

R-06-03

Kapsel för använt kärnbränsle

Tillverkning 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-06-03

Kapsel för använt kärnbränsle

Tillverkning 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 processerna för tillverkning 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

En av förutsättningarna för inkapslings- och slutförvarsanläggningarna är att metoder och teknik för tillverkning av kapslarna finns. Kapslarna ska uppfylla de krav på långsiktig säkerhet som SKB, myndigheterna och andra intressenter ställer.

Rapporten beskriver tillverkning av kopparkapslar med dess ingående komponenter och beskriver de krav som ställs på den tillverkade kapseln och på tillverkningsmetoderna samt hur dessa krav kan uppfyllas och kontrolleras.

Utvecklingen av lämpliga tillverkningsmetoder utgår från SKB:s referenskapsel. Det referensalternativ för tillverkningssystemet som beskrivs är baserad på att gjutna insatser och förformade kopparkomponenter levereras till en fabrik för att maskinbearbetas, kontrolleras och monteras. Leveransen av varje kapsel till inkapslingsanläggningen sker sampackad med tillhörande stållock och kopparlock i en enhet. I leveransen ingår även dokumentation i form av certifikat och intyg etc som anges i SKB:s ledningssystem för kapseltillverkning.

I rapporten beskrivs utvecklingen av teknik, de krav som är styrande för teknikutvecklingen, erfarenheterna från provtillverkningar och uppnådda resultat i relation till kraven. Tyngdpunkten i redovisningen ligger på de referensmetoder som SKB har valt men även alternativa tillverkningsmetoder redovisas

Beträffande den detaljerade redovisningen av svetsningen av botten till kopparröret och kvalitetskontroll med oförstörande provning (OFP) av såväl komponenter som svetsar ingår i tillverkningssystemet sker detta i separata rapporter.

I ett avsnitt beskrivs kapselfabriken där omfattande maskinbearbetning, svetsning, OFP och rengöringen av kapselkomponenterna samt montering av kapseln ska göras.

Innehåll

1	Inledning	9
1.1	Denna rapport	12
2	Strategi och arbetssätt	13
3	Förutsättningar och krav	15
3.1	Krav på kapselns kopparkomponenter	15
3.2	Krav på tillverkningssystemet för kopparkomponenter	17
3.3	Krav på insatsen	17
3.4	Krav på systemet för tillverkning av insatser	18
4	Metoder för tillverkning av kapselkomponenter	19
4.1	Kopparkomponenter	19
4.1.1	Gjutning av koppargöt	19
4.1.2	Extrusion av kopparrör	20
4.1.3	Pierce and draw av kopparrör	20
4.1.4	Smidning av kopparrör	22
4.1.5	Smidning av kopparlock/botten	22
4.2	Insatser	23
4.2.1	Gjutning av insatser	24
4.2.2	Stållock och övriga komponenter	24
5	Resultat och erfarenheter	25
5.1	Kopparkomponenter	25
5.1.1	Koppargöt	25
5.1.2	Kopparrör	26
5.1.3	Kopparlock och botten	27
5.2	Insatser	27
5.3	Diskontinuiteter	28
6	Kapsel fabriken	31
6.1	Fabriksbyggnaden	33
6.2	Flödet i kapsel fabriken	34
6.2.1	Mottagning och kontroll	34
6.2.2	Maskinbearbetning	35
6.2.3	OFP av bearbetade komponenter	39
6.2.4	Svetsning av kopparbotten	39
6.2.5	Oförstörande provning av bottensvets	41
6.2.6	Rengöring av kapselkomponenterna	41
6.2.7	Montering av kapseln	41
6.3	Färdiga kapslar	43
7	Kommentarer till ställda krav	45
7.1	Uppföljning av krav på kopparkomponenter	45
7.2	Uppföljning av krav på tillverkningsprocessen för kopparkomponenter	46
7.3	Uppföljning av krav på insats	46
7.4	Uppföljning av krav på tillverkningsprocessen för insatsen	46
7.5	Kontroll av kapselkomponenter	48

8	Kvalitets- och miljöledningssystem för kapseltillverkning	49
8.1	Allmänt	49
8.2	Beskrivning av ledningssystemet	49
8.3	Användning vid inköp	53
8.4	Uppföljning och underhåll	53
9	Framtida handlingslinje	55
9.1	Insatsen	56
9.2	Kopparkomponenter	56
9.3	Plan för kvalificering	57
10	Referenser	59
11	Förkortningar	61
Appendix A	Beskrivning av diskontinuiteter	63

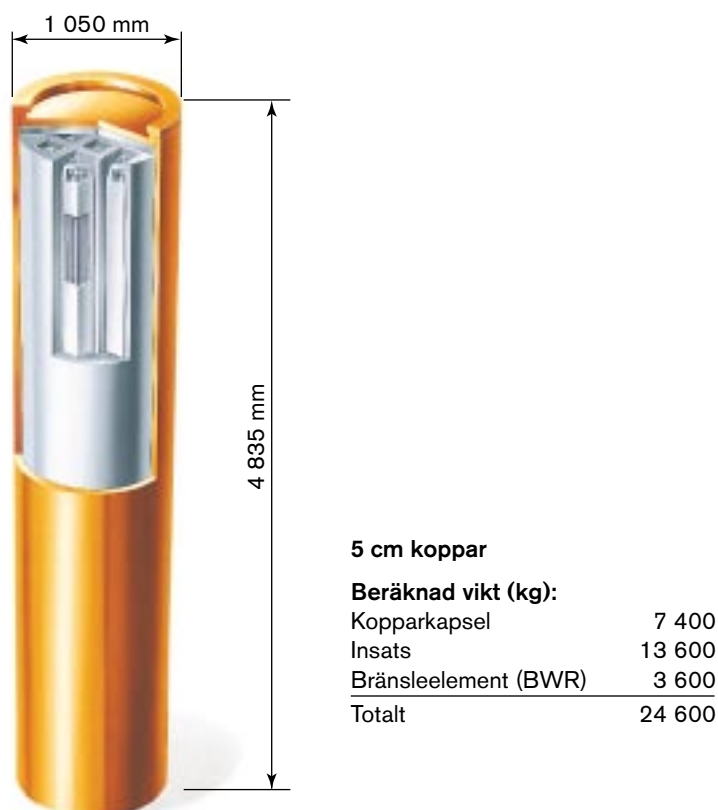
1 Inledning

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 bergtrum som krävs för deponeringen.

I slutförvaret har kapseln till uppgift att isolera det använda kärnbränslet från omgivningen. SKB:s referensutförning 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.



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

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. 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 referensutformning av produktionssystemet för tillverkning och förslutning av kapseln. Referensutformningen 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.

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

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

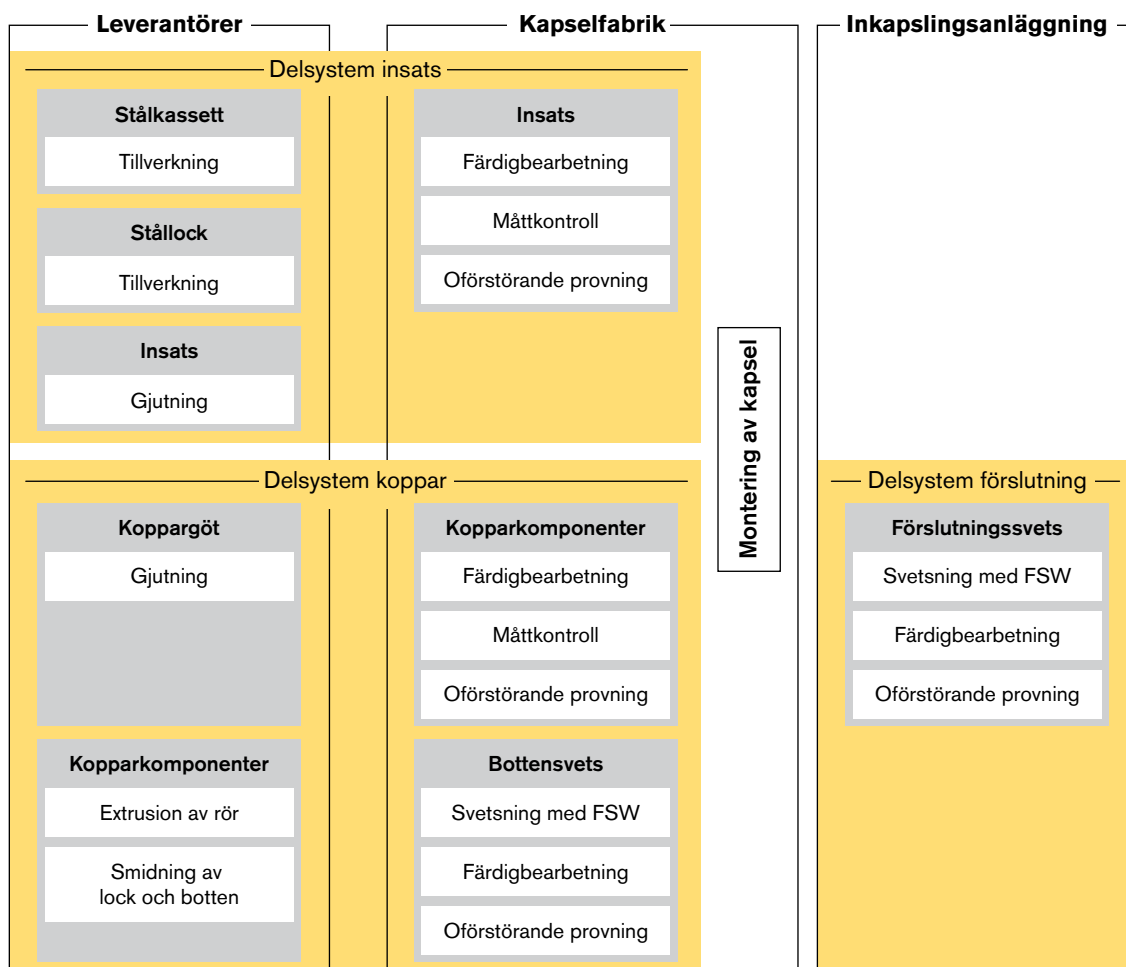
Tillverkningsmetoderna i referensutformningen är:

- Gjutning av insatsen i segjärn.
- Gjutning av koppargöt.
- 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.



