gjutning. Tillverkarna använder också olika typer av gjutformar.

Segjärnsinsatsen, vilken tillverkas i två utföranden, består i princip av två delar: kassett för bränsleelement och den gjutna omslutande delen. I figur 4-3 visas tvärsnitt av kapseln, insatsen för BWR-element innehåller 12 kanaler medan insatsen för PWR-element innehåller 4 kanaler. Kanalrören tillverkas av varmformad plåt som svetsas ihop till rätt dimensioner. Kanalrören svetsas samman till en kassett som sedan gjuts in i insatsen. Som en konservativ ansats anses inte kanalrören tillföra någon styvhet till konstruktionen och exkluderas därmed från provningen.



Figur 4-2. Principskiss av den gjutna insatsen.



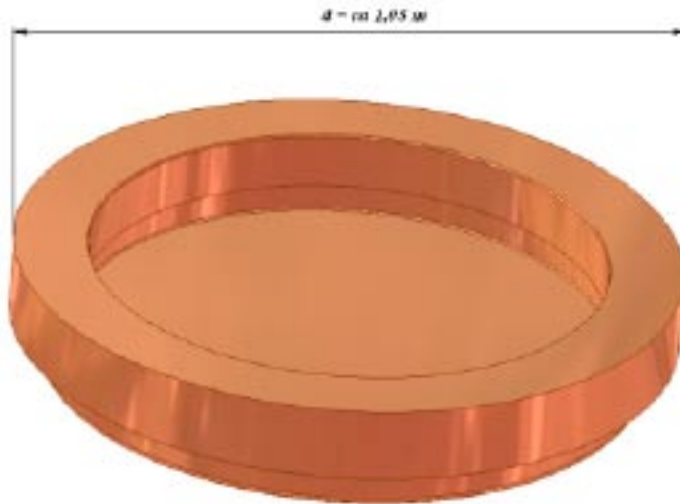
Figur 4-3. Tvärsnitt för BWR- respektive PWR-insats med 5 cm kopparhölje.

Vilket tidigare nämnts, används ett segjärn som material i insatsen. Detta material utvärderas utifrån mekaniska egenskaper genom dragprovning av provstavar som tagits ut på olika platser på insatsen samt vidgjutna provstavar. SKB har tagit fram en teknisk specifikation /SKB 2005/ för tillverkningen av dessa segjärnsinsatser. I den aktuella standarden SS-EN 1563 motsvaras detta segjärn av EN-GJS-400-15U, vilket är ett segjärn med enbart ferritisk grundmassa.

4.3 Kopparlock/botten

Kapselns kopparhölje består av ett kopparrör, extrudering ger ingen integrerad botten, med lock och botten som svetsas fast. Locket och botten ska ha samma kopparkvalitet som röret. Utformningen av locket och botten beror på vilken svetsmetod som kommer att användas. Tillverkningsmetoden för denna komponent är smidning. Efter smidningen sker en efterföljande maskinbearbetning till färdiga mått.

Figur 4-4 visar en principskiss på hur locket och botten har utformats. Skissen gäller för ett lock utformat för friktionssvetsning.



Figur 4-4. Principskiss på kopparlock avsett för friktionssvetsning.

4.4 Övriga komponenter

Några av komponenterna som ingår i kapseln anses vara standardiserade komponenter. Dessa har exkluderats ur tidigare resonemang då tillverkning och kvalitetssäkring av dessa kan anses som väl beprövade. Komponenterna, vilka behandlas mycket kort i detta kapitel är stållock och bult.

Efter det att bränsleelementen har lastats i kapseln ska ett stållock monteras för att hålla bränslet på plats. Detta lock skruvas då fast med hjälp av en centrumbult. Kraven på dessa komponenter finns angivna i SKB:s specifikationer /SKB 2005/.

5 Använda provmetoder

Kapitlet behandlar de metoder som i dagsläget har använts för provning av kapselkomponenterna. De system som SKB planerar att driftsätta under 2006 beskrivs i kapitel 7, då dessa i dagsläget anses vara tillämplig utveckling. Tekniskt finns det många fördelar med att använda ultraljud. Tillverkarna har i de flesta fall resurser för att hantera provning med ultraljud, dock med vissa tekniska begränsningar /Ronneteg och Moberg 2003/.

De metoder som har använts för provning av de olika komponenterna presenteras i tabell 5-1.

Det bör nämnas att hitintills har inga tillförlitlighetsstudier för dessa provningar utförts. Utgångspunkten har varit att bestämma vilka metoder som är lämpliga att använda vid provning av de olika komponenterna samt att undersöka vilka metoder som i nuläget används hos tillverkarna av liknande objekt.

Ett framtida provningsflöde /SKB 2006c/ innebära att leverantören av ett objekt gör en första kontroll med oförstörande provning (leveransk kontroll). I de flesta fall innebär det att objektet bör vara maskinbearbetat innan provningen så att ytorna är fria från partiklar som kan påverka provningen. Komponenter ska tillverkas kvalitetssäkrat och med kända parametrar inom ett processfönster. Om inte detta processfönster har innehållits vid tillverkningen ska inte objektet anses godkänt för vidare bearbetning och provning.

Tillverkarna levererar komponenter till Kapsel fabriken för bearbetning, kontroll och montage av kapslar. Vid mottagningen görs dokumentationskontroll, okulärbesiktning och kontrollmätning av komponenterna. Därefter bearbetas komponenterna. Provningen görs i ett skede som ger bästa möjliga förhållanden för den oförstörande provningen (kvalificerad provning), dvs komponenterna kan vara bearbetade till lämpliga geometrier dock inte färdigbearbetade.

Vid en grov jämförelse mellan olika metoder framstår ultraljud som den mest fördelaktiga att använda, i de flesta fall. Vid jämförelsen, som presenteras i tabell 5-2, har ett generellt angreppssätt använts och metoderna har jämförts utifrån ett antal parametrar som anses viktiga för att säkerställa kvalitet och kapacitet. Parametrarna är: automatisering och mekanisering, möjlighet till detektering av kritiska diskontinuiteter samt industriell användning.

Tabell 5-1. Använda metoder för oförstörande provning.

Komponent	Metod för oförstörande provning
Kopparrör	Ultraljud, med normalsökare och vinkelsökare i puls-eko (volym ¹).
Gjuten insats	Ultraljud, med normalsökare i puls-eko (volym ¹). Vissa försök med phased array ultraljud (volym ¹). Ultraljudprovning av området mellan kanalar i transmission (volym ¹). Penetrantprovning (yta ²).
Kopparlock/botten	Ultraljud med normalsökare i puls-eko (volym ¹). Vissa försök med phased array ultraljud (volym ¹). Penetrantprovning vid speciella diskontinuiteter (yta ²).
Bottensvets	Hänvisas till rapport R-06-06. Kort kan nämnas att Digital radiografering samt phased array ultraljud används (volym ¹).

¹ Provning av volymen i objektet. ² Provning av ytan gällande ytbrytande diskontinuiteter.

Parametern automatisering och mekanisering tar hänsyn till: möjlighet till mekanisering av metoden, geometriska faktorer för objekt som påverkar provningen samt möjlighet att anpassa system efter komponenten.

Parametern detektering av kritiska diskontinuiteter för metoden innebär att hänsyn tagits till de fall där kritiska diskontinuiteter är kända eller där preliminära kriterier möjliggör konservativa antaganden.

Industriell acceptans är den sista parametern och anger hur använd metoden är av industrin vid kontroll av liknande komponenter. Denna parameter ger också en indikation på hur utvecklingen har varit för provning av liknande objekt.

Ett kvalitativt omdöme har sedan utdelats (3 är bra, 2 är godkänt och 1 är inte bra) för respektive metod. De metoder som har använts vid jämförelsen är de fem vanligaste: ultraljud, röntgen, penetrant, visuell kontroll samt virvelström. En av förutsättningarna har varit att ta fram metoder som bygger på just konventionella tekniker. Erfarenheter från /Ronneteg och Moberg 2003/ och följande avsnitt 5.1.1–5.1.3 ligger till grund för sammanställningen i tabell 5-2.

Som framgår av tabell 5-2 är ultraljud den metod som fått bäst omdöme och därmed kan anses vara den lämpligaste metoden för provning av alla komponenter. Inom industrin används ultraljud i de flesta fall vid liknande provning vilket också framgår av tabellen. Andra metoder kan komma i fråga för att komplettera ultraljudprovningen av kapselkomponenter där denna har begränsningar.

Tabell 5-2. Jämförelse av olika metoder för oförstörande provning med avseende på parametrarna: automatisering och mekanisering (Auto/Mek), detektering av kritiska diskontinuiteter (DKD) samt industriell acceptans (Ind. acc.).

Komponent	Metod	Omdöme ¹⁾			Σ
		Auto/Mek	DKD	Ind. acc.	
Kopparrör	Ultraljud	3	3	3	9
	Röntgen	1	3	2	6
	Penetrantprovning	1	1	1	3
	Visuell kontroll	2	1	2	5
	Virvelström	3	1	1	5
Segjäminsats	Ultraljud	3	3	3	9
	Röntgen	1	3	2	6
	Penetrantprovning	1	1	1	3
	Visuell kontroll	2	1	2	5
	Virvelström	3	1	1	5
Kopparlock/ botten	Ultraljud	3	3	3	9
	Röntgen	2	3	2	7
	Penetrantprovning	1	1	1	3
	Visuell kontroll	2	1	1	4
	Virvelström	3	1	1	5

¹⁾ 3 är bra, 2 är godkänt och 1 är inte bra.

5.1 Ultraljud

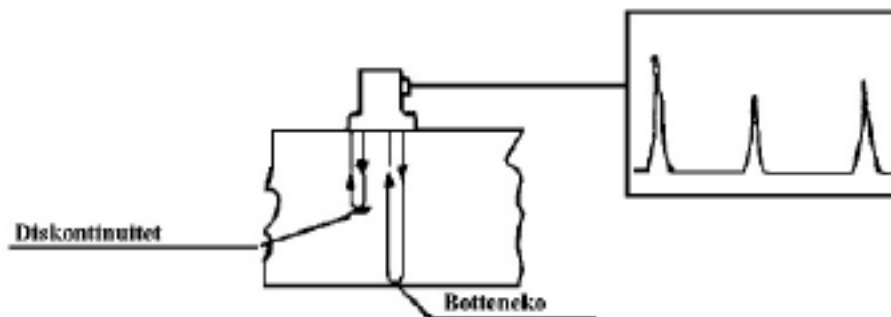
Ultraljudprovning är en metod för att finna diskontinuiteter i ytan eller invändigt i material. Principen bygger på att en elektrisk signal omvandlas till en mekanisk svängning eller ljudvåg då den träffar en piezoelektrisk kristall (sökaren). Ljudvågen sänds sedan in i provföremålet via ett kopplingsmedium och fortplantas genom provföremålet. Om ljudvågen träffar på en gränssyta mellan materialet och något annat medium (oftast en diskontinuitet) kommer en reflektion eller brytning av ljudvågorna att ske. Denna reflektion eller brytning används för att detektera olika förhållanden genom en omvänd omvandling av mekanisk svängning till elektrisk signal (piezoelektrisk kristall, sökaren).

Två olika provningsmetoder kan nämnas: puls-eko-metoden samt transmissionsmetoden.

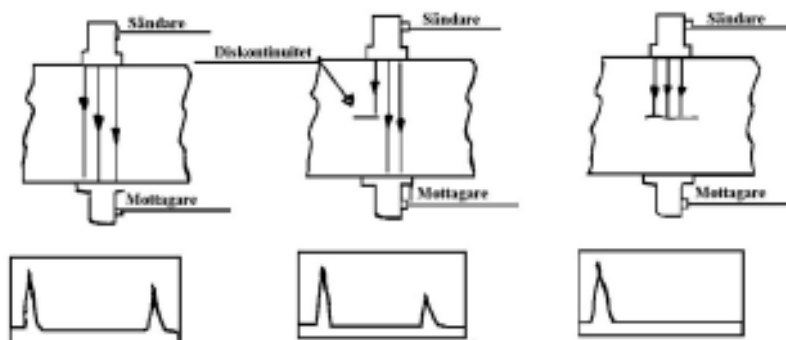
För puls-eko-metoden används en och samma sökare för att alstra ljudvågen samt att detektera den reflekterade ljudvågen, se figur 5-1. Ljudvågorna som sänds in i provföremål reflekteras antingen från motstående yta (botteneko) eller från diskontinuitet i ljudvågornas utbredning.

För transmissionsmetoden används två sökare, se figur 5-2, en som sänder ljudvågor i materialet och en som detekterar ljudvågor på provföremålets motstående yta. Diskontinuiteter hindrar ljudvågorna från att fortplantas helt eller delvis, beroende på dess storlek, så att mottagaren kan detektera vågorna.

Båda metoderna utgör grunderna till den ultraljudprovning som utförs på kapselkomponenterna. Även modernare metoder, till exempel phased array ultraljud, bygger på någon av dessa grundprinciper. Vidare bör noteras att dessa metoder oftast måste optimeras för det aktuella provningsfallet. Val som provningsfrekvens, sökare och dylikt bör beaktas.



Figur 5-1. Principen för puls-eko-metoden.



Figur 5-2. Principen för transmissionsmetoden.

5.1.1 Kopparrör

Röret har en rotationssymmetrisk form, vilket underlättar avsökningsförfarandet. I dagsläget kan röret provas hos leverantörerna, dock med begränsade tekniska möjligheter med hänsyn till utrustning. Vid Kapsellaboratoriet installeras en manipulator, kallad rotator, med en phased array-ultraljudutrustning under 2006, se kapitel 7.

Förutsättningen för provningen av röret är att det är maskinbearbetat. Den ytfinhet som krävs beror på vilken provningsmetod som användas. Provningskonfigurationer och rutiner som kommer att användas utvecklas för närvarande, se kapitel 7.

Kommentarer på provning av kopparrör:

- Diskontinuiteter som påverkar kopparhöljets tjocklek kan anses vara kritiska. Diskontinuiteter med en radiell utbredning är mest intressanta. Metoder som enbart detekterar ytbrytande diskontinuiteter är ej användbara (penetrant, visuell kontroll).
- Möjligheten att på ett korrekt sätt storleksutvärdera diskontinuiteter med en radiell utbredning ska prioriteras. Detta innebär att ultraljud kommer att vara primär provningsmetod.
- För konventionell röntgen kan svårigheter uppstå med att penetrera koppertjockleken och att storleksbedöma eventuella diskontinuiteter i axiell led. Vidare innebär röntgen långa tider för provning samt vissa svårigheter att automatisera.

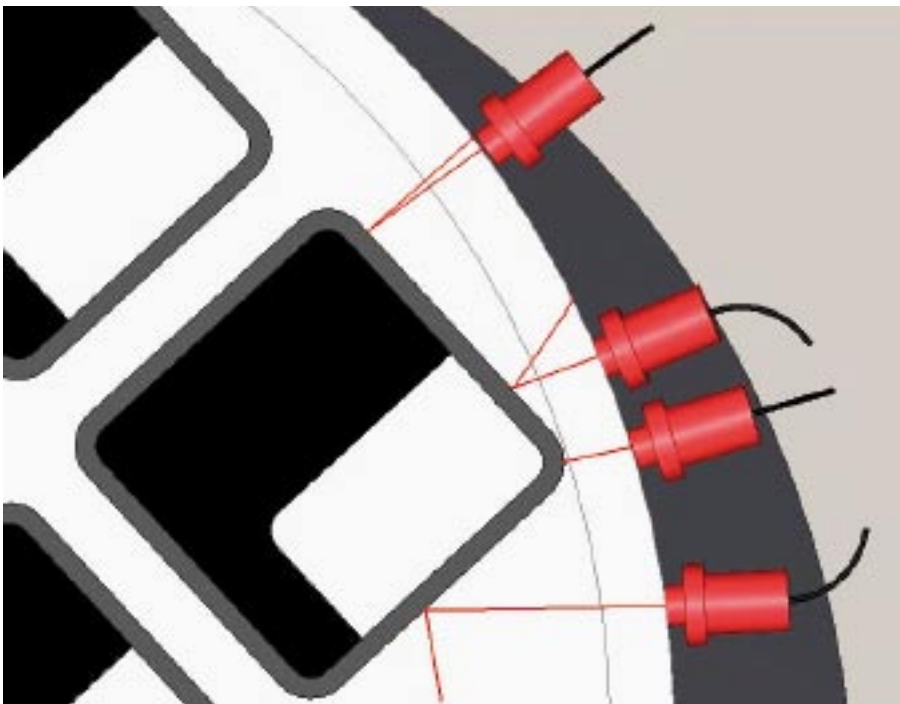
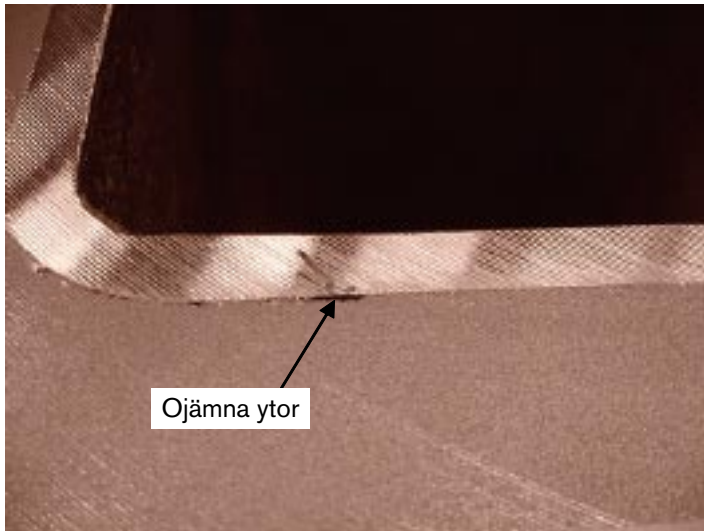
5.1.2 Gjuten segjärnsinsats

För insatsen gäller liknande förutsättningar som för kopparröret. Rotationssymmetrin är möjlig att utnyttja vid avsökningen. Komponenten bör indelas i minst 3–4 olika områden avseende provning med ultraljud. Det finns ingen möjlighet att prova till exempel områden mellan kanälrören med puls-eko-metod. En puls-eko-teknik är dock lämplig för de yttre områdena. Geometrin för insatsen gör att det inte är möjligt att erhålla något botteneko inom vissa områden. Vidare kan nämnas att de ytor där reflektion kan erhållas oftast inte är perfekta reflektorer, vilket bidrar till bottenekoreduktion eller att analys av bottenekot inte är möjligt, se figur 5-3.

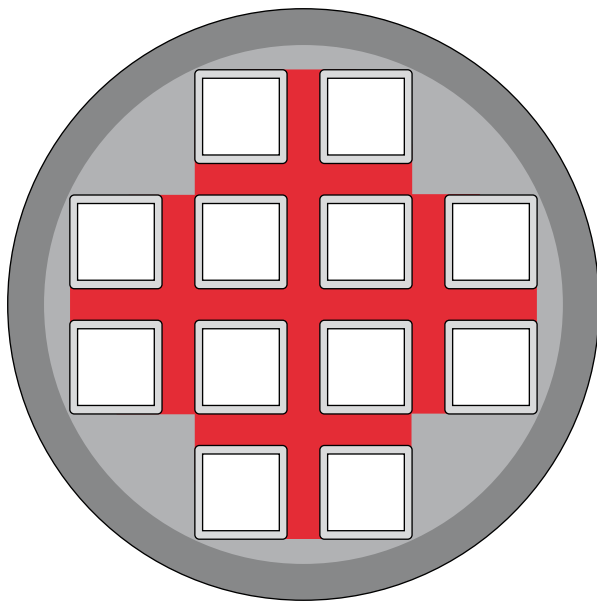
Hos gjuterierna har en manuell eller semimanuell ultraljudprovning utförts. Denna provning har inriktats på de yttersta 50 mm från mantelytan. Metoden som använts har varit en puls-eko-metod med dubbelkristallsökare. Dubbelkristallsökaren möjliggör undersökning av området nära mantelytan och stöds av SS-EN 12680-3 /Svensk Standard 2003/.

Vid arbetet med en probabilistisk analys av kapselhållfastheten /Andersson et al. 2005/, utfördes mer ingående provning av tre insatser från tre gjuterier. Insatserna provades då enligt figur 5-4. Provningen utfördes inte utmed insatsens hela längd utan vid vissa 50 mm intervaller. Vid provningen var frekvensen för dubbelkristallsökaren 2 MHz och för enkelkristallsökarna 1 MHz.

Resultatet visade på att konventionellt ultraljud kan användas för att detektera diskontinuiteter i insatsen. Vidare visade transmissionstekniken på möjligheter att detektera diskontinuiteter i området mellan kanälrören. För provning med transmissions-tekniken användes två wedgar till sökarna. Transmissionstekniken samt skiss över wedgarna visas i figur 5-5.