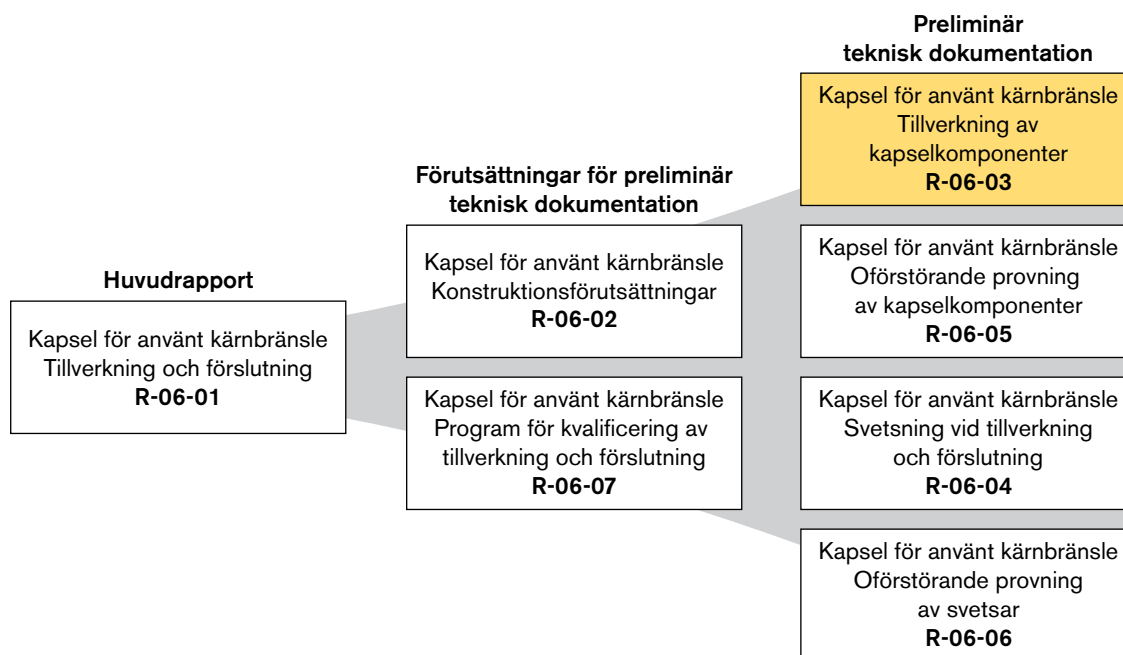
Figur 1-2. Referensutformning av produktionssystemet för tillverkning och förslutning av kapslar.

Preliminär teknisk dokumentation

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

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.



Figur 1-3. Rapporter i Projekt Dokap.

1.1 Denna rapport

Rapporten ingår i den preliminära tekniska dokumentationen och beskriver tillverkningen av kopparkapseln och dess ingående komponenter. Redovisningen utgår från de steg som har identifierats för tillverkning av kapseln och hur dessa tagits, eller avses att tas, omhand. Tillverkningen är baserad på att gjutna insatser i segjärn och förformade kopparkomponenter tas in från underleverantörer för att färdigställas, kontrolleras och monteras i en kapselfabrik.

Det arbetssätt som används för kravhantering beskrivs och därefter anges de krav som ur flera avseenden ställs på kapselkomponenterna och på tillverkningen. De metoder som tillämpas för tillverkning av ämnen till kapselkomponenter hos underleverantörerna för leverans till SKB redovisas. I särskilt avsnitt behandlas kraven på kapseln och på kapselkomponenterna samt de avvikelser eller diskontinuiteter som kan tänkas uppträda i komponenterna. Kapselfabriken där kapselkomponenterna som underleverantörerna levererar färdigställs och kontrolleras, svetsas och monteras till färdiga kapslar beskrivs.

I rapporten behandlas också uppföljning av ställda krav samt kvalitets- och miljöledningssystemet för SKB:s kapseltillverkning.

SKB:s handlingslinjer och förfining av de metoder som behandlar kapseltillverknings-tekniken redovisas. I anslutning till handlingslinjerna beskrivs även kvalificering av tillverkningsmetoderna.

2 Strategi och arbetssätt

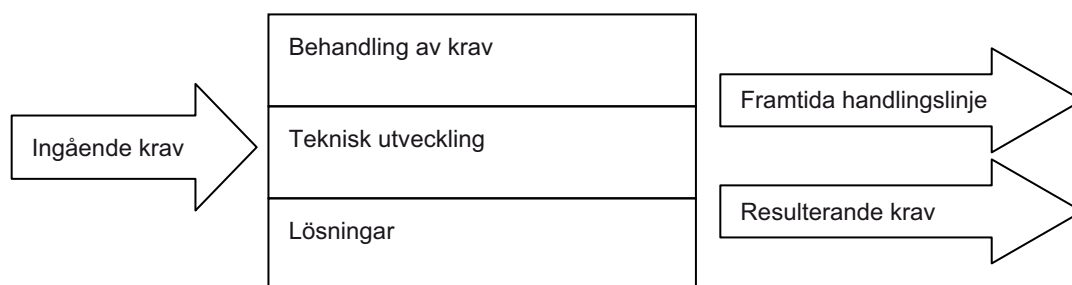
SKB har under mer än tio år utvecklat tillverkningstekniken för kapslar. En viktig del av denna utveckling har varit provtillverkningar av kapselkomponenter för att testa, utveckla och demonstrera processer för tillverkning av kapselkomponenter. Utvecklingen av tillverkningstekniken har skett i samarbete med leverantörer. Tekniken för svetsning av botten och metoder för kvalitetskontroll med oförstörande provning (OFP) utvecklas av SKB. Parallellt med den tekniska utvecklingen har ett kvalitets- och miljöledningssystem för styrning av provtillverkningen utarbetats.

Inriktningen på det arbetet som utförs inom provtillverkningen av komponenter omfattar:

- Utveckling och provtillverkning av koppargöt i anpassad storlek och materialkvalitet som uppfyller ställda krav för varmformning till rör och lock/botten.
- Utveckling av tillverkningsmetoder för varmformade ämnen till kopparrör och kopparlock/botten.
- Utveckling och provtillverkning av insatser med godkänd materialkvalitet och i erforderlig storlek och form.
- Utveckling av maskinbearbetning av kopparkomponenter och insatser.
- Utveckling av svetsning av botten/lock och oförstörande provning.
- Samarbete med tekniska högskolor och institut.
- Verifiering av att kraven på tillverkade komponenter uppfylls.

Utifrån utvecklings- och provtillverkningsarbetet har successivt utökad och ny kunskap byggts upp och arbetssätten förbättrats. Utvecklingssteg som ytterligare erfordras har identifierats och fortsatta handlingslinjer finns redovisade i kapitel 9.

Provtillverkningarna ger kunskap om de huvudkrav som ska ställas på processerna. Därefter behandlas kraven och möjliga lösningar för att uppfylla dessa identifieras. För en del av kraven finns redan möjliga lösningar medan andra kräver fortsatt utvecklingsarbete, se figur 2-1.



Figur 2-1. Kravhantering för processen.

3 Förutsättningar och krav

Kapseln utgör en av flera barriärer i slutförvaret för använt bränsle och det är kraven på kapseln tillsammans med utformningen av densamma som utgör utgångspunkt för tillverkningen av kapseln med dess lastbärande insats och kopparhölje. För systemdelen kapsel i slutförvaret finns följande övergripande funktionskrav på att kapseln ska /SKB 2002/:

- innesluta bränslet,
- vara tät vid deponering,
- vara kemiskt beständig under förvarets livstid,
- vara mekaniskt beständig under förvarets livstid,
- ha liten inverkan på övriga barriärer (vilket bland annat innebär att säkerställa att kriticitet inte uppstår).

Funktionskravet på kapseln under slutförvarssystemets driftfas är att bränslet ska kunna inkapslas och kapseln transporteras, deponeras och i övrigt hanteras på ett säkert sätt.

De preciserade kraven som ställs på kapseln anges i /SKB 2006b/.

Utformningskrav är härledda ur de krav som slutförvaret ställer på kapseln som måste mötas genom lämpligt val av material och kapselns utformning. Dessutom måste kapseln utformas så att den är möjlig att tillverka och kontrollera. Hur dessa krav tas om hand redovisas i kapitel 7.

Tillverkningen ska följa SKB:s kvalitets- och miljöledningssystem för kapseltillverkning med policy och ansvar enligt systemets kvalitetshandbok som refererar till SKB tekniska specifikationer samt till rutiner för bland annat kvalificering vid kapseltillverkning /SKB 2005/.

3.1 Krav på kapselns kopparkomponenter

Detaljerade konstruktionsförutsättningar, där kapselns funktion som barriär i slutförvaret behandlas, ställer krav på kopparkomponenter som visas i tabell 3-1.

Kommentarer

De i konstruktionsförutsättningarna angivna kraven på kemisk sammansättning hos kopparmaterialet har härletts utifrån kapselns långsiktiga funktion i slutförvaret. De kommersiellt tillgängliga kopparkvaliteterna som innehåller dessa krav är i huvudsak framtagna för att möta krav på ledningsförmåga och processkrav i elektronikindustrin. Övriga specifikationer avseende renhet i de kommersiellt tillgängliga kopparkvalitéerna är därför inte relevanta för kopporn i kapseln.

Materialkraven är angivna i SKB:s tekniska specifikation No. KTS001.

Tabell 3-1. Krav på kopparkomponenter.

Funktionkrav	Krav angivna i konstruktionsförutsättningarna /SKB 2006a/	Övriga relaterade krav samt kommentarer
Kemisk beständighet	<p>Min 6 mm intakt koppartjocklek. Materialsammansättning: Kopparmaterial i kapseln ska uppfylla specifikation för ren koppar med låg syrehalt. Tillåtna föroreningshalter i färdig kopparkomponent: Cr < 30 ppm Co < 30 ppm Al < 30 ppm Ni < 30 ppm O < 30 ppm.</p>	<p>För att innehålla konstruktionsförutsättningarna väljs standardmaterial som uppfyller följande specifikationer: EN 1976 Cu-OFE (UNS C10100) eller EN 1976 Cu-OF1 med tilläggskrav enligt KTS001: O < 5 ppm.</p>
Mekanisk beständighet	<p>Mekaniska egenskaper hos koppar: Duktilitet: > 30 %. Krypduktilitet: > 8 %, leder till krav på Kornstorlek: < 800 µm.</p> <p>Tilläggskrav: P = 30–100 ppm S < 12 ppm</p>	<p>I KTS002* anges följande krav avseende färdig komponent: Duktilitet > 40 %. Krypduktilitet > 10 %. Mikrostruktur med kornstorlek < 360 µm.</p> <p>Tilläggskrav enligt KTS001: P = 30–70 ppm (krypduktilitet) S < 8 ppm (svavelutskiljning) H < 0,6 ppm (väteförspredning vid varmformning).</p>
Försumbar inverkan på övriga barriärer och bränslet	<p>Materialtjocklek enligt referenskapseln.</p>	
Transporteras, deponeras och i övrigt hanteras på ett säkert sätt	<p>Koppartjocklek: erforderlig tjocklek för tillräcklig lyftsäkerhet. Kopparhöljet ska var tillverkningsbart och att ställda krav uppfylls ska kunna verifieras.</p>	<p>Lyftsäkerheten för kapsel med 4 cm koppartjocklek är kontrollberäknad.</p>
Provbarhet	<p>Ska uppfylla krav på provningsbarhet med oförstörande provning av eventuella diskontinuiteter i godset.</p>	<p>Speciellt avses ultraljudsdämpning i materialet och ytfinhet. Specifikationer för mikrostruktur (t ex kornstorlek) och ytfinhet utreds.</p> <p>Kontroll med OFP, rengöring: eventuella krav på ytfinhet är under utredning.</p>

3.2 Krav på tillverkningssystemet för kopparkomponenter

Krav som ställs på delsystem koppar redovisas i tabell 3-2.