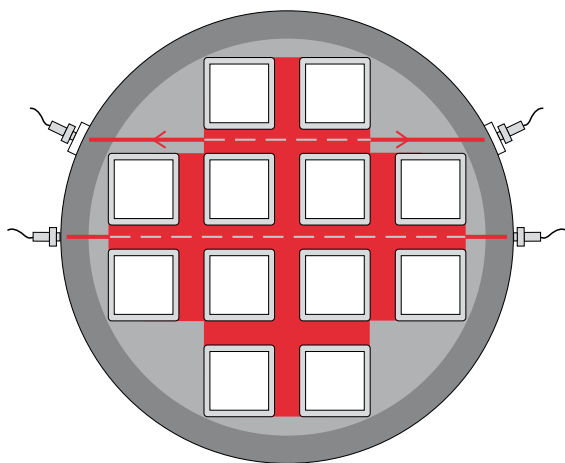


Figur 5-3. Bild över kanalrör och segjärnet samt geometriska förhållanden för botteneko.

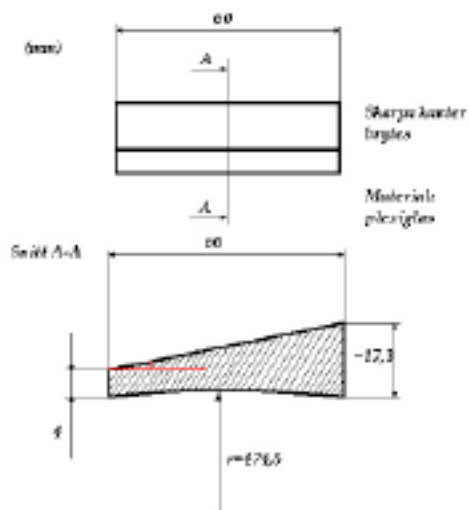


- Dubbelkristallsökare, puls-eko
- Enkelkristallsökare, puls-eko
- Enkelkristallsökare, transmission

Figur 5-4. Skiss över provningsmetod/område för insatsen.



- Ljudväg
- Enkelkristallsökare, transmission



Figur 5-5. Transmissionstekniken samt skiss av wedge.

Kommentarer på provning av segjärnsinsatser:

- Diskontinuiteter som påverkar segjärnsinsatsens tryckhållfasthet kan anses som kritiska. Metoder som enbart detekterar ytbrytande diskontinuiteter är ej användbara. För insatsen finns ännu inga specifikationer över kritiska diskontinuiteter framtagna. Detta försvårar valet av angreppssätt för provningen. Se kapitel 9.
- För konventionell röntgen kan svårigheter uppstå med att penetrera tjockleken och att storleksutvärdera eventuella diskontinuiteter. Vidare innebär röntgen långa tider för provning samt vissa svårigheter att automatisera. Dock kan vissa områden bli intressanta med denna metod beroende av resultat från diskontinuitetsstudier.

5.1.3 Kopparlock/botten

Efter att smidningen är utförd maskinbearbetas lock/botten till ett grovbearbetat tillstånd för att möjliggöra så bra provningsförutsättningar som möjligt, se figur 5-6. Genom detta erhålls:

- Relativt fin ytfinhet (kan dock ändras till finare yta om behov finns).
- Geometrin medför enklare provningskonfigurationer.

Inga lock eller botten har hittills provats seriemässigt. Arbete pågår med att ta fram metoder och utrustning för denna provning, se kapitel 7.

Provningen av förslutningssvetsen och botten svetsen kommer ställa krav på att det inte finns några diskontinuiteter inom de områden av lock eller botten som kan påverka provningen av svetsarna. Detta innebär att vissa processkrav kommer att ställas som troligen är mer kritiska än de som redovisas i konstruktionsförutsättningarna för kapseln /SKB 2006b/.

Kommentarer till provning av kopparlock/botten:

- Diskontinuiteter som påverkar kopparhöljets tjocklek, indirekt dess koppartäckning, kan anses vara kritiska. Diskontinuiteter med en radiell/axiell (beroende av position i locket/botten) utbredning är av störst intresse. Metoder som enbart detekterar ytbrytande diskontinuiteter är ej användbara (penetrant, visuell inspektion).
- Möjligheten att på ett korrekt sätt storleksutvärdera diskontinuiteter med en radiell/axiell (beroende av position i locket/botten) utbredning ska prioriteras. Detta innebär att ultraljud och röntgen kommer att vara primära provningsmetoder.
- För röntgen kan svårigheter uppstå med att penetrera koppartjockleken och att storleksbedöma eventuella diskontinuiteter i olika riktningar. Vidare innebär röntgen långa tider för provning.



Figur 5-6. Figur över tänkt geometri för provning av lock/botten.

5.2 Penetrant

Penetrantmetoden används för att finna diskontinuiteter som är öppna mot ytan. Metoden kräver således att en diskontinuitet är ytbrytande, annars kommer denna metod inte att indikera diskontinuiteten. Principen bakom metoden är enkel då den bygger på att en vätska med mycket hög viskositet tillåts penetrera ihåligheter i ytan. Denna vätska kommer sedan att med hjälp av en annan ännu mer viskös vätska att tryckas upp ur håligheter och därigenom indikera till exempel ytbrytande sprickor.

Anledningen till att metoden behandlas i detta kapitel är att den har använts som komplement vid utvärdering av olika komponenters kvalitet. Metoden kommer troligen inte att användas vid serieproduktion eftersom det inte finns några specifika krav på att ytan på någon komponent ska vara fri från diskontinuiteter. Erfarenheter från denna provningsmetod redovisas i kapitel 6.

Penetrant har använts vid provning av koppargöt. Efter det att götet har stelnat och kapats har penetrantprovning utförts för att förstärka den visuella kontrollen. Metoden har påvisat förekomst av sprickor i koppargöt.

6 Erfarenheter från provtillverkning

I en lägesrapport för kapseltillverkning /Andersson et al. 2004/ finns en redogörelse för hur de olika tillverkningsprocesserna utvecklats och studerats. Samtidigt beskrivs också det aktuella läget (fram till 2004) för vad som har gjorts gällande oförstörande provning. Komponenttillverkningen samt framtida handlingslinjer inom det området finns rapporterat i /SKB 2006c/.

För de komponenter som har tillverkats har mestadels ultraljud använts för provning av objekten. Även penetrant provning och digital radiografering har använts i begränsad omfattning.

6.1 Provmetoder

Följande avsnitt redogör för erfarenheterna från den provning som utförts för respektive komponent.

6.1.1 Kopparrör

Kopparrör tillverkat med extrudering har undersökts av leverantören med ultraljud. Den provning som utfördes var tekniskt begränsad då endast avsökning med normalsökare var möjlig. En annan leverantör, som dornpressar kopparrör, har genomfört en mer omfattande ultraljudprovning. Ingen av dessa provningar har visat på någon förekomst av diskontinuiteter i kopparrörets volym utmed mantelytan. På det kopparrör som har integrerad botten (dornpressning) har diskontinuiteter detekterats i just bottendelen.

Vid provningen av rören har inget kvalitetssäkrat referensmaterial använts för att säkerställa provningen. Vid Kapsellaboratoriet har därför en referens kropp tillverkats. Denna kropp innehåller flatbottenhål (FBH), cylinderborrhål (CBH) samt spår i olika dimensioner och är tänkt att användas vid framtida provning. I vissa fall kan även metoden för justering av ultraljudsystemen kritiseras då denna sker statiskt (utan rörelse) medan provningen sker vid ett dynamiskt förlopp (med rörelse).

6.1.2 Kopparlock/botten

Begränsade försök har utförts med såväl konventionell ultraljudsteknik som phased array-teknik för att prova lock/botten. Dessa första försök gjordes utan att ultraljudsparametrar eller system optimerats, vilket inte ger resultat av fullgod kvalitet. För närvarande anskaffas resurser för provning vid Kapsellaboratoriet, se kapitel 7. Vissa delar av locken har provats indirekt med ultraljud och digital radiografering då den provning av svetsar som utförts vid Kapsellaboratoriet inte bara tar hand om själva svetsen utan även området runt omkring den.

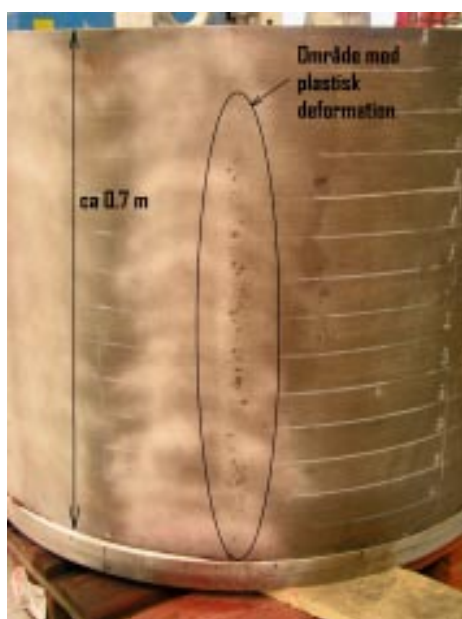
6.1.3 Segjärnsinsats

Även för segjärnsinsatsen har mestadels ultraljud använts som oförstörande provningsmetod. I avsnitt 5.1.2 redogörs för vilka metoder som har utprovats. Erfarenheterna från kontroll av insatsen visar på vissa svårigheter med ultraljudprovning.

- Utvärdering med hjälp av bottenkoreduktion är ej möjlig. Insatsens geometri samt en ojämn yta som ljudvågen reflekteras mot bidrar till detta.
- Kanalrörens placering är ibland inte helt centrerad, vilket leder till svårigheter vid en automatiserad transmissionsprovning. Vid transmissionsprovning utvärderas den ljudvåg som transmitteras genom materialet. Om kanalrörens placering har förskjutits kan detta innebära problem. I vissa fall kan problemet åtgärdas om ett system används som håller reda på kanalrörens placering och återger data till transmissionssystemet. Det finns även andra lösningar på detta problem.
- De stagplåtar som håller samman kanalrören innan och under gjutningen bildar en zon som inte är möjlig att prova med transmissionsmetoden, i de fall då det inte finns någon bindning mellan plåt och segjärn.
- Diskontinuiteter i segjärn är i vissa fall inte möjliga att detektera med puls-eko-metoden med normalsökare. Detta för att deras geometri reflekterar iväg ljudvågen istället för att reflektera tillbaka den till sökaren. I kombination med första punkten blir detta också ett problem för konventionellt ultraljud enligt SS-EN 12680-3 där bottenkoreduktion används.
- Ultraljudsprovning och förstörande prov har visat att materialstrukturen varierar utefter insatsens längd. Detta påverkar villkoren för ultraljudsprovningen.
- Flera typer av provningar bör användas för att kartlägga insatsen fullständigt. Ingen enstaka provning anses fullständigt kunna prova objektet.