Tabell 3-2. Krav på system och processer vid tillverkning av kopparkomponenter.

Krav på system och processer	
Teknik	Det ska finnas metoder och system för att tillverka och kontrollera kopparkomponenterna.
Kvalitet	Tillverkade kopparkomponenter ska uppfylla SKB:s kvalitets- och miljöledningssystem för kapseltillverkning /SKB 2005/.
Tillförlitlighet	Tillförlitlighet och reproducerbarhet hos system och processer ska vara tillräcklig för att säkerställa säkerheten under drift och efter deponering. Utvecklingsmål: minst 99,9 % av levererade kapslar ska uppfylla kvalitetskraven.
Kapacitet och varaktighet	Delsystemet ska möta slutförvarssystemets krav om deponering av 1 kapsel per dag under lång tid, minst 60 år (konstruktionsförutsättning för inkapslingsanläggningen).
Uppfylla tillämpbara myndighetskrav	Leverantörer, processer och system ska kvalificeras enligt SKB:s kvalitets- och miljöledningssystem för kapseltillverkning /SKB 2005/ vari tillämpbara myndighetskrav kommer att ingå.

3.3 Krav på insatsen

I konstruktionsförutsättningar, där kapselns funktion som barriär i slutförvaret behandlas, ställs krav på insatsen. Kraven sammanfattas i tabell 3-3.

Tabell 3-3. Krav på segjärnsinsatsen.

Funktionkrav	Krav angivna i konstruktionsförutsättningarna /SKB 2006b/	Övriga relaterade krav samt kommentarer
Innesluta bränslet	Insatsen ska rymma 12 BWR- eller 4 PWR-bränsleelement. Kanalrörens mått måste minst uppgå till: BWR: 150×150 mm. PWR: 230×230 mm.	Teknisk specifikation KTS011 /SKB 2005/. Ritningsändring på PWR insatsen pågår. Insatsrörens mått kontrolleras med tolk: BWR: 152×152 mm. PWR: ändring utreds.
Kemisk beständighet	Atmosfären i insatsen ska kunna bytas till > 90 % ädelgas.	Insatsen och ställocket utformas för atmosfärsbyte.
Mekanisk hållfasthet	Insatsen ska motstå påkänningar under vattenmättnadsfasen, bestående belastningar på grund av ojämnt svälltryck i deponeringshålet, isostatiska laster under glaciation samt påkänningar i samband med postglaciala jordbävningar.	Teknisk specifikation KTS011 /SKB 2005/ anger följande standard: EN 1563 grade EN-GJS-400-15U. Materialstruktur/nodularitet: form V och VI (80 %). Sträckgräns: min 240 MPa (20°C), Brottgräns: min 370 MPa. Brottöjning: min 11 % (vidgjutna provstavar), min 7 % (provstavar från insatsen).
Försumbar inverkan på övriga barriärer och bränslet	Materialtjocklek enligt referenskapseln.	Excentricitet hos kassetten < 5 mm. Hömradier 15–25 mm. Kontrollberäkningar visar att referenskapseln innehåller detta krav.
Kriticitet	Insatsen utformas så att den även efter vatteninträning uppfyller kriterier för säkerhet mot kriticitet.	Kontrollberäkningar visar att referenskapseln innehåller detta krav.
Provbarhet	Ska uppfylla krav på provningsbarhet med oförstörande provning av eventuella diskontinuiteter i godset.	Krav på ytfinhet, stagplåtar i kassetten och materialstruktur/nodularitet är under utredning.

3.4 Krav på systemet för tillverkning av insatser

Krav som ställs på system och processer redovisas nedan i tabell 3-4.

Tabell 3-4. Krav på system och processer vid tillverkning av segjärnsinsats.

Krav på system och processer	
Teknik	Det ska finnas metoder och system för att tillverka och kontrollera kapselkomponenterna.
Kvalitet	Tillverkade insatser ska uppfylla konstruktionsförutsättningarna. Detta säkerställs genom att SKB:s kvalitets- och miljöledningssystem för kapseltillverkning följs /SKB 2005/.
Tillförlitlighet	Tillförlitlighet och reproducerbarhet hos system och processer ska vara tillräcklig för att säkerställa säkerheten under drift och efter deponering. Utvecklingsmål: minst 99,9 % av levererade kapslar ska uppfylla kvalitetskraven.
Kapacitet och varaktighet	Delsystemet ska möta slutförvarssystemets krav om deponering av 1 kapsel per dag under lång tid, minst 60 år (konstruktionsförutsättning för inkapslingsanläggningen).
Uppfylla tillämpbara myndighetskrav	Leverantörer, processer och system ska kvalificeras enligt SKB:s kvalitets- och miljöledningssystem för kapseltillverkning /SKB 2005/ vari tillämpbara myndighetskrav kommer att ingå.

4 Metoder för tillverkning av kapselkomponenter

I detta kapitel redovisas det system av processer och leverantörer som utgör SKB:s referensalternativ för tillverkning av kapslar. Systemet baseras på att ett antal leverantörer levererar kapselkomponenter till en fabrik där de slutbearbetas, kvalitetskontrolleras och monteras ihop till färdiga kapslar. Erhållna erfarenheter visar att det måste anses vara fullt möjligt att tillverka kapslar vid tiden för serieproduktion som uppfyller ställda krav.

4.1 Kopparkomponenter

SKB har i samarbete med tre leverantörer utfört provtillverkningar av sömlösa kopparrör med tre metoder:

- extrusion,
- pierce and draw (dornpressning),
- smidning.

SKB har valt extrusion som referensmetod. Valet baseras på metodens repeterbarhet, speciellt vad det gäller materialstruktur samt dess kapacitet. Dessutom har metoden ett tillfredställande materialutbyte.

Gemensamt för dessa tre metoder är att rören tillverkas sömlösa, det vill säga utan långsgående svetsfogar. Kravet på tillverkade kopparkomponenter finns i SKB:s tekniska specifikation KTS002 /SKB 2005/. Utgångsmaterial är i alla tre fallen cylindriska koppargöt tillverkade genom semikontinuerlig gjutning. Det innebär att varje göt måste kapas i båda ändarna så att diskontinuiteter som bildas i götets ändrar tas bort. Utgångsmaterialet som används vid smidning av ämnen till lock och botten är kontinuerligt gjutna cylindriska göt.

I en tidigare fas har några försök att tillverka rör genom rullformning också utförts. Utgångsmaterial vid rullformning är valsad kopparplåt i anpassad bredd och tjocklek. Tekniken uppvisade flera nackdelar bland annat var det svårt att få önskvärd materialstruktur, restspänningar uppstår vilket kräver avspänningsglödning och dessutom måste rörhalvorna sammanfogas med långsgående svetsar.

4.1.1 Gjutning av koppargöt

Provgjutning av koppargöt för tillverkning av kopparrör till kapseln har utförts i samarbete med Outokumpu Poricopper Oy numera Luvata. I provgjutningarna har halvkontinuerlig gjutning av göt med diametern 850 mm och i vikter upp till 13,5 ton utförts. Kapaciteten har under senare tid ökat till 16 ton vilket har medfört att det område i götens startända, som normalt förväntas innehålla defekter, kan kapas bort med tillräcklig marginal. De inledande gjutningarna av syrefri koppar visade på svårigheten att uppfylla kravet på låg syrehalt, vilken i delar av göten blivit högre än tillverkningsspecifikationen. Fosforhalten har varit ojämnt fördelad och kaviteter har uppträtt i centrala delar av göten. Dessa problem har kunnat lösas och senare göt har uppvisat goda resultat.

Mindre koppargöt med diametern 500 mm och vikt på 1 100 kg tillverkas med kontinuerlig gjutning hos Norddeutsche Affinerie AG i Hamburg. Göten används för tillverkning av lock och bottenar.

4.1.2 Extrusion av kopparrör

Wyman Gordon Ltd i Livingstone, Skottland, har en extremt stor press för vertikal extrusion vilken kan pressa SKB:s kopparrör. Förutom rör med vägg tjockleken 50 mm har även några rör med mindre vägg tjocklekar, 40 och 30 mm, tillverkats. Extrusionen utförs som indirekt extrusion med stationär dorn enligt Cameron-processen, figur 4-1, vilken är en känd process i branschen. Förfarandet innebär att ett koppargöt, till exempel med diameter 850 mm och vikten 12,4 ton, stukas axiellt till en diameter på ca 1 425 mm. Därefter sker håltagning genom att en dorn med diameter ca 945 mm pressas centralt och axiellt genom ämnet. Det hålade ämnet maskinbearbetas på ytorna och hållets centrering justeras. Efter en ny förvärmning till ca 675° placeras ämnet i pressens extrusionscontainer. Extrusionsdornen formar tillsammans med matrisen ett ringformat munstycke genom vilket kopparämnet pressas med stor kraft. För extrusionen behövs en presskraft på ca 20 000 ton och sprutkvoten blir vid extrusionen ca 4,5:1. Med sprutkvot menas förhållandet mellan ämnets area och produktens area. Wyman Gordon använder en 30 000 tons press i vilken röret pressas vertikalt uppåt.

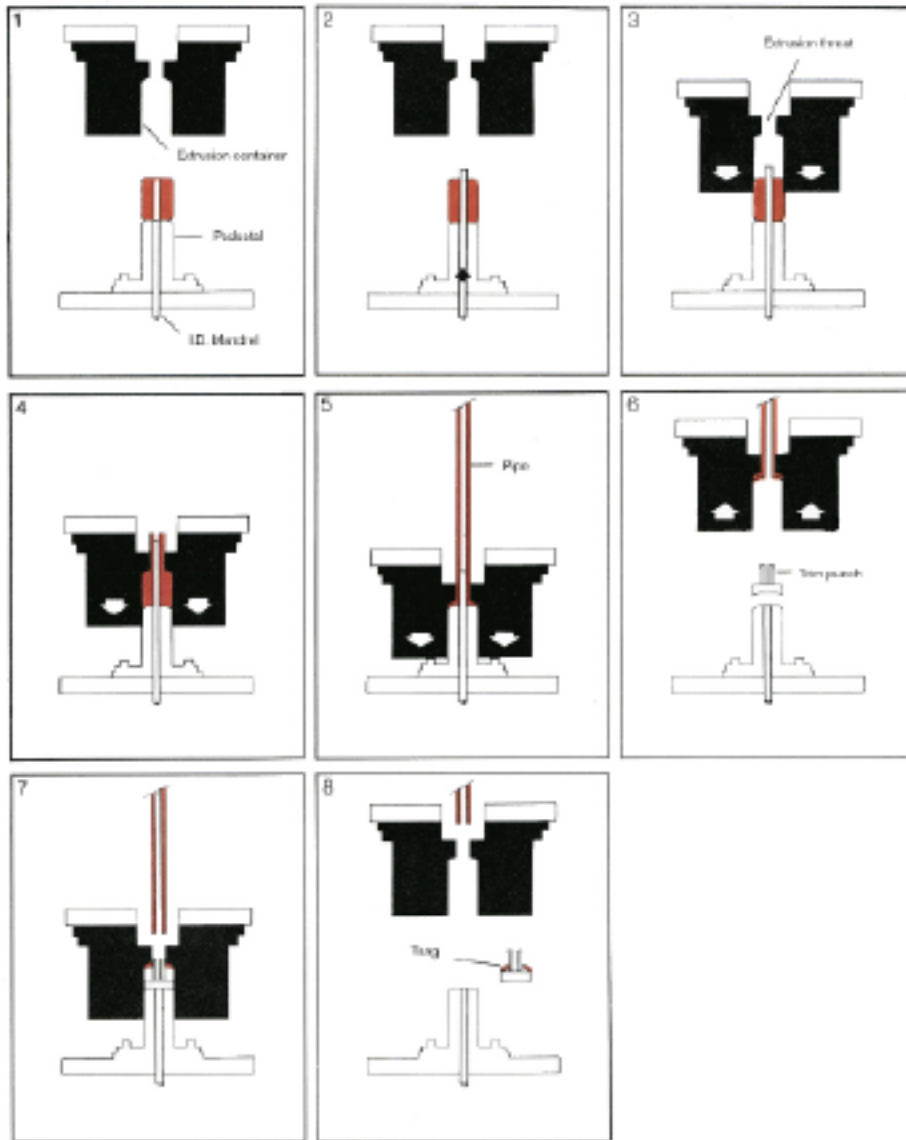
Extrusionen ger kopparröret en finkornig materialstruktur som väl uppfyller SKB:s specifikationer.

4.1.3 Pierce and draw av kopparrör

I samarbete med Vallourec & Mannesmann Tubes i Düsseldorf har provtillverkning av SKB:s kopparrör utförts med en pierce and draw process. Processen kallas ibland dornpressning på svenska. Metoden innebär att för tillverkning av SKB:s kopparrör stukas inledningsvis ett förvämt göt, exempelvis med diameter 850 mm och med vikten 13,5 ton, till diameter ca 1 100 mm. Därefter sker håltagning av götet med en dorn, t ex med diameter ca 700 mm, vilken placeras centralt på götet och pressas axiellt in i götet. Speciellt är att dornen inte pressas genom götet. En botten, ca 200–300 mm tjock, lämnas kvar. Efter håltagningen tas ämnet till en utrustning i vilken ämnet placeras på en lång dorn som fyller hålet i götet. Med stöd av den botten som lämnats kvar vid håltagningen pressas därefter ämnet sittande på dornen genom en matris, vilken reducerar ytterdiametern och därmed vägg tjockleken på ämnet. Denna dragningsoperation upprepas i ett antal operationer tills önskad vägg tjocklek har uppnåtts. Vid varje dragningsoperation förlängs röret längs dornen i motsvarande grad.

I processen kan även ämnets innerdiameter ökas genom att dornar med successivt större diametrar pressas in i ämnet inför nya dragningsoperationer. Detta kallas expansionsdrag, se figur 4-2.

Metoden ger på detta sätt rör med integrerad botten, se figur 4-2. Detta är en fördel eftersom en botten inte behöver tillverkas och svetsas fast. En svårighet har varit att erhålla en genombearbetad och finkornig materialstruktur i bottenmaterialet. Ett utvecklingsarbete och nya provtillverkningar pågår i syfte att erhålla en finkornig struktur även i botten delen av röret. För detta krävs en kraftigare bearbetning och därmed töjning av bottenmaterialet. Om detta lyckas kan metoden sannolikt tillverka rör med integrerad botten med helt igenom godkänd materialstruktur.



Figur 4-1. Bilden visar principen för extrusion av rör enligt den så kallade Cameron-processen.



Figur 4-2. Bilden till vänster visar ett hålvt varmt kopparämne som i den högra bilden sitter på dornen och pressas genom matrisen i en så kallad dragoperation.

4.1.4 Smidning av kopparrör

Provtillverkning av kopparrör genom smidning har skett i samarbete med Scana Steel Björneborg AB, i Värmland. Ett utvecklings-samarbete har lett fram till att rören nu kan smidas uppdelat i några arbetsoperationer från göt i diameter 850 mm med vikten ca 12 ton till rör som är klara för färdigbearbetning i svarv eller motsvarande. Smidningen i olika operationer innebär att det förvärmade götet först stukas axiellt. Därefter sker håltagning genom att en dorn pressas centralt och axiellt genom götet. Detta följs av ringsmidning för att öka det pressade hålets diameter i ämnet tills ämnet kan skjutas på en stor dorn som har diameter ca 930 mm. På denna dorn smids därefter ämnet genom räcksmidning det vill säga smidning med verktyg från två håll, se figur 4-3. Räcksmidningsverktygen har några olika utformningar anpassade till ämnets måttförändringar. Räcksmidningen utförs under samtidig vridning och axiell förflyttning av dornen med det omslutande kopparämnet tills ämnet formats på dornen till ett långt rör med jämn väggjocklek. Inledningsvis är götets temperatur omkring 650–750°. Dornen förvärms till ca 400°. Smidningen är något tidskrävande och behöver vanligtvis mellanvärmning av kopparmaterialet under smidningen. Även mellanvärmningen är tidskrävande. I en löpande produktion skulle tiden kunna utnyttjas bättre med fler varmhållningsugnar.

Smidningen ger ett finkornigt kopparmaterial och röret är efter renkapning av ändarna klart för maskinbearbetning till rörets färdiga mått.

I det fortsatta utvecklingsarbetet med smidning av rör kommer arbetet i huvudsak att vara inriktat på att få rätt dimensioner, vilket hittills varit svårt.

4.1.5 Smidning av kopparlock/botten

Utvecklingsarbetet för kopparlocktillverkningen har skett i samarbete med Scana Steel Björneborg AB. Förformade ämnen har smitts av kontinuerligt gjutna kopparämnen med diametern 500 mm och vikten ca 1 100 kg. Arbetet har varit inriktat på smidning i slutet verktyg vid ca 650–700°. För att hålla kraftbehovet i smidespressen så lågt som möjligt och för att få bättre materialfyllnad i verktyget har ett extra stukningssteg med en sfärisk dorn införts. Kraftbehovet blir annars relativt stort på den stora yta som locken utgör. Smidningen avslutas med räckning vilket innebär att lockämnets yta smids uppdelat i flera steg. Räckningen ger bättre fyllnad i verktygets botten och ett mindre totalt kraftbehov.

Metoden ger kopparämnen med god materialstruktur som maskinbearbetas till färdiga lock och botten, se figur 4-4. Under senare tid har införandet av friction stir welding (FSW) som förslutningsmetod medfört att kraven på smidets höjd ökats. Det uppnås genom ett omarbetat verktyg där en annan fördelning av volymen från götet fås (högre men smalare). Det har i sin tur krävt förändringar i smidesprocessen som införandet av en så kallad utstötare. Detta behov kan dock vara övergående då ett utvecklingsarbete pågår med FSW med sikte på att kunna svetsa lock med samma geometri som de lock som används vid elektronstrålesvetsning har. Smidesprocessen kommer alltså att optimeras vidare.



Figur 4-3. Smidningen av kopparröret avslutas med räcksmidning på dorn.



Figur 4-4. Bilden visar ett smitt ämne till kopparlock eller botten.

4.2 Insatser

Provtillverkning av insatser har mestadels utförts hos tre gjuterier, Åkers Sweden AB, Guldsmedshytte Bruk AB och Metso Foundries Karlstad AB. Insatserna tillverkas i gjutjärn och det valda materialet är ett segjärn med en i huvudsak ferritisk grundstruktur.

Kapselinsatsen är den tryckbärande komponenten i kapseln och ska uppfylla de krav på hållfasthet som följer av detta. Grafitens form har stort inflytande på materialets egenskaper vilken styrs genom tillsatser av små mängder av vissa ämnen till smältan.

Hållfasthetsegenskaperna, att segjärn har goda gjutegenskaper och att det är relativt lätt att maskinbearbeta är några anledningar till att segjärn valts som material i insatserna.

Krav på insatser är angivna i SKB:s tekniska specifikation KTS011 /SKB 2005/.

4.2.1 Gjutning av insatser

Insatserna gjuts med 12 kanaler för BWR-element eller 4 kanaler för PWR-element. Kanalerna åstadkommer man med hjälp av stålrör med fyrkantprofil vilka svetsas samman till en kassett som gjuts in i godset. Krav på stålrör och kassett anges i KTS021 och KTS022. Kassetten är konstruerad på ett sådant sätt att insatserna gjuts med integrerad botten. Före gjutningen har profilrören fyllts invändigt med packad sand. Detta är nödvändigt för att kassetten väggarna inte ska deformeras av trycket från smältan vid gjutningen.

Formsättning och gjutsystem kan variera från gjuteri till gjuteri. Både sandformar och gjutjärnskokiller har använts. Fyllnaden av formen med smält järn kan ske endera genom att smältan fylls på från toppen, så kallad fallande gjutning, eller genom stiggjutning då smältan leds genom en kanal ned till botten av formen och sedan stiger uppåt i formen. Båda metoderna har använts vid gjutning av insatser. Påfyllnad av smält järn medför dock att kassetten får en stor lyftkraft, vilket ställer stora krav på kassetten infästning och konstruktion.

Efter gjutningen får insatsen svalna i formen, vilket tar några dygn. Insatsen slås sedan ut ur formen, rensas och insatsens topp kapas av. För att ytterligare rengöra kanalerna har det visat sig effektivt att vid den efterföljande svarvningen lägga in metallbitar i varje kanal som får trumla under svarvningen och därigenom göra kanalerna helt rena från fastbränd sand.

4.2.2 Stållock och övriga komponenter

Ämnen för stållocken till insatsen levereras till kapsel fabriken rundskurna från plåt enligt SKB:s tekniska specifikation KTS012 /SKB 2005/. Locken bearbetas därefter till färdiga mått. Övriga komponenter; bultar, O-ringar, ventiler för atmosfärsbyte etc, som också levereras till fabriken, kommer liksom ämnen till stållocken att i samband med mottagningen genomgå en mottagningskontroll.