Ytor som det har funnits fysisk åtkomst till har under arbetet med probabilistisk analys av kapselhållfastheten /Andersson et al. 2005, Nilsson et al. 2005, Dillström 2005/ provats med penetrant. Denna metod har använts för att se eventuell spricktillväxt/uppkomst under de tryckprov som utförts. Metoden har indikerat på tydlig uppkomst av sprickor i ytzoner. Även vissa skivor av insatsen har studerats med hjälp av denna metod.

Efter att de tryckprovade insatserna hade utsatts för tryck var det möjligt att detektera zoner med plastisk deformation med penetrant. Dessa zoner fanns utmed ett specifikt område på insatsen, se figur 6-1. Notera dock att denna plastiska deformation först skedde då insatsens dimensionerade tryck hade överskridits cirka tre gånger.



Figur 6-1. Fotografi över plastisk deformation i ytzon efter belastning, tre gånger designtrycket.

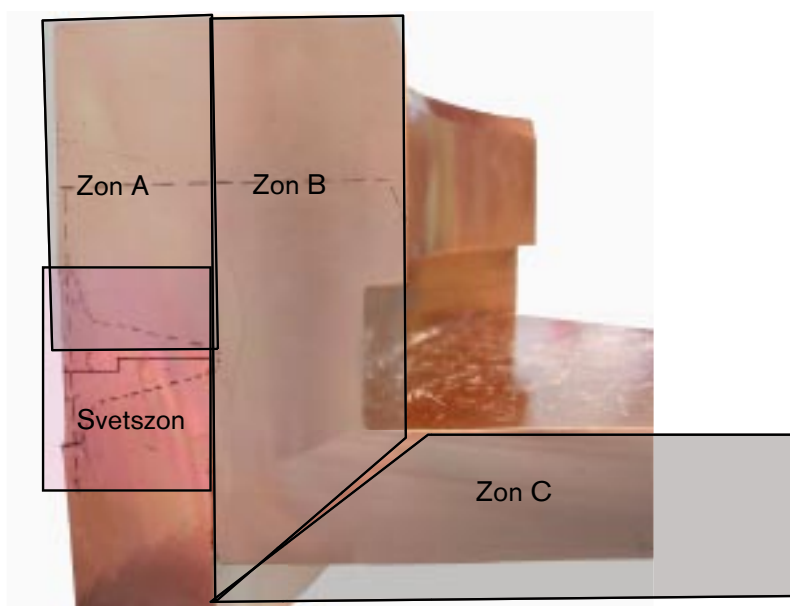
6.2 Diskontinuiteter

Ingen fullständig provning har utförts av de komponenter som har tillverkats på grund av att utvecklade metoder saknats. Därför saknas det också en fullständig redovisning av vilka diskontinuiteter som förekommer i kapselkomponenterna. De erfarenheter som finns om diskontinuiteter i komponenterna redovisas i /SKB 2006c/.

6.2.1 Kopparkomponenter

Provningsen av svetsar som utförts vid Kapsellaboratoriet har indirekt inneburit provning av delar av kopparkomponenterna. För att åskådliggöra vilka delar som har provats har en indelning av locket gjorts, se figur 6-2.

Ungefärlig mängd provningar vid Kapsellaboratoriet redovisas i tabell 6-1.



Figur 6-2. Indelning av locket i olika zoner. Svetszon markerad med rött.

Tabell 6-1. Zonindelning samt provningsomfattning.

Zon (se figur 6-2)	Provning samt omfattning ¹
A	Digital radiografering av ca 50 % av zonen. 100 lock. 200 makroprover av EBW-svets där ca 30 % av zonen täcks in.
B	Digital radiografering av ca 40 % av zonen. 100 lock. 200 makroprover av EBW-svets där ca 35 % av zonen täcks in.
C	Ingen utförd provning inom detta område av locket.

¹ Omfattningen i % på zonen tvärsnittsarea enligt figur 6-2.

Ungefär 1 % av hela rörets längd i änden har provats med digital radiografering. Inga diskontinuiteter har indikerats i grundmaterialet (kopparrör och kopparlock). Omfattningen av denna provning är cirka 50 stycken extruderade rörbitar.

Vid maskinbearbetning av kopparlocket har en typ av diskontinuitet varit möjlig att indikera i kopparmaterialet (gäller kopparlocket), denna benämns slagginneslutning /SKB 2006c/. Provningarna som utförts hos leverantörerna av kapselkomponenterna visar på att förekomsten av diskontinuiteter i kopparmaterialet är låg. Mycket få diskontinuiteter har påvisats i kopparrörets volym utmed mantelytan. Detta resultat stöds även av den indirekta provning som utförts vid Kapsellaboratoriet.

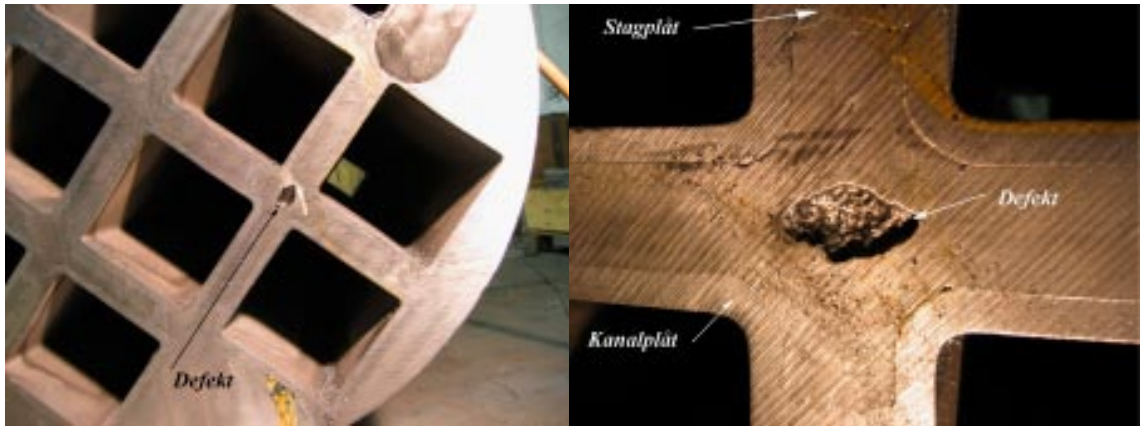
6.2.2 Segjärnsinsatsen

Den gjutna insatsen har provats mer seriemässigt och därför finns också mer underlag för vilka diskontinuiteter som kan förekomma. I denna rapport redovisas de diskontinuiteter som har kunnat påvisas med oförstörande provning under arbetet med en probabilistisk analys av kapselns hållfasthet /Andersson et al. 2005/. De kontrollmetoder som har använts presenteras i kapitel 5. Diskontinuiteterna som har detekterats kan delas in i tre olika grupper /SKB 2006c/: sugning, sugningsporer samt felaktig grafitform. Den sistnämnda är svår att detektera med ultraljud, dock pågår försök för att bestämma nodulariteten (se avsnitt 7.1.2). Vid transmissionsprovningen kunde insatsens materialkvalitet grovt bestämmas och resultatet visade på god överensstämmelse med de materialanalyser som sedan utfördes i den probabilistiska analysen /Andersson et al. 2005/. Metoden att med transmissionsprovning bestämma insatsens materialkvalitet anses dock som grov.

I en insats (I25) detekterades en relativt stor sugning med transmissionsmetoden, se figur 6-3ab. Resultatet visar att metoden har möjligheter att användas vid mekaniserad provning om vissa aspekter beaktas vid mekaniseringen, se avsnitt 5.1.2.

Sugningsporer har också detekterats med transmissionsmetoden. Notera att transmissionsmetoden inte ger någon möjlighet att fullständigt karakterisera diskontinuiteten. Metoden har bara möjlighet till detektering. Vid tryckprovningarna var det möjligt att studera de områden som hade bedömts intressanta. I dessa områden erhöles indikationer på diskontinuiteter i tryckprov 1 med både transmissionsmetoden och puls-eko-metoden. I uppkapade snitt utfördes sedan penetrantprovning för att förstärka den visuella kontrollen. I figur 6-4 visas några områden som visade på sugningsporer.

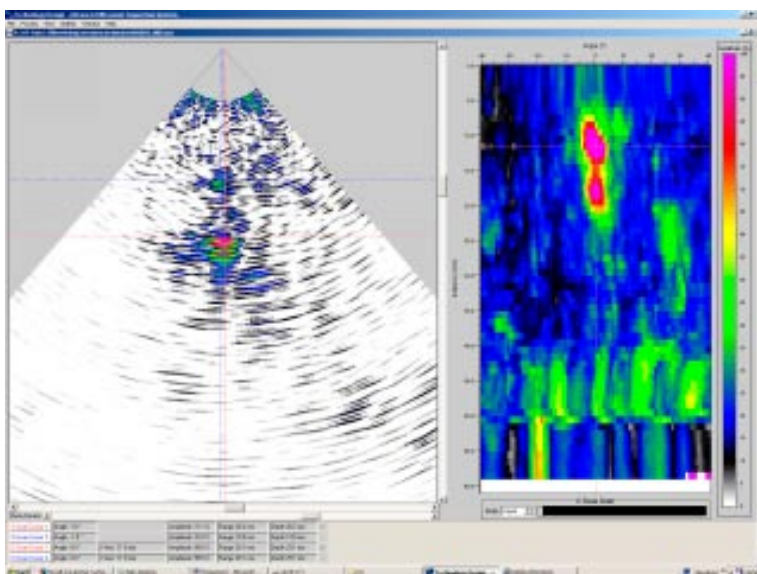
I en av insatserna som tryckprovades (tryckprov 1 i Probabilistisk Analys /Andersson et al. 2005) fanns det ett område i de yttre homogena delarna där en större diskontinuitet (sugning) indikerades. Denna detekterades med konventionellt ultraljud, dessutom användes phased array-teknik för att studera den mer ingående, se figur 6-5.



Figur 6-3. Sugning mellan kanalrören i I25.



Figur 6-4. Penetrantprovning vid ett kapningsnitt för insats I26. Vänster bild visar på sugningsporer mellan kanalrören medan höger bild visar på indikationer i de yttre homogena delarna (dessa diskontinuiteter var dock relativt små).



Figur 6-5. Sektorscanning med phased array-teknik av större indikation på diskontinuiteter i tryckprov I.