5 Resultat och erfarenheter

SKB har i samarbete med olika leverantörer provtillverkat kapselkomponenter som motsvarar ett 50-tal kapslar och därigenom också skaffat vissa erfarenheter i seriemässig tillverkning. I tabell 5-1 redovisas antalet tillverkade komponenter.

Genom provning och kontroll av de tillverkade komponenterna verifieras att de ställda kraven i de tekniska specifikationerna uppfylls.

Tabell 5-1. Antal tillverkade kapselkomponenter till och med december 2005.

Kapselkomponent	Beskrivning/Tillverkningsmetod	Antal
Gjutna insatser i segjärn	BWR-utförande	33
	PWR-utförande	3
Kopparrör	Extruderade	23
	Rullformade	13
	Dornpressade	7
	Smidda	4
Kopparlock/bottnar	Smidda	166
Stållock till insatser	Utskurna ur plåt	19
Sammansatta kompletta kapslar	Monterade	15

5.1 Kopparkomponenter

De kopparkomponenter som beskrivs här är koppargöt, kopparrör och lock/bottnar. Resultaten som redovisas är från komponenter tillverkade med referensmetoderna.

5.1.1 Koppargöt

Under den senaste treårsperioden har 21 stycken koppargöt för rör tillverkats för SKB hos Outokumpu Poricopper Oy numera Luvata, samt 117 mindre göt för tillverkning av lock/botten tillverkats hos Norddeutsche Affinerie AG. Tillverkningen har skett enligt en upprättad kvalitetsplan. Materialkrav och krav på dokumentation samt leveransbestämmelser är definierade i SKB:s tekniska specifikation KTS001 /SKB 2005/.

Tillverkningen av de stora göten kan beskrivas som halvkontinuerlig gjutning med tillverkning av ett göt per gjutning. Det innebär att varje göt måste kapas i toppen och i botten så att rester av defekter som alltid bildas där tas bort. Anledningen till att defekter bildas i ändarna av ett göt är att processen inte är stabil när dessa gjuts vilket kan medföra att den kemiska sammansättningen inte säkert innehålls. Eftersom provtillverkningen av rör till kapslar med 50 mm vägg tjocklek i vissa fall har inneburit svårigheter att åstadkomma rör med tillräcklig längd har genomgående så mycket som möjligt av göten använts. Det har tidigare funnits tekniska begränsningar vid tillverkning av större göt större än 13,5 ton, men denna begränsning finns inte idag

Utmaningen att tillverka göt med större utbyte har varit att styra processen så att:

- syrehalten i början av götet inte blir för hög,
- centrumsprickor i början av götet reduceras,
- fosforhalten hålls inom angivna gränser i hela götet.

Bedömningen är att det krävs ca 13,5 tons renkapade göt för att tillverka rör med integrerad botten med pierce and draw-processen, även kallad dornpressning. Vid rörtillverkning genom extrusion och smidning krävs 12,2–12,4 tons renkapade koppargöt.

Den kemiska sammansättningen i de tillverkade göten analyseras och resultaten från några sådana analyser redovisas i tabell 5-2. Utöver de i tabellen angivna analysvärden finns fler värden redovisade i /Andersson et al. 2004/. Resultaten visar att göten uppfyller kraven på den kemiska sammansättningen enligt materialspecifikationen som krävs för kemisk beständighet /SKB 2006b/.

5.1.2 Kopparrör

Totalt har 23 rör tillverkats med extrusion. Resultaten vad gäller mekaniska egenskaper och struktur är godkända och kan styras genom kontroll av tillverkningsparametrarna. Resultaten har tidigare redovisats i ett flertal lägesrapporter /Andersson 1998, 2001, 2005, Andersson et al. 2004/.

Efter att lägesrapporten 2004 /Andersson et al. 2004/ skrevs har ytterligare 8 rör extruderats och utvärderats. Resultaten från rör T39–T42 återges i tabellerna 5-3 och 5-4. Rören tillverkades i serie, vilket fungerade bra. Extrusion är därmed en metod som kan användas för serietillverkning av kopparrör.

Resultaten visar att uppmätta kornstorlekar är mindre än det kornstorlekskrav (< 800 µm) som har ställts /SKB 2006b/. För att kontrollera att materialet uppfyller kravet på minst 30 % förlängning har dragprov gjorts på alla rören. Resultatet visar att samtliga rör uppfyller kravet 30 % förlängning med god marginal.

Tabell 5-2. Kemisk sammansättning (ppm) i göt, vilka har använts för tillverkning av angivna rör.

Ämne	Kemisk sammansättning (ppm)				
	Krav (KTS001)	Rör nr T39	Rör nr T40	Rör nr T41	Rör nr T42
P	30–70	65	60	59	55
Ag	< 25	13,7	11,6	13,3	14,1
As	< 5	1,02	1,15	1,14	1,2
Bi	< 1	0,18	0,18	0,21	0,44
Cd	< 1	< 0,003	< 0,003	0,000	< 0,01
Fe	< 10	0,4	0,4	1,1	0,8
H	< 0,6	0,33	0,44	0,30	0,15
Mn	< 0,5	< 0,1	< 0,1	0,1	< 0,1
Ni	< 10	0,5	0,7	0,6	0,9
O	< 5	1,3	1,9	2,9	2,3
Pb	< 5	0,24	0,23	0,33	0,41
S	< 8	6,5	5,6	6,0	6,5
Sn	< 2	0,12	0,07	0,09	0,21
Te	< 2	0,13	0,24	0,26	0,41
Zn	< 1	< 0,1	< 0,1	0,00	< 0,2

Tabell 5-3. Kornstorlek i fyra extruderade kopparrör, nr T39–T42. Tabellen anger sammanslagna mätvärden mätta; nära ytterdiametern (utsida), i mitten av väggjockleken (mitten) och nära innerdiametern (insida).

Position på rören	Kornstorlek enligt ASTM	Kornstorlek (μm)
Insida, rörände A	3	127
Mitten, rörände A	4–3	90–127
Utsida, rörände A	4–3	90–127
Insida, rörände B	4–3	90–127
Mitten, rörände B	3,5–3	90–107
Utsida, rörände B	4–3	90–127

Tabell 5-4. Mekaniska egenskaper hos tillverkade kopparrör.

Rör	Area (mm^2)	Måtlängd (mm)	Max last (kN)	Brottgräns (R_m , N/mm^2)	Sträckgräns ($R_{p0,2}$, N/mm^2)	Förlängning (%)	Area reduktion (%)	Temp ($^\circ$)
T39	153,3	70	33,50	219	64	59,5	88	20
T40	153,9	70	33,30	216	63	62,0	87	20
T41	155,3	70	33,75	217	58	65,0	86	20
T42	157,3	70	33,65	214	62	63,0	88	20

5.1.3 Kopparlok och botten

Totalt har 166 lok/bottnar tillverkats genom smidning. Metoden behöver utvecklas ytterligare inför framtida serieproduktion, men det är en metod som är repeterbar.

Provtillverkningar har gett kornstorlekar mellan 90 och 254 μm och förlängningsvärden över 50 % /Andersson et al. 2004/. Resultaten visar att kraven på kornstorlek och förlängningsvärden, enligt teknisk specifikation KTS002, uppfylls.

5.2 Insatser

Totalt har 36 insatser gjutits i segjärn varav 3 stycken i PWR-utförande och resterande i BWR-utförande. Anledningen till det ojämna antalet är att BWR-utförandet med 12 kanaler är mer komplicerat att tillverka, varför SKB fokuserat utvecklingen på det utförandet.

Gjutningsmetoden har utvecklats under provgjutningarna genom förbättringar av t ex infästning av kassetten i botten, gjuttemperaturen etc. Denna utveckling finns beskriven i /Andersson 2005/.

För att visa på insatsens tillförlitlighet har en probabilistisk analys av insatsens förmåga att möta de spänningar och belastningar som den utsätts för i slutförvaret genomförts /Andersson et al. 2005/. I samband med detta genomfördes tryckprov av kapseln.

Tre olika insatser har ingått i projekten där ett stort statistiskt testprogram har bestämt den statistiska fördelningen av de varierande materialparametrarna och defektfördelningen för att bestämma sannolikheten för plastisk kollaps orsakat av högt tryck eller brott orsakat av spricktillväxt i regioner med dragspänningar. Resultatet visar på en mycket låg sannolikhet för brott i båda fallen.

Försök har utförts för att visa kapselkonstruktionens och speciellt insatsens tillförlitlighet angående yttre övertryck. Provbekastning i form av två tryckprov, vardera bestående av förkortade kapslar med insatsens höjd 950 mm, vilket ger kapselvikten 5 000 kg, har utförts. Båda tryckproven har utförts till ca 130 MPa /Nilsson et al. 2005/. Tryckproven visar på en hög säkerhet mot designtrycket, som är satt till 45 MPa /SKB 2006b/.

I tabell 5-5 redovisas hållfasthetsresultat från gjutningar utförda under 2005. Resultaten visar att både BWR- och PWR- typen av insats uppfyller kraven på mekaniska egenskaper i KTS011. Förlängningsvärdena är lägre för PWR- än BWR-insatser. Det beror sannolikt på den relativt höga perlithalten i PWR-insatserna och att nodulariteten ligger något under kravet 80 %. Den större mängden järn i PWR-insatserna medför långsammare svalning vilket gynnar bildandet av perlit.

Tabell 5-5. Hållfasthetsresultat segjärnsinsats IP4 och I48.

Insats	Sträckgräns ($R_{p0,2}$, N/mm ²)	Brottgräns (R_m , N/mm ²)	Förlängning (%)
Krav i KTS011	240	370	7
IP4 (PWR)	274	379	8,9
I48 (BWR)	277	398	15,5

5.3 Diskontinuiteter

I detta avsnitt beskrivs avvikelser i materialen, så kallade diskontinuiteter, som kan tänkas uppträda vid produktionsmässig tillverkning av kapselkomponenter till SKB:s kapsel för använt kärnbränsle.

Nedan ges en analys av hur detekterade eller på annat sätt ifrågakommande diskontinuiteter kan hänföras och ha sin uppkomst. Gjutning av koppargöt, extrusion av rörämnen, gjutning av insatser och smidesmetoden för tillverkning av lock- och bottenämnen behandlas.

Möjligheten att identifiera diskontinuiteter behandlas såväl som rutiner för kvalitetssäkring i tillverkningen av komponenter. De tänkbara typerna av avvikelser har sammanställts i tabellerna 5-6 till 5-8.

Processen vid gjutning av insatser kan ge flera typer av störningar som visar sig i det gjutna materialet i form av olika diskontinuiteter. Dessa kan delas upp i grupperna; kaviteter, inneslutningar och mikrostrukturella förändringar. De tekniskt använda gjutjärnen har vanligen kolhalter i intervallet 2,5–4 %. Kol som inte binds på annat sätt skiljs ut som fri grafit då det smälta järnet stelnar. Den fria grafiten kan uppträda i olika former, vilket ger olika typer av grafitiskt gjutjärn. Segjärnets grafitformer utgörs av sfäriska, så kallad noduler. Andra grafitformer än segjärnets sfäriska form kan uppträda och ger då delvis andra materialegenskaper.

På samma sätt som vid gjutning av segjärn kan inneslutningar eller kaviteter uppträda vid gjutning av koppar. Speciellt vid gjutning av de stora koppargöt som används som utgångsmaterial vid varmformning av SKB:s kopparrör har diskontinuiteter kunnat identifieras. I första hand har diskontinuiteter noterats i form av sprickor och kaviteter som företrädesvis uppträtt i götets centrala delar. Dessa diskontinuiteter har varit mest uttalade i götens ändar. Andra diskontinuiteter kan vara oxidinneslutningar eller inneslutningar av andra främmande partiklar.

I samband med varmformning av kopparkomponenter kan diskontinuiteter som finns i göten omfördelas till den formade kopparkomponenten. Kaviteter i götets inre delar som inte är oxiderade kan i många fall fogas eller smidas samman under extrusionsprocessen. Sådana diskontinuiteter försvinner därmed medan kaviteter med ytor som är oxiderade formar stråk av oxidpartiklar i det extruderade röret.

I appendix ges en översiktlig presentation av makroskopiska diskontinuiteter som kan uppträda i kapselkomponenternas olika tillverkningsstadier.

Tabell 5-6. Tänkbara avvikelser i gjutna ämnen av syrefri koppar (OF-koppar).

Avvikelse	Kontrollmetod	Orsakar
1. Ojämn fördelning av fosfor och syrehalt i göten.	Kemisk analys, många prover krävs.	Krypduktilitet kan försämras, korrosionsegenskaper kan försämras.
2. Fosfor och föroreningars segringar mot götets centrum.	Provtagning, många prover krävs.	Krypduktilitet kan försämras, korrosionsegenskaper kan försämras.
3. Ojämn fördelning och partiell förbränning av fosfor vid gjutning.	Provtagning, många prover krävs.	Krypduktilitet kan försämras.
4. Syrehalten i smältan ändras under gjutningen.	Kontinuerlig processkontroll.	Korrosionsegenskaper kan försämras.
5. Otillräcklig kontroll på kylningen vid gjutning.	Beräkning av stelningsfront, erfarenhetsförfarande.	Stora centrala sprickor kan bildas, som i vissa fall kan oxideras och föras vidare i efterföljande processsteg. Oxidsstråk kan då finnas i den slutliga detaljen.
6. Grov mantelyta på götet.	Okulär.	Kan ge flera mm djupa och delvis dolda oxiderade ytsprickor. Konsekvens som punkt 5.
7. Oxiderade inre sprickor som smids bildar oxidstråk i materialet.	Processkontroll Penetrantprovning.	Konsekvens som punkt 5.

Tabell 5-7. Tänkbara avvikelser som kan uppträda vid extrudering av kopparrör.

Avvikelser	Kontrollmetod	Orsakar
1. Inneslutningar och oxiderade sprickor i götet.	OFP-ultraljud.	Åstadkommer oxidslingor i det varmformade ämnet. Beroende på slingornas orientering och storlek kan korrosionsbarriären påverkas.
2. Hög friktion.	Okulär.	Repor i ytan.
3. "speed cracking".	OFP.	Sprickor.
4. "hot tearing".	Okulär.	Ytsprickor.
5. Excentriskt rör.	Måttkontroll.	Krav på koppartjocklek kan inte innehållas efter renbearbetning.
6. Krokigt rör.	Måttkontroll.	Krav på raket/tjocklek kan inte innehållas efter renbearbetning.
7. Felaktig materialstruktur.	Processkontroll. Erfarenhetsvärden, strukturprov. Ljuddämpningsmätning.	Krav på provbarhet kan inte innehållas och krypduktilitet kan påverkas.

Tabell 5-8. Tänkbara fel som kan uppträda vid smidning av ämnen till lock och botten.

Avvikelse	Kontrollmetod	Orsakar
1. För stora göt orsakar skäggbildning vid smidning i formverktyg, se figur 5-1.	Processkontroll. Vikt- eller volymkontroll före smidning.	Extra bearbetning.
2. Smidesveck.	Processkontroll, okulär. Ultraljud.	Oxiderade sprickliknande defekter.
3. För små göt orsakar otillräcklig materialfyllnad i verktyget, se figur 5-1.	Processkontroll. Vikt- eller volymkontroll före smidning.	Måttkrav kan inte innehållas efter slutbearbetning, provbarhetskravet innehålls inte på grund av felaktig materialstruktur.
4. För låg ämnestemperatur medför att bearbetningen kräver för hög smideskraft vilket orsakar otillräcklig materialfyllnad.	Temperaturkontroll. Kontroll av smideskraften.	Måttkrav kan inte innehållas efter slutbearbetning. Krav på provbarhet kan inte innehållas på grund av felaktig materialstruktur.
5. För hög ämnestemperatur orsakar korntillväxt.	Temperaturkontroll. Ljuddämpningsmätning.	Krav på provbarhet kan inte innehållas. Krypduktiliteten kan påverkas.
6. Oxiderade inneslutningar från oxiderade sprickor i göt.	Ultraljud.	Diskontinuitet ger minskad koppartäckning.

Tabell 5-9. Tänkbara fel som kan uppträda vid gjutning av insatser.

Avvikelse	Kontrollmetod	Orsakar
1. Blåsor (t ex gasinneslutning).	OFP (ultraljud).	Lägre hållfasthet.
2. Sugningar (på grund av otillräcklig materialfyllnad).	OFP (ultraljud).	Lägre hållfasthet.
3. Defekt grafitstruktur (så kallad "chunkygrafit").	Under utredning.	Lägre duktilitet.
4. Inneslutningar (t ex slagg eller oxider).	OFP (ultraljud).	Lägre duktilitet.

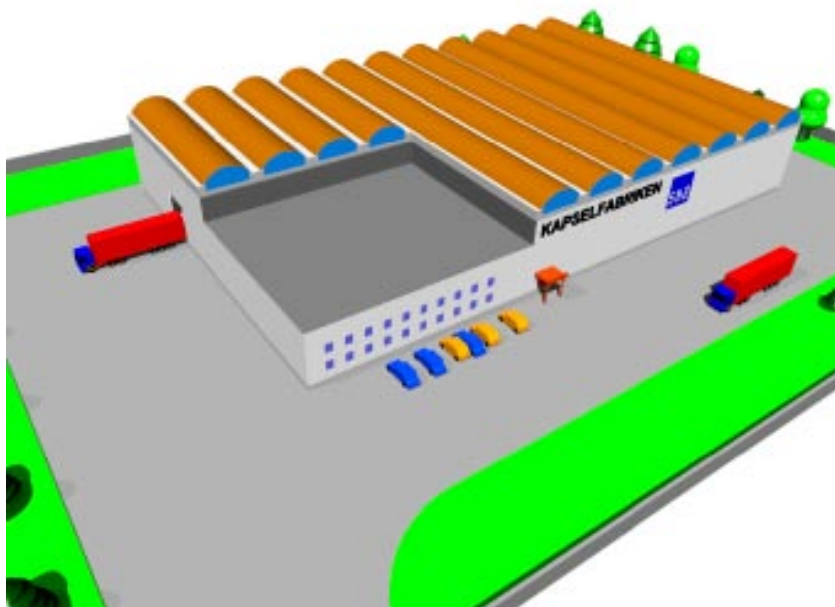
**Figur 5-1. Färdigsmitt ämne till kopparlock/botten, med överskottsmaterial eller skägg.**

6 Kapsel fabriken

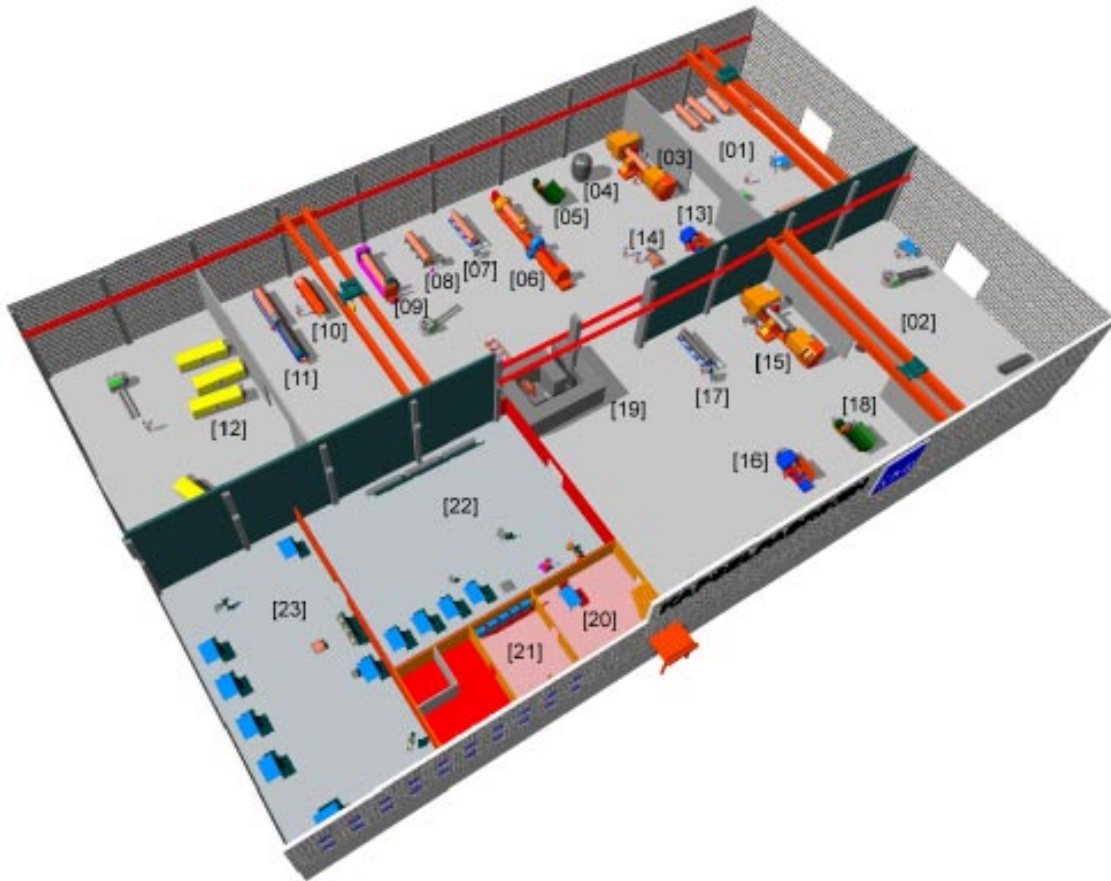
Referensalternativet för tillverkning av kapslar innebär att SKB i egen regi driver en fabriksanläggning för att färdigställa kapslarna. Även andra alternativ för färdigställande av kapslarna övervägs. Anläggningen som beskrivs nedan, kallad Kapsel fabriken, ska alltså ses som en möjlig lösning. Beskrivningen är resultatet av en förstudie inom ramen för referensalternativet för slutbearbetning, montage och kontroll av kapslar. Enligt den tidsplan som anges i Fud-program 2004 beräknas den egentliga projekteringen av fabriken starta 2009. Teknikutvecklingen avseende de viktigaste systemen för bearbetning, svetsning och OFP pågår och läget redovisas övergripande här och mer detaljerat i de referenser som anges i texten.