6.3 Praktiska aspekter

Vid automatiserad provning av komponenterna underlättas avsökningen av deras rotations-symmetri. Vid ultraljudprovningen är det viktigt att god kontakt erhålls mellan probe och objekt. För kopparröret finns det möjlighet att använda botteneko som en indikator på om god kontakt erhålls. Detta gäller inte för insatsen då det enligt resonemanget tidigare inte finns någon lämplig signal. Vidare bör inte vatten användas som kontaktmedel vid provning av insatsen på grund av korrosionsrisken. I detta fall bör något korrosionshämmande medel användas. Praktiskt kan detta innebära en mindre viskös vätska som också blir svårare att mata fram till probe eller wedge.

Komponenterna som ska provas är stora, vilket medför följande problem vid manuell provning:

- Tidsåtgång, manuell provning är oftast inte lika snabb som automatiserad.
- Stora objekt innebär oftast sämre tillförlitlighet i provningen då operatörens koncentration försämras efter en viss tid.

Oförstörande provning av kopparrör och segjärnsinsats bör därför automatiseras och mekaniseras. Detta för att både minska tidsåtgången för provningen samt att säkerställa att tillförlitligheten vid undersökning blir tillfredsställande och repeterbar.

Provning av lock och botten kan till exempel underlättas om de provas med ultraljud i ett grovbearbetat tillstånd. Efter att lock och botten har bearbetats till slutlig form blir det svårt att prova 100 % av objektet, då det finns många olika faser och komplicerade former som stör provningen.

I tabell 6-2 redogörs för det tillstånd som önskas på komponenterna för att förenkla provningen.

Tabell 6-2. Önskat tillstånd för provning av respektive komponent.

Komponent	Tillstånd	Provningsmetod
Kopparrör	Maskinbearbetat tillstånd ¹ med en yta som är tillräckligt fin för en framtida ultraljudprovning.	Ultraljud
Gjuten insats	Maskinbearbetat tillstånd ¹ med en yta som är tillräckligt fin för en framtida ultraljudprovning.	Ultraljud
Kopparlock/ botten	Maskinbearbetat tillstånd ¹ , med en lämplig form, med en yta som är tillräckligt fin för en framtida ultraljudprovning.	Ultraljud
Bottensvets	Hänvisas till rapporten /SKB 2006e/.	Ultraljud

¹ Se kapitel 5 för mer specifik information angående önskad form.

7 Utveckling och forskning

Kapselns komponenter kommer att provas i automatiserade maskiner. Automatiserad provning har vid flertalet studier visat sig överlägsen manuell avsökning. Speciellt gäller detta för stora och mycket stora provobjekt. Därför planerar SKB att automatisera provningen så långt som möjligt. En rotator har tillverkats och är tänkt att användas för provning av kopparrör och yttre delar av segjärnsinsatsen.

Detta kapitel beskriver den tillämpade utveckling inom OFP som pågår för respektive komponent. Vilket tidigare nämnts pågår arbete med att fastställa de preliminära provningskonfigurationerna för de olika kapselkomponenterna. Arbetet med de preliminära provningskonfigurationerna planeras att slutföras under 2006.

7.1 Utveckling av provmetoder

7.1.1 Kopparrör

De krav som ställs på kopparröret innebär att utvecklingen bör fokuseras mot snabb provning som klarar att detektera kritiska diskontinuiteter med hög tillförlitlighet. För att minska provningstiden för ultraljudsprovning kan phased array användas. Detta ger möjligheten att med en sökare avsöka ett område med linjär scanning. Vidare ger phased array-tekniken möjligheter till andra funktioner.

På Kapsellaboratoriet har det bedrivits utveckling inom phased array-teknik inriktad mot kontroll av förslutningssvetsar sedan 1998. Mycket kunskap har hämtats in om ultraljudstekniken för kontroll av tjock koppar. Förutsättningarna för provning av kopparröret liknar mycket de förutsättningar som finns för provning av förslutningssvetsen. Den största skillnaden är olika materialtjocklek i provningsområdet.

Metodutveckling

Phased array-systemet som finns vid Kapsellaboratoriet /SKB 2006e/ innehar i stort sett de specifikationer som krävs för provning av röret. En funktion som saknades var dock möjlighet till en rationell avsökning, vilket resulterade i att systemet nyligen har uppgraderats. Studier har bedrivits vid Kapsellaboratoriet om vilken provningsfrekvens som ger bäst detekterbarhet i kopparmaterialet /Ronneteg och Moberg 2003/. 5 MHz har visat sig ge en bra kombination av detekteringsförmåga och möjlig genomträngning av kopparmaterial då longitudinella vågor används.

När provningsutrustningen för röret är färdigställd och testad kommer rutiner att fastställas för provningen. Spårbart, väl definierat samt karakteriserat referensmaterial kommer att användas vid provningen för att säkerställa en repeterbar provning med tillräcklig tillförlitlighet för att detektera kritiska diskontinuiteter /Svensk Standard 1999/.

I många fall är immersion, det vill säga provning i vätska, det optimala att använda då det finns risk för kontaktproblem vid provning. En immersionstub (figur 7-1) har därför utvecklats av SKB för att eliminera många problem relaterade till kontakt mellan objekt och probe. Befintliga arrayprober som finns för phased array-systemet är inte optimerade för provning av koppar med tjocklek inom intervallet 0–50 mm. Även detta är möjligt att åtgärda om immersionstuben används, då avståndet mellan probe och objekt är möjligt att justera.



Figur 7-1. Fotografi på immersionstubb för phased array-provning.

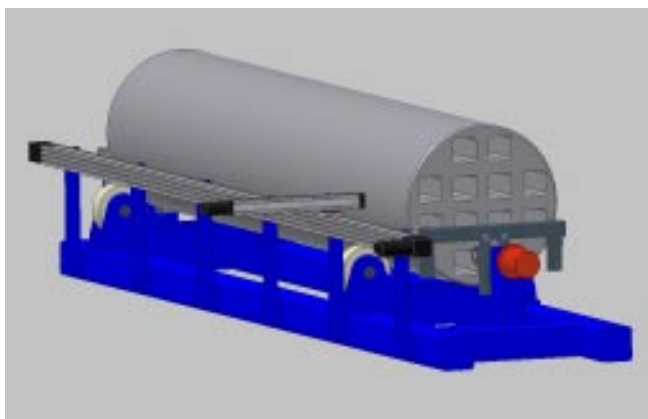
Mekanisering

Vid provningen av kopparröret kan dess rotationssymmetri utnyttjas för att underlätta avsökningsförfarandet. En rotator som levererades i februari 2006 kommer att användas för att rotera objektet. På denna rotator finns axlar i axiell samt radiell led som möjliggör förflyttning av en fixtur. Rotatorn är försedd med encodrar i alla de tre rörelseriktningarna, axiell, radiell och rotation, för att kunna avläsa rätt position på objektet som provas. Kopplingsmediet för detta objekt är vatten då det har rätt viskositet för att underlätta frammatning till immersionstubb, ger bra koppling mellan probe och objekt samt påverkar inte kopparmaterialet negativt.

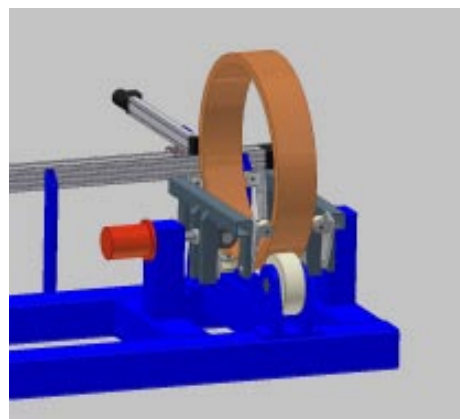
Vid beställningen fastställdes ett antal krav på rotatorn, bland annat generella krav (hantering/kontaktmedel/korrosion), dimension- och viktkrav, rörelserelaterade krav samt krav på styrsystem och kontrollsystem. Kravuppfyllnaden kontrollerades sedan i en ”factory acceptance test” (FAT) och en ”site acceptance test” (SAT). Figur 7-2 visar några skisser och fotografier på rotatorn.

Ett PLC-system (Programmable Logic Controller) kommer att användas som styrsystem. Detta styrsystem reglerar kontrollen av rörelserna och avsökningsprogrammen. Ultraljudsystemet registrerar positionerna vid avsökning samt insamlad ultraljuddata.

En fixtur har tagits fram för att möjliggöra provning med rotatorn. Fixturen har som funktion att se till att kontakten mellan sökare och objekt säkerställs samt att kopplingsmediet matas fram till kontaktytan. Immersionstubben i figur 7-1 är en del av denna fixtur. Systemet med rotatorn har anpassats så att det befintliga phased array-systemet vid Kapsellaboratoriet kan använda provningsriggen.



Sidvy över rotatorn.



Sidvy över provning av ring.



Fotografi snett från sidan.



Fotografi från sidan.

Figur 7-2. Skisser och fotografier på rotatorn.

7.1.2 Gjuten segjärnsinsats

Kraven på ett provningssystem för den gjutna insatsen liknar de krav som ställs på systemet för provning av kopparröret. Objekten har liknande yttre geometri med rotationssymmetrisk form. En stor skillnad är metodiken för kontroll av segjärnsinsatsens inre volym.

Metodutveckling

Rotatorn är specificerad så att både insatsen och kopparröret kan provas i riggen. Själva provningskonfigurationen kommer dock att skilja i de båda fallen. Med stor sannolikhet kommer inte kraven på tillåtna diskontinuiteter vara samma i hela insatsen. Detta leder också till att flera olika provningskonfigurationer kommer att användas för insatsen. Ansatsen i figur 5-5 kan bli användbar då det gäller zonindelningen.

Transmissionsmetoden har visat sig kunna detektera sugningar i insatsen men det föreligger svårigheter med att karakterisera och särskilja olika diskontinuiteter. Vidare har stagplåtarna som används vid tillverkning och gjutning visat sig innebära begränsningar då de hindrar

transmission av ljudvågen. Därmed bör denna metod utredas närmare vad gällande detekteringsförmåga och begränsningar. Metoden borde vara möjlig att implementera i någon form på rotatorn.

När provningsutrustningen för insatsen och kopparröret är färdigställd och testad kommer rutiner att fastställas för provningen. Spårbart, väl definierat samt karakteriserat referensmaterial kommer att användas vid provningen för att säkerställa en repeterbar provning med tillräcklig tillförlitlighet för att detektera kritiska diskontinuiteter.

Mekanisering

För de delar där provning kommer att ske från mantelytan, exkluderat transmissionsprovningen, hänvisas till redogörelsen av rotatorn i avsnitt 7.1.2. En mekanisering av transmissionsprovningen borde vara möjlig att införa på rotatorn. De problem som kan uppkomma är om kanalrören har rört sig vid gjutning så att de inte är på rätt plats i insatsen. Om det visar sig att det innebär problem måste ett system som lokaliserar kanalrören användas för att säkerställa tillförlitligheten vid transmissionsprovning.