Fabriken utformas i detta förslag för att färdigställande och kontroll av kapslarnas ska kunna utföras på sådant sätt att ställda krav blir uppfyllda. Beskrivning av verksamhetens utformning utgår från de krav som ställs i form av kapacitet och resurseffektivitet samt de kvalitetskrav som anges i det kvalitets- och miljöledningssystem som successivt håller på att byggas upp. Förstudien har utgått från den övergripande kravbild som återges i tabell 6-1.

Utformningen av kapsel fabriken är baserad på att varmformade ämnen till kopparrör och ämnen till lock- och botten levereras till fabriken. På samma sätt levereras gjutna insatser och rundskurna plåtämnen av stål för tillverkning av lock till insatsen. Fabriken är uppdelad i två avdelningar. Den ena för maskinbearbetning av koppar och den andra för bearbetning av stål och segjärn. Därmed kan de två metallerna hållas isär för enklare spånhantering och för bättre miljö i lokalen. Fabriken exteriör visas i figur 6-1 och dess disposition i bottenplanet visas i figur 6-2.



Figur 6-1. Kapsel fabriken exteriör.

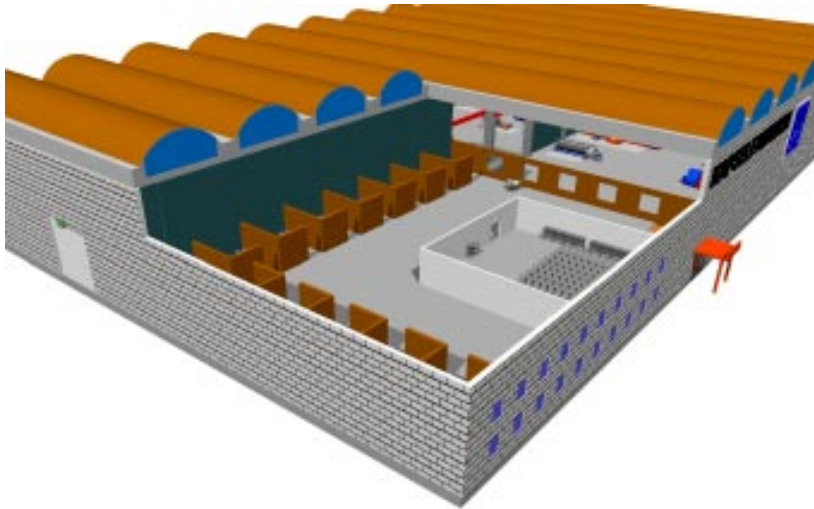


Figur 6-2. Bilden visar kapselverkens bottenplan med arbetsstationer enligt följande:

- | | |
|---|---|
| 01. Mottagning av varmformade kopparämnena. | 13. Bearbetning av lock/botten. |
| 02. Mottagning av ämnen till insatser och stållock. | 14. Ultraljudsundersökning av lock/botten. |
| 03. Utvändigt bearbetning av kopparrör. | 15. Bearbetning av insatser. |
| 04. Skärvätsketank. | 16. Bearbetning av stållock. |
| 05. Spånpress med filtrering. | 17. Ultraljudsundersökning av insatser. |
| 06. Invändigt bearbetning av kopparrör. | 18. Spånpress. |
| 07. Ultraljudsundersökning av kopparrör. | 19. Röntgen och ultraljud av botten svets. |
| 08. Måttkontroll. | 20. Entré med trapp. |
| 09. Bottensvetsning – FSW. | 21. Personalrum med omklädning. |
| 10. Tvättkammare för kopparrör. | 22. Verkstad för underhåll och verktygsservice. |
| 11. Monteringsstation. | 23. Driftlaboratorium. |
| 12. Lager för färdiga kapslar. | |

Efter bearbetning av kapselkomponenterna och svetsning av botten möts koppar- och stål-/järnkomponenterna för montering av kapseln. Fabriken innehåller dessutom stationer för måttkontroll, oförstörande provning och rengöring.

Inom fabriken finns även kontors-, samlings- och personalutrymmen samt en reception. Kontorsutrymmena är placerade på andra våningen över utrymmena med beteckningarna 20–23 i figur 6-2, se figur 6-3.



Figur 6-3. Bilden visar kapselbrukens kontorsplan placerad på andra våningen.

Tabell 6-1. Krav på kapselbruk.

Krav på system och processer	
Teknik	Metoder och system för att färdigbearbeta, kontrollera och montera kapselkomponenterna ska finnas.
Kvalitet	Tillverkade kapslar ska uppfylla konstruktionsförutsättningarna. Detta säkerställs genom att SKB:s kvalitets- och miljöledningssystem för kapseltillverkning följs /SKB 2005/.
Tillförlitlighet	Tillförlitlighet och reproducerbarhet hos system och processer ska vara tillräcklig för att säkerställa säkerheten under drift och efter deponering. Utvecklingsmål: minst 99,9 % av levererade kapslar ska uppfylla kvalitetskraven.
Kapacitet och varaktighet	Kapselbruk ska möta slutförvarssystemets krav om deponering av 1 kapsel per dag under lång tid, minst 60 år (konstruktionsförutsättning för inkapslingsanläggningen).
Uppfylla tillämpbara myndighetskrav	Metoder och system för att färdigställa och kontrollera kapslar skall uppfylla tillämpbara myndighetskrav och SKB:s kvalitets- och miljöledningssystem för kapseltillverkning /SKB 2005/.

6.1 Fabriksbyggnaden

En föreslagen fabriksbyggnad för tillverkning av kompletta kapslar, vilket inkluderar bearbetning av kopparrör och lock samt bearbetning av insatser i segjärn, svetsning, montering och kontroll omfattar 5 820 m². I byggnaden inryms förutom fabrikshallar även kontor med konferensrum samt personalutrymmen. Röntgenkammaren utrustas med erforderliga strålskyddsväggar för röntgenundersökning av bottenhetsen. För montering av kapslarna, det vill säga vid isättning av insatsen i kopparbehållaren erfordras en ca 4 meter djup grop i fabriksgolvet. Fabriksbyggnaden utrustas med två traversbanor för minst 25 ton. Byggnaden utrustas med erforderliga in- och utlastningsbryggor för kapselkomponenter och färdiga kapslar.

6.2 Flödet i kapselfabriken

För inkommande prefabricerade ämnen för kopparkomponenter och för gjutna insatser innehåller fabriken två lagerlokaler för vardera koppar- respektive järn-/stålmaterial. Ämnena kan levereras helt obearbetade eller grovbearbetade av underleverantörer. Om produkterna ska kontrolleras med OFP (ultraljud) hos leverantörerna är dock grovbearbetning en förutsättning och dessutom innebär grovbearbetning hos leverantörerna att hanteringen av spånor i fabriken minskar.

Ämnena av koppar för rör, bottenar och lock mellanlagras i lagret för kopparkomponenter och gjutna ämnen till insatser samt ämnesskivor till stållock lagras i lagret för stålkomponenter.

Vid godsets ankomst görs en mottagningskontroll med avseende på antal och identitet mot frakthandlingar och leveranscertifikat. En måttkontroll utförs därefter. Ytterligare kvalitetskontroll av kapselkomponenterna sker efter bearbetning.

Ämnena från de båda lagren tas successivt över till respektive bearbetningshall. Kopparrören bearbetas i två stora specialmaskiner. Efter bearbetningarna i såväl koppar- som i järn-/stål-linjen görs måttkontroll och oförstörande provning. En mätoperation följer efter respektive maskinbearbetning. Den oförstörande provningen utförs i tre separata stationer där koppar-rör, kopparlock och botten respektive insatsen undersöks med ultraljud.

När ett kopparrör och en botten är bearbetade transporteras de till stationen för svetsning. Svetsmetoden är friction stir welding (FSW). Efter svetsningsoperationen sker bearbetning av mantelytan i svetsområdet och oförstörande provning. Bearbetning av svetsområdet sker i samma maskin som bearbetning av mantelytan. Den oförstörande provningen av svetsen utförs med ultraljud och med röntgen. Efter svetsning, bearbetning av svetsområdet och OFP sker tvättning av kopparröret med botten och det tillhörande locket i en automatiserad kammartvätt. Därefter är kopparröret med botten klart för montering.

I monteringsstationen monteras insatsen i kopparhöljet och efter visuell slutkontroll görs kapseln klar för leverans. Stållock och kopparlock levereras med varje kapsel.

Fabriken innehåller även en verkstad för verktygsservice och maskinunderhåll och ett laboratorium för kontroll-, provnings- och OFP-resurser.

6.2.1 Mottagning och kontroll

Varmformade kopparämnen

Inkommande prefabricerade kopparkomponenter levereras till mottagningshallen för koppar-ämnen. I samband med mottagning av kopparämnena görs en mottagningskontroll med avseende på antal och identitet mot frakthandlingar och leveranscertifikat. Leverantören bifogar kontrolldokumentation enligt SKB tekniska specifikation KTS002 /SKB 2005/. Mottagningskontrollen för kopparrör innebär också uppmätning av rörens diameter, rundhet och rakhet. Även dokumentation och mått för ämnen till lock och bottenar kontrolleras.

Grovsvarvade insatser och ämnen till stållock

Inkommande gjutna insatser levereras grovsvarvade till mottagningshallen för insatser. Även ämnen till stållock levereras till mottagningshallen. Vid godsets ankomst görs en mottagningskontroll med avseende på antal och identitet mot frakthandlingar och leveranscertifikat. Leverantören bifogar ett certifikat enligt SKB:s tekniska specifikationer KTS011 och KTS012 /SKB 2005/. En ytterligare mottagningskontroll innebär kontroll av

leverantörens certifikat, måttkontroll och kontroll av insatsernas kanaler. Måttkontrollen av insatsen sker med konventionella mätverktyg och tolkar. Kontroll av kanalernas form och raket sker med speciella kanaltolkar som förs in i kanalerna.

I lokalen samlas och lagras även järnspån från bearbetningen. Lokalen är rumstempererad för att ämnen som ska gå till bearbetning ska vara torra.