Kontaktmedlet som används för insatsen får inte påverka kapselns funktion i slutförvaret. Det kan bli aktuellt med ett annat kontaktmedel än vatten. I detta fall finns det tre möjliga lösningar:

- Använda vatten med ett system som rengör objektet efter avsökningen utan att vattnet påverkar objektet.
- Använda ett annat kontaktmedel till exempel ultragel eller fett.
- Använda vatten med något korrosionshämmande medel i eller en typ av skärvätska (viskositet som vatten) som inte påverkar objektet.

Bestämning av nodularitet

Ett projekt har initierats vid SKB som avser att utreda om det finns möjlighet att mäta nodulariteten för insatsen genom att använda ultraljud. Det finns studier /Holmgren 1983/ och även procedurer för hur mätning av nodularitet ska göras då godstjockleken är känd. Vanligtvis används en form av ljudhastighetsmätning, vilken kan korreleras till nodulariteten eller materialstrukturen.

Förutsättningarna är att nodulariteten varierar utefter kapselns längd. Detta gör det svårt att använda en referens för att kalibrera utrustningen. Ljudhastigheten kommer därmed att vara olika utmed insatsens längd och olika jämfört med referensen. Godstjockleken vid mätpunkten kommer inte heller vara känd.

Detta medför att en lokal bestämning av nodulariteten (ljudhastigheten) behöver göras utan att använda godstjockleken. Resultatet från denna studie bör sedan kunna användas för att ta fram procedurer och rutiner för att bestämma nodulariteten lokalt samt även användas till att mer exakt kunna utföra tjockleksmätning. Den probabilistiska analysen av kapselhållfastheten har visat på vikten av att kanalrören är centrerade i insatsen. Ett krav på excentriciteten har också fastställts till: ± 5 mm, /SKB 2006b, Andersson et al. 2005/.

7.1.3 Kopparlock/botten

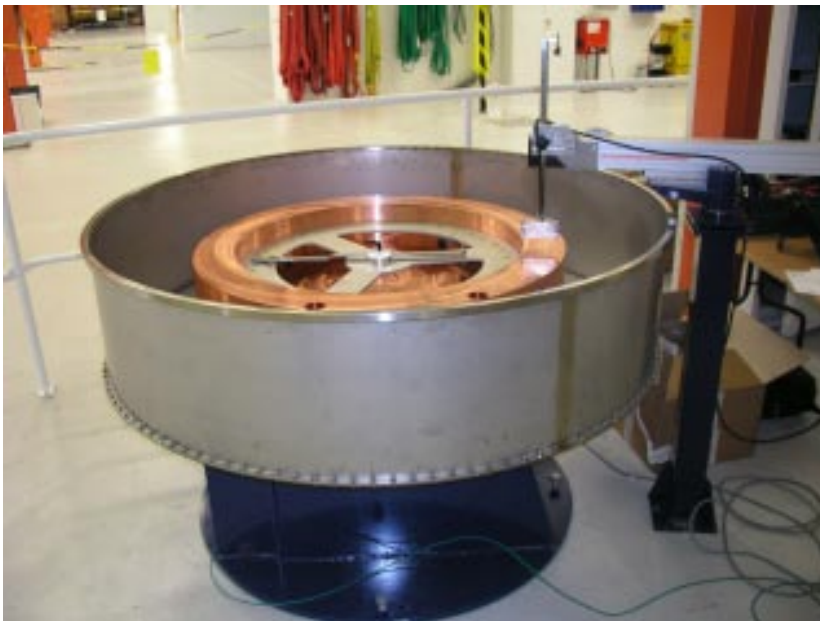
Vissa preliminära försök har utförts för att prova lock och botten med konventionell ultraljudteknik samt ultraljud med phased array.

Metodutveckling och mekanisering

Geometrin för lock/botten, i ett färdigt maskinbearbetat tillstånd, är inte fördelaktigt för provning med ultraljud, eftersom det finns många komplicerade former som försvårar provningen. För denna komponent har det därför specificerats vilken geometri som är aktuell vid provning, se kapitel 5. Denna geometri är relativt fördelaktig för kontroll med ultraljud. Bearbetningen av komponenten från smidningen måste ske i två steg. Ett steg för att bearbeta till den geometriska form som objektet ska ha vid provningen och ett andra steg för att bearbeta inför svetsningen.

För att möjliggöra rationell provning har ett rotationsbord med tillhörande immersionbalja och linjärmatning anskaffats. Denna utrustning planeras att ta i drift under 2006. Lock/botten har en rotationssymmetrisk form som bör kunna utnyttjas vid avsökningen. De mest kritiska krav som kan komma att ställas på objektet kommer troligtvis inte från konstruktionsförutsättningarna /SKB 2006b/ utan från den ultraljudprovning som ska ske efter svetsningen. Metoden för provning av förslutnings- och bottenhetsen bygger på att zon A i figur 6-2 är relativt fri från diskontinuiteter. Vad detta krav innebär kommer att utredas närmare. Vidare finns det provningstekniska krav på att inte materialstrukturen varierar för mycket inom objektet. Utifrån det kommer också ett krav där ljuddämpningen bör vara möjlig att bestämma för objektet. För ytterligare information om ljuddämpningen hänvisas till avsnitt 7.2 och kapitel 9 (tabell 9-4).

En möjlig provningsmetod som kan användas för detta objekt är immersionsprovning. Vid immersionsprovning sänks hela/delar av objektet ned under vatten. Denna metod ger större möjlighet till optimering då problem med kontakt delvis eller helt kan elimineras. Vidare erhålls fler möjligheter då det gäller provningskonfigurationer. Rotationsbordet med immersionsbalja visas i figur 7-3.



Figur 7-3. Rotationsbord och immersionsbalja.

7.2 Forskning

Vid Uppsala universitet, avdelning för signaler och system, bedriver SKB ett forskningsuppdrag för att bestämma kornstorleken i koppar med ultraljud. Vid denna enhet av Uppsala universitet pågår det även två andra forskningsuppdrag, dock är dessa mer specificerade mot provning av svetsen och avrapporteras i /SKB 2006e, Lingvall 2004, Stepinski 2004, Stepinski et al. 2004/.

7.2.1 Bestämning av kornstorlek

Ultraljudsdämpning är en viktig faktor vid provningen av solida material. Den avgör indirekt både upplösningen och möjligheterna att detektera små diskontinuiteter. I kopparmaterial som används för locken är backspredningen det största bidraget till dämpningen av ultraljudets utbredning och därför följer att dämpningen är kopplad till kornstorleken.

En praktisk teknik för att mäta ultraljudsdämpningen som bygger på så kallad buffer rod-metoden har utvecklats och verifierats. I denna metod kompenseras effekten av stråldivergens (sökarens diffraktionseffekter) samt förlusten vid övergångar mellan olika medier. Metoden har använts för att undersöka ett begränsat antal kopparbitar med olika kornstorlekar (som framställt genom värmebehandling).

Det konstaterades att korrelationen mellan kornstorleken och ultraljudsdämpningen inte var entydig medan korrelationen mellan detekteringsförmågan för diskontinuiteter och dämpning var mera tydlig. Ett praktiskt provförfarande för mätning av ultraljudsdämpning föreslogs vilket förhoppningsvis kan användas vid SKB:s Kapsellaboratorium. Eftersom frågan om ultraljudsdämpning är av stor vikt för provningstillförlitligheten kommer den att utredas ytterligare, se kapitel 9.

8 Kravhantering

Som tidigare nämnts finns det vissa krav på den oförstörande provningen. Dessa krav kommer från olika intressenter och har också olika ursprung. Detta kapitel behandlar hur dessa krav har hanterats och kommer att hanteras. Vidare anges krav som oförstörande provning ställer på angränsande processer i produktionssystemet.

8.1 Kommentarer till ställda krav

I detta kapitel kommenteras hur de krav som ställts upp i kapitel 3 tas om hand och hur väl de har kunnat uppfyllas. Kapitel 9, fortsatta handlingslinjer, redogör för hur SKB planerar att hantera kraven som ej kan anses uppfyllda.

8.1.1 Uppföljning av krav på OFP-processer för kapselkomponenter

Kraven som identifierades i kapitel 3 kommenteras i tabell 8-1.

Tabell 8-1. Uppföljning krav på OFP-processer.

Rubrik	Krav	Aktuellt läge
Teknik	Metoder och system för att kontrollera kapsekomponenterna ska finnas.	Utveckling pågår.
Kvalitet	OFP ska kunna detektera samt storleks- och lägesbestämma möjliga diskontinuiteter i komponenterna så att konstruktionsförutsättningarna innehålls.	Utveckling pågår
Tillförlitlighet	Detekterings sannolikheten och noggrannheten vid storleks- och lägesbestämning ska vara tillräcklig för att säkerställa att konstruktionsförutsättningarna innehålls.	Detekteringsförmågan och noggrannheten vid storleksbestämning av diskontinuiteter kommer att studeras (se kapitel 9)
Kapacitet och varaktighet	Processerna för OFP ska möta slutförvarssystemets krav om deponering av 1 kapsel per dag under lång tid.	Ännu ej utvärderat.
Uppfylla tillämpbara myndighetskrav	Processer och system ska kvalificeras enligt SKB:s ledningssystem för miljö- och kvalitet vari tillämpbara myndighetskrav kommer att ingå.	Program för kvalificering /SKB 2006f/

8.1.2 Uppföljning av krav från utvecklingsprojekten tillverkning

För att OFP-processerna ska kunna ge återkopplad information till utvecklingsprojekten för tillverkning av kapseln måste deras tillförlitlighet studeras närmare. Detta förutsätter att OFP-systemen utvecklas. De inspektionstider som beräknas för provningarna ska inte begränsa dessa utvecklingsprojekt. Vidare kommer OFP-processerna kvalitetssäkras genom att provningar utförs enligt skriftliga rutiner. Dessa rutiner måste också fastslås.

8.2 Interna krav till produktionssystemet

För att ultraljudprovning ska kunna utföras med tillräckligt hög tillförlitlighet ställs krav på komponenterna, se tabell 8-2.

Tabell 8-2. Återkopplade krav på kapselkomponenter.

Rubrik	Krav	Åtgärd	Ägare
Ytfinhet	Ytfinheten för alla komponenter efter maskinbearbetningen ska vara acceptabel, så att ultraljudprovningen kan utföras med tillräckligt hög tillförlitlighet.	I dagsläget är det inte möjligt att ställa något specificerat krav på ytfinheten för de olika komponenterna. Kravet är under utredning.	Kapselabrik/ leverantörer
Ljuddämpning	För att provningen av kapseln ska kunna utföras med tillräckligt tillförlitlighet krävs att locket har en väl specificerad ljuddämpning i området ovanför svetsen. Effekten av varierande ljuddämpning som följd av varierande kornstorlek inom och mellan lock är idag osäker och kommer därmed att behöva utredas.	Kapitel 9 samt kapitel 7 behandlar detta område.	Kapselabrik/ leverantörer
Fördelaktig geometri	Kapselkomponenterna ska provas då bearbetning har skett så att en för ultraljud fördelaktig geometri är framträdande.	En preliminär geometri är föreslagen. Metodutveckling för provningen samt verifiering av system för detta bör utredas med hänsyn till geometriska förhållanden.	Kapselabrik/ leverantörer
Stagplåtar	Så få stagplåtar som möjligt bör användas vid tillverkning av kanalrören samt vid gjutningen. Dessa stagplåtar begränsar i vissa fall provningen.	Innebörden och konsekvenserna av detta bör utredas närmare. Se kapitel 9.	Kapselabrik/ leverantörer
Kanalrörens excentricitet	Kanalrörens excentricitet bör inte vara större än att den försvårar transmissionsprovningen. Vidare utreds krav på maximalt tillåten excentricitet.	Nodularitetsstudien (kapitel 7) bör ge möjligheter att hantera detta villkor.	Kapselabrik/ leverantörer

8.3 Kvalificering

De processer som är aktuella för komponenttillverkning kräver omfattande kvalitetsstyrning för att säkerställa kapselns integritet. Detta innebär att processerna för tillverkning kommer att kvalificeras. En del av de processer som ska kvalificeras är då OFP-system. En övergripande plan för hur detta kommer att göras redovisas i /SKB 2006f/ medan de detaljerade planerna kommer att utarbetas, se kapitel 9.

Mycket av arbetet med OFP av kapselkomponenterna kommer att syfta till att ta fram underlag inför kommande kvalificering. ENIQ /European Commission 1998, 1999/ ger riktlinjer för hur kvalificering av OFP ska gå till. Viktiga underlag vid kvalificeringen är de tekniska motiveringarna. Dessa tekniska motiveringar planerar SKB att underbygga med studier som utförs vid Kapsellaboratoriet i form av till exempel tillförlitlighetsstudier och modellering.

9 Framtida handlingslinje

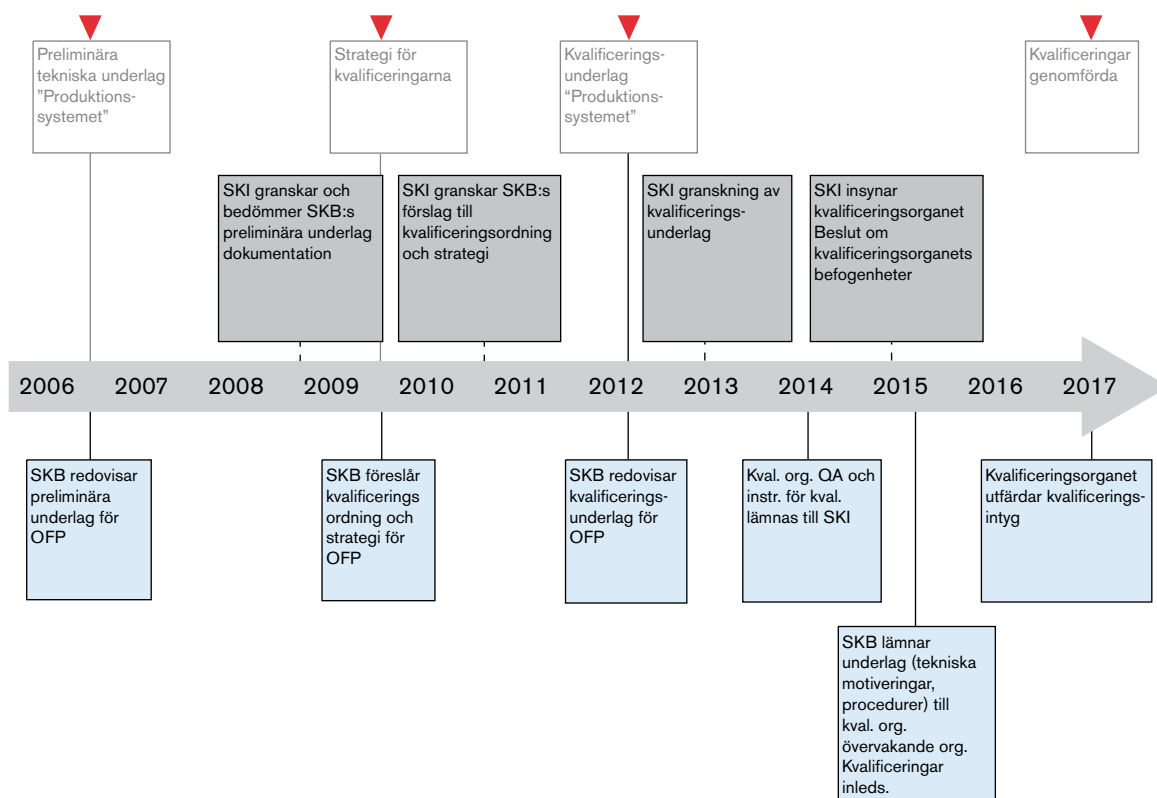
Arbete kvarstår med att ta fram rutiner, specifikationer, tillförlitlighet och detekterbarhet för provningen av kapselkomponenterna. I ett projekt /Müller et al. 2006, Müller och Öberg 2004, Ronneteg et al. 2006/ har tillförlitligheten av provning av förslutningssvetsen studerats. Från det projektet kommer kunskaper och erfarenheter att återanvändas för motsvarande planerade projekt när det gäller provning av kapselkomponenterna.

Huvudsyftet med kommande arbete är att säkerställa att en tillförlitlig provning av kapselns komponenter finns tillgänglig enligt SKB:s kvalificeringstidsplan, se figur 9-1. Detta innefattar en verifierad tillförlitlig provningsmetodik för de olika komponenterna med dokumentation/motivering som möjliggör en kvalificering.

Verksamheten med oförstörande provning bedrivs med inriktning mot följande milstolpar för kvalificering av processer och projektering av inkapslingsanläggningen och Kapsel fabriken.

- 2006 – preliminära tekniska underlag för produktionssystemet för tillverkning och förslutning av kapslar.
- 2012 – slutliga tekniska underlag för produktionssystemet.

De aktiviteter som redovisas i detta kapitel kopplas till ovanstående tidsplan samt till de krav som behandlas i kapitel 8. En mer detaljerad plan över hur och när dessa aktiviteter ska genomföras kommer att utarbetas under 2006.



Figur 9-1. Kvalificeringstidsplan för oförstörande provning.

De provningsmetoder som behandlats tidigare i denna rapport måste utvecklas och fastställas både vad det gäller provningskonfigurationer och mekanisering. Arbetet kommer att vara iterativt med återkoppling och förbättringsåtgärder för både provningen samt tillverkningsprocesserna. Oförstörande provning är en viktig del att använda då processfönster ska specificeras för de olika tillverkningsmetoderna.

Tabell 9-1 anger identifierade framtida aktiviteter för provning av kopparröret.

Tabell 9-2 anger identifierade framtida aktiviteter för provning av segjärnsinsatsen.

Tabell 9-3 anger identifierade framtida aktiviteter för provning av kopparlock/botten.

I tabell 9-4 redogörs för de aktiviteter som blir aktuella för att kunna specificera de interna krav som OFP-processen har på produktionssystemet.

Tabell 9-1. Identifierade aktiviteter för kopparrör.

Krav	Aktivitet	Tidsplan
Teknik, kvalitet, tillförlitlighet	Fastställa provningskonfigurationer. Hänsyn ska tas till förväntade diskontinuiteter och de preliminära acceptanskriterier som ska fastställas. Modellering av ljudfältet kan ge underlag för att fastställa och optimera provningskonfigurationer.	2006
	Kartlägga vilken inverkan en varierande ljuddämpning i kopparröret har på ultraljudprovningens tillförlitlighet samt fastställa specifikationer gällande röret.	2006–2008
	Bestämma lämplig ytfinitet på kopparröret för att säkerställa tillförlitlig ultraljudprovning.	2006–2007
	Genomföra tillförlitlighetsstudier för provning av kopparrör.	2006–2009
	Modellering av aktuella provningskonfigurationer och dess interaktion med identifierade diskontinuiteter.	2006–2009
	Validering av modeller.	2006–2011
	Undersöka vilka faktorer som är viktiga för processens tillförlitlighet.	2007–2012
Kapacitet och varaktighet	Integration i kapsel fabriken. Förberedelse av system för en framtida kapseltillverkning. Erfarenheter från provningen kommer att visa på känsliga punkter.	2007–2012
	Ta fram specifikationer för framtida provningssystem som underlag för upphandling.	2008–2011
	Definiera innehåll i de dokument som ska användas som underlag för upprättande av serviceavtal med leverantörer av system.	2008–2011
Uppfylla tillämpbara myndighetskrav	Genomföra programmet för kvalificering /SKB 2006f/.	2006–2017
	Utreda och definiera vilka underlag som krävs vid en kvalificering av OFP-processerna.	2006–2009
	Sammanställa underlag för kvalificering.	2007–2012

Tabell 9-2. Identifierade aktiviteter för segjärnsinsats.

Krav	Aktivitet	Tidsplan
Teknik, kvalitet, tillförlitlighet	Fastställa provningskonfigurationer. Hänsyn ska tas till förväntade diskontinuiteter och de preliminära acceptanskriterier som ska fastställas. Modellering av ljudfältet kan ge underlag för att fastställa och optimera provningskonfigurationer.	2006
	Nodularitetsstudie som syftar till att ge möjlighet att mäta nodulariteten för materialet och därigenom bestämma viktig ultraljuddata.	2006–2008
	Bestämma lämplig ytfinhet på segjärnsinsatsen för att säkerställa tillförlitlig ultraljudprovning.	2006–2007
	Genomföra tillförlitlighetsstudier för provning av segjärnsinsats.	2006–2009
	Modellering av aktuella provningskonfigurationer och dess interaktion med identifierade diskontinuiteter.	2006–2009
	Validering av modeller.	2006–2011
	Undersöka på ett metodiskt sätt vilka faktorer som är viktiga för processens tillförlitlighet.	2007–2012
	Kapacitet och varaktighet	Integration i kapsel fabriken. Förberedelse av system för en framtida kapsel-tillverkning. Erfarenheter från provningen kommer att visa på känsliga punkter.
Ta fram specifikationer för framtida provningssystem som underlag för upphandling.		2008–2011
Definiera innehåll i de dokument som ska användas som underlag för upprättande av serviceavtal med leverantörer av system.		2008–2011
Uppfylla tillämpbara myndighetskrav	Genomföra programmet för kvalificering /SKB 2006f/.	2006–2017
	Utreda och definiera vilka underlag som krävs vid en kvalificering av OFP-processerna.	2006–2008
	Sammanställa underlag för kvalificering.	2007–2012

Tabell 9-3. Identifierade aktiviteter för kopparlock/botten.

Krav	Aktivitet	Tidsplan
Teknik, kvalitet, tillförlitlighet	Fastställa provningskonfigurationer. Hänsyn ska tas till förväntade diskontinuiteter och de preliminära acceptanskriterier som ska fastställas. Modellering av ljudfältet kan ge underlag för att fastställa och optimera provningskonfigurationer.	2006
	Kartlägga vilken inverkan en varierande ljuddämpning i kopparlock/botten har på ultraljudprovningens tillförlitlighet samt fastställa specifikationer gällande lock/botten.	2006–2008
	Bestämma lämplig ytfinhet på kopparlock/botten för att säkerställa tillförlitlig ultraljudprovning.	2006–2007
	Genomföra tillförlitlighetsstudier för provning av kopparlock/botten.	2006–2009
	Modellering av aktuella provningskonfigurationer och dess interaktion med identifierade diskontinuiteter.	2006–2009
	Validering av modeller.	2006–2011
	Undersöka vilka faktorer som är viktiga för processens tillförlitlighet.	2007–2012
Kapacitet och varaktighet	Integration i kapsel fabriken. Förberedelse av system för en framtida kapsel-tillverkning. Erfarenheter från provningen kommer att visa på känsliga punkter.	2007–2012
	Ta fram specifikationer för framtida provningssystem som underlag för upphandling.	2008–2011
	Definiera innehåll i de dokument som ska användas som underlag för upprättande av serviceavtal med leverantörer av system.	2008–2011
Uppfylla tillämpbara myndighetskrav	Genomföra programmet för kvalificering /SKB 2006f/.	2006–2017
	Utreda och definiera vilka underlag som krävs vid en kvalificering av OFP-processerna.	2006–2008
	Sammanställa underlag för kvalificering.	2007–2012

Tabell 9-4. Identifierade aktiviteter för interna krav.

Krav	Aktivitet	Tidsplan
Ytfinhet	Utreda vilken ytfinhet som krävs för att säkerställa tillförlitlig ultraljudsprovning. Relateras till aktiviteter om tillförlitlighet i tabellerna 9-1 till 9-3.	2006–2007
Ljuddämpning	Utreda vilken påverkan varierande ljuddämpning i kopparkomponenterna har på ultraljudprovningens tillförlitlighet samt fastställa specifikationer gällande dessa komponenter. Relateras till aktiviteter om tillförlitlighet i tabellerna 9-1 till 9-3.	2006–2007
Fördelaktig geometri	En preliminär geometri är föreslagen. Metodutveckling för provningen samt verifiering av system för detta bör utredas med hänsyn till geometriska förhållanden.	2006–2007
Stagplåtar	Stagplåtarna begränsar provningsmöjligheten i den gjutna insatsen. Antalet plåtar bör begränsas. Utredning om vikten av provning mellan kanalrören och hur stagplåtarna påverkar insatsen bör göras.	2006–2007
Kanalrörens excentricitet	Kanalrörens excentriciteten bör inte vara större än att den försvårar transmissionsprovningen. Utredning bör göras med hänsyn till maximalt krav på slag på ± 5 mm /Andersson et al. 2005/. Nodularitetsstudien kan ge information inom detta område.	2006–2007

10 Kommentarer

Inom området oförstörande provning av kapselkomponenter har de första utredningarna fokuserats på att undersöka vilka provningsresurser de olika tillverkarna förfogade över. Ytterligare information har inhämtats om tillverkarnas provningsmetoder samt vilka möjligheter och begränsningar systemen har.

De tillverkade komponenterna har provats hos leverantörerna. Dock har detta i många fall inneburit begränsningar i både provmetodik samt inspektionsomfattning. För att kunna ge tillverkningsprocessen återkopplande information om erhållen tillverkningskvalitet med oförstörande provning krävs att system med hög tillförlitlighet används.

Då antalet komponenter som provats på ett systematiskt och kvalitetssäkrat sätt inte är så stort finns det inte så mycket information om till exempel förekomst av diskontinuiteter. För att det ska vara möjligt att utveckla provningsmetoderna för att detektera relevanta diskontinuiteter måste denna information vara känd. Till att börja med kommer då konservativa antaganden att användas vid framtagning av provningsparametrar. När en provning genomförts kommer den sedan att återge information både till sin egen provningsprocess och till tillverkningsprocessen. Detta innebär en iteration där både provningssystem och tillverkningsprocesser kan utvecklas.

Ett nytt system håller på att tas fram för provning av komponenterna vid Kapsellaboratoriet. Detta system bör ses som ett referenssystem som sedan ska ge information om krav på framtida system samt även ge information om tillverkningsprocesserna. Oförstörande provning kommer sannolikt att användas för att säkerställa att tillverkning av kapselkomponenterna fungerar enligt uppställda krav och förutsättningar.

11 Referenser

- Andersson C-G, Eriksson P, Westman M, Emilsson G, 2004.** Lägesrapport kapseltillverkning. SKB R-04-14, Svensk Kärnbränslehantering AB.
- Andersson C-G, Andersson M, Erixon B, Björkegren L-E, Dillström P, Minnebo P, Nilsson K-F, Nilsson F, 2005.** Probabilistic analysis and material characterisation of canister insert for spent nuclear fuel. Summary report. SKB TR-05-17, Svensk Kärnbränslehantering AB.
- Nilsson K-F, Lofaj F, Burström M, Andersson C-G, 2005.** Pressure tests of two KBS-3 canister mock-ups. SKB TR-05-18, Svensk Kärnbränslehantering AB.
- Dillström P, 2005.** Probabilistic analysis of canister insert for spent nuclear fuel. SKB TR-05-19, Svensk Kärnbränslehantering AB.
- European Commission, 1998.** ENIQ Recommended Practice 2: Recommended Contents for a Technical Justification, Issue 1, ENIQ Report nr. 4 EUR 18099 EN.
- European Commission, 1999.** ENIQ Methodology For Qualification (SECOND Issue) Swedish Version, ENIQ Report nr. 2 EUR 17299 SV.
- Holmgren M, 1983.** Ultraljudprovning och resonansprovning för kontroll av nodularitet i segjärn (830119). Svenska gjuteriföreningen.
- Lingvall F, 2004.** Time-domain Reconstruction Methods for Ultrasonic Array Imaging. A statistical Approach, Uppsala University, Signals and Systems, ISBN 91-506-1772-9.
- Müller C, Öberg T, 2004.** Strategy for verification and demonstration of the sealing process for canisters for spent fuel. SKB R-04-56, Svensk Kärnbränslehantering AB.
- Müller C, Elagin M, Scharmach M, Bellon C, Jaenisch G-R, Bär S, Redmer B, Goebbels J, Ewert U, Zscherpel U, Boehm R, Brekow G, Erhard A, Heckel T, Tessaro U, Tucharntke D, Ronneteg U, 2006.** Reliability of nondestructive testing (NDT) of the copper canister seal weld. SKB R-06-08, Svensk Kärnbränslehantering AB.
- Ronneteg U, Moberg B, 2003.** Inkapslingsteknik, Lägesrapport 2002, Oförstörande provning. SKB R-03-31, Svensk Kärnbränslehantering AB.
- Ronneteg U, Cederqvist L, Rydén H, Öberg T, Müller C, 2006.** Reliability in sealing of canister for spent nuclear fuel. SKB R-06-26, Svensk Kärnbränslehantering AB.
- SKB, 2004.** FUD-program 2004. Program för forskning, utveckling och demonstration av metoder för hantering och slutförvaring av kärnavfall, inklusive samhällsforskning. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- SKB, 2005.** Kapseltillverkning. Kvalitetshandbok (pärm 1). Ritningar Specifikationer Rutiner (pärm 2). Svensk Kärnbränslehantering AB.
- SKB, 2006a.** Kapsel för använt kärnbränsle. Tillverkning och förslutning. SKB R-06-01, Svensk Kärnbränslehantering AB.

SKB, 2006b. Kapsel för använt kärnbränsle. Konstruktionsförutsättningar. SKB R-06-02, Svensk Kärnbränslehantering AB.

SKB, 2006c. Kapsel för använt kärnbränsle. Tillverkning av kapselkomponenter. SKB R-06-03, Svensk Kärnbränslehantering AB.

SKB, 2006d. Kapsel för använt kärnbränsle. Svetsning vid tillverkning och förslutning. SKB R-06-04, Svensk Kärnbränslehantering AB.

SKB, 2006e. Kapsel för använt kärnbränsle. Oförstörande provning av svetsar. SKB R-06-06, Svensk Kärnbränslehantering AB.

SKB, 2006f. Kapsel för använt kärnbränsle. Program för kvalificering vid tillverkning och förslutning. SKB R-06-07, Svensk Kärnbränslehantering AB.

Stepinski T, 2004. Deep penetrating eddy current for copper canister inspection. Main results. SKB R-04-28, Svensk Kärnbränslehantering AB.

Stepinski T, Ping W, Wennerström E, 2004. Inspection of copper canisters for spent nuclear fuel by means of ultrasound. Phased arrays, ultrasonic imaging and nonlinear acoustics. SKB TR-04-24, Svensk Kärnbränslehantering AB.

Svensk Standard, 1999. Oförstörande provning av stålrör. SS-EN 10246.

Svensk Standard, 2003. Gjutjärn – Gjutning – Ultraljudprovning. SS-EN 12680.

12 Förkortningar

BAM	Bundesanstalt für Materialforschung- und Prüfung
BIR	Bio-Imaging Research Inc.
EBW	Electron beam welding, Elektronstrålesvetsning
ET	Eddy current testing, Induktiv provning
FAT	Factory Acceptance Test
FSW	Friction stir welding
HECT	High Energy Computed Tomography, Hög energi datortomografi
KL	SKB:s Kapsellaboratorium
NDT	Non-destructive Testing, oförstörande provning
OFP	Oförstörande provning
PLC	Programmable Logic Controller
POD	Probability of Detection
RT	Radiographic testing, Radiografisk provning
SAFT	Syntetisk apertur-fokusering
SAT	Site Acceptance Test
SNR	Signal to noise ratio, signal till brus-förhållande
UT	Ultrasonic testing, Ultraljudprovning
μ-CT	Micro-focus Computed Tomography, mikrofokusdatortomografi