6.2.2 Maskinbearbetning

Bearbetningen av kopparkomponenterna utförs i tre maskiner. En för utvändig bearbetning av kopparröret, en för invändig bearbetning av kopparröret och en för bearbetning av lock och botten.

Vid bearbetningsstationerna för det fem meter långa kopparröret utförs utvändig bearbetning av rörets ytterdiameter till ca 1 050 mm, samt bearbetning av rörets invändiga diameter, ca 950 mm. Om röret har integrerad botten, som varmformning med pierce and draw-processen ger, ska denna bearbetas invändigt längst inne i röret och utvändigt genom planbearbetning.

I bearbetningsstationen för lock och botten, vilka har snarlikt utformning, sker bearbetning av de förformade kopparämnena.

Till kopparbearbetningen hör även utvändig bearbetning av mantelytan efter botten svetsningen och bearbetning av lockets förlängda fläns efter svetsning med FSW.

Maskinerna för kopparbearbetningen bör placeras så att spånorna kan transporteras till den gemensamma spånpressen.

Bearbetning av insatser samt av insatslock sker inom kapselns avdelning för stål- och segjärnsbearbetning. Den utvändiga bearbetningen av den gjutna sejärnsinsatsen, som är ca 16 ton tung, omfattar mantelytan och båda ändytorna. bearbetningen omfattar också borrar och gängning av några hål i insatsens övre ände.

Insatslocket tillverkas av 50 mm tjock stålplåt som tas in skurna i runda skivor vilka färdigbearbetas i en svarv.

Utvändig bearbetning av kopparröret

Maskintypen som används för utvändig bearbetning av kopparröret arbetar enligt metoden svarvfräsning. Maskinen har utvecklats ur en konventionell svarv som utrustats med en fräsenhet vilket förhöjer maskinens prestanda, se figur 6-4. På tornet, som fräsenheten kallas, appliceras ofta fräshuvud, borrenhet och slipenhet. För bearbetning av kopparröret används fräsenheten och borrenheten.

Fördelarna med svarvfräsning i detta fall, jämfört med svarvning, är kortare bearbetningstid, bättre ytfinhet samt överlägset bättre spånåtgång. Vid svarvning av långspånig koppar kan spåntrassel vara ett stort problem, vilket inte ska utgöra svårigheter vid den föreslagna svarvfräsningen. Lämplig maskin för utvändig bearbetning av kopparröret kan vara en svarvfräs med 5 eller 6 meters arbetslängd.

Lämplig fräskroppstorlek är en fräs med diameter 200 mm med 16 skär för bearbetning med skärhastigheten 2 000 meter/minut i koppar. Skärvätska bedöms inte vara nödvändig för den utvändiga svarvfräsningen.



Figur 6-4. CNC-svarvfräs typ PC4, med torn och verktygsväxlare.

Efter riggning av kopparröret i maskinen bearbetas det med fräsenheten till rätt diameter. Under bearbetningen är röret inspönt med backskivor i båda ändarna. När första operationen är utförd lossas röret från ena sidans backskiva och röret vilar på två stöddockor och det ena ändplanet bearbetas. Därefter upprepas proceduren för den andra änden. Om kopparröret har tillverkats med integrerad botten bearbetas hela bottenplanet, vilket kan förlänga bearbetningstiden något.

I maskinen finns även tidsutrymme för utvändigt renbearbetning av en kort del av ytterytan efter utförd svetsning av botten samt eventuell längdjustering av röret. Detta utförs i en separat operation.

Invändig bearbetning av kopparröret

Den invändiga bearbetningen av kopparröret utförs som svarvfräsning. Fräsningen sker med en fräs med en diameter som utgör halva rörets innerdiameter. Med så stor fräs kan även rör med integrerad botten bearbetas. Bildade spånor spolats ut med ett kraftigt flöde av skärvätska. Det finns även alternativ med dammsugning (luft eller vakuum) eller mekanisk transportör för uttransport av spånor. Vid svarvfräsning med kort skärlängd och hög skärhastighet fås spånor med formen av korta flingor.

Lämplig bearbetningsmaskin för invändig bearbetning med svarvfräsningsmetoden kan vara en långhålsbormaskin för invändig fräsning med 5 eller 6 meters arbetslängd. Maskintypen visas i figur 6-5.

Maskinen kan bearbeta både rör med öppna ändrar och rör med integrerad botten. Vid bearbetning av rör med integrerad botten måste maskinen vara försedd med en kraftigare motor, vilket krävs för bearbetningen vid botten.

Det finns olika grundläggande principer för invändig bearbetning. Principen att låta arbetsstycket rotera med stillastående fräsenhet anses vara att föredra med tanke på att fräsenheten vanligtvis behöver ett invändigt stöd mot den bearbetade innerytan. Den ger stabilare bearbetning. Den invändiga bearbetningen av botten kommer att ge en liten innerradie vid botten, vilket bör beaktas vid utformningen av insatsen.



Figur 6-5. Långhålborrmaskin typ PB2.

Metoden ger oljebelagda spånor om skärvätska används. Detta orsakar dels stor oljeförlust och även sanitära problem på verkstadsgolvet och på förvaringsplatsen för spånorna. För att åtgärda detta bör en spånpress installeras. I en sådan anläggning renas spånorna från oljan och oljan samlas upp.

Bearbetning av botten och lock av koppar

Arbetsmomenten vid bearbetningen av lock och botten utförs genom svarvfräsning i en för produkterna anpassad maskin. Metoden ger fördelar såsom korta spånor och god ytfinitet. Spånkontroll är viktig vid bearbetning av stora kopparkomponenter. Maskinen är programstyrd och botten och lock, vilka har snarlika utformning, bearbetas i samma maskin. Maskinen bör vara försedd med verktygsrevolver för verktygsbyten.

Maskinen är i grundutförande en konventionell svarv, som saknar dubbdocka. Den bör utrustas med en C-axel med drivna verktyg för fräsningsarbete. Maskinen visas i figur 6-6. Bearbetningen utförs så att kopparämnet eller plattan appliceras till backskivan med hjälp av utvändiga mjuka backar varvid den ena sidan svarvas och fräses till slutmått. Därefter vänds locket som appliceras i backskivan med hjälp av invändiga mjuka backar och den andra sidan färdigbearbetas till slutmått.

Bearbetning av insatsen

Bearbetning av insatsen av segjärn kan utföras i samma typ av svarvfräsmaskin som används för utvändig bearbetning av kopparröret. Lämplig fräskropp här är en fräs med diametern 315 mm med 12 skär, se figur 6-7.

Bearbetningen kan utföras utan skärvätska. Maskinen utrustas dock med en kraftig utsug för att förhindra dammbildning i samband med bearbetningen av segjärnet. I maskinen kan hela bearbetningen utföras i en och samma uppriggning genom att maskinen utrustas med två backskivor. Den ena backskivan sitter med en drivenhet på dubbdockan. Insatsen fixeras inledningsvis vid båda backskivorna och svarvfräses till slutmått. Därefter frigörs bottenändan av insatsen med insatsen liggande i stöddockor. Bottenändan finsvarvas med hjälp av det så kallade tornet till slutmått medan toppändens backskiva driver arbetsstycket. Därefter byter man fixturering till bottenändens backskiva med insatsen fortfarande liggande i stöddockor för svarvfräsning av insatsens toppände.



Figur 6-6. CNC-svarv för bearbetning av lock och botten i koppar.



Figur 6-7. Maskin för svarvfräsning av insatsen. Den blå enheten på bilden utgör fräsenhet, även kallad tornet. Till höger framgår den gula dubbdockan.

När toppänden av insatsen är klar kan man med hjälp av tornet borra de två 45 mm-hålen och 30 mm-hålet i centrum. Därefter gängfräses hålens gängor. Den stora fördelen med detta förfarande är den tidsbesparing som endast en upprigging ger. För att ta hand om spånor bör en brikettmaskin användas.

Bearbetning av stållocket

Insatslocken tillverkas av valsad stålplåt. Lockämnen levereras rundskurna till fabriken där locken färdigbearbetas inklusive O-ringspår och centrumhål. Svarvningen utförs i en anpassad CNC-maskin. Lämplig maskintyp är samma som den som används vid färdigställande av kopparlocken.

Bearbetningen kan utföras så att ämnesmaterialet till stållocket fixeras till backskivan för bearbetning till rätt mått. Bearbetningen av ytan samt försänkningen i centrum av locket och hålen för bulten och ventilen för atmosfärsbyte utförs som cirkulärfräsning. Därefter omfixtureras locket för bearbetning av lockets andra sida där även O-ringspår utförs. För uppspänningen kan man använda spännbackar eller en magnetchuck. Avslutningsvis sätts ventilen på plats.

6.2.3 OFP av bearbetade komponenter

Efter maskinbearbetningen av kopparrör och av lock och botten bör ytfinheten vara väl lämpad för oförstörande provning med ultraljud. Ultraljudsundersökningen utförs i en utrustning för automatisk avsökning. Röret placeras i en vagga som långsamt roterar medan ultraljudsökare ligger an mot röret och matas i axiell riktning, se figur 6-8. OFP-metoden beskrivs i en separat rapport /SKB 2006d/. Lock och botten undersöks också med ultraljud figur 6-9. Informationen samlas och utvärderas i en dator.

Maskinbearbetningen av insatsen ska utföras så att dess ytfinhet blir väl lämpad för oförstörande provning med ultraljud. Ultraljudsundersökningen utförs i en utrustning för automatisk avsökning. Insatsen placeras i en vagga som långsamt roterar medan ultraljudsökare ligger an mot mantelytan och matas i axiell riktning, figur 6-10.

Ingen oförstörande provning utförs på ämnen till stållock, däremot utförs en enkel måttkontroll.

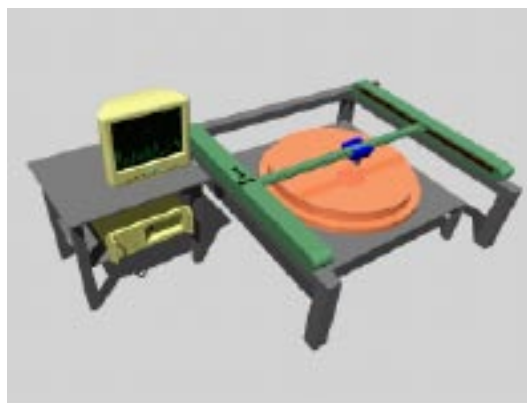
6.2.4 Svetsning av kopparbotten

Referensmetoden för svetsning av botten är densamma som för förslutning av kapseln, friction stir welding (FSW). Svetsprocessen och svetsystemet finns detaljerat beskriven i en separat rapport /SKB 2006c/. Ett förslag till utformning på en svetsmaskin visas i figur 6-11 där kapseln placeras liggande vid botten svetsningen. Varje svetsning dokumenteras enligt SKB:s tekniska specifikation KTS003 /SKB 2005/.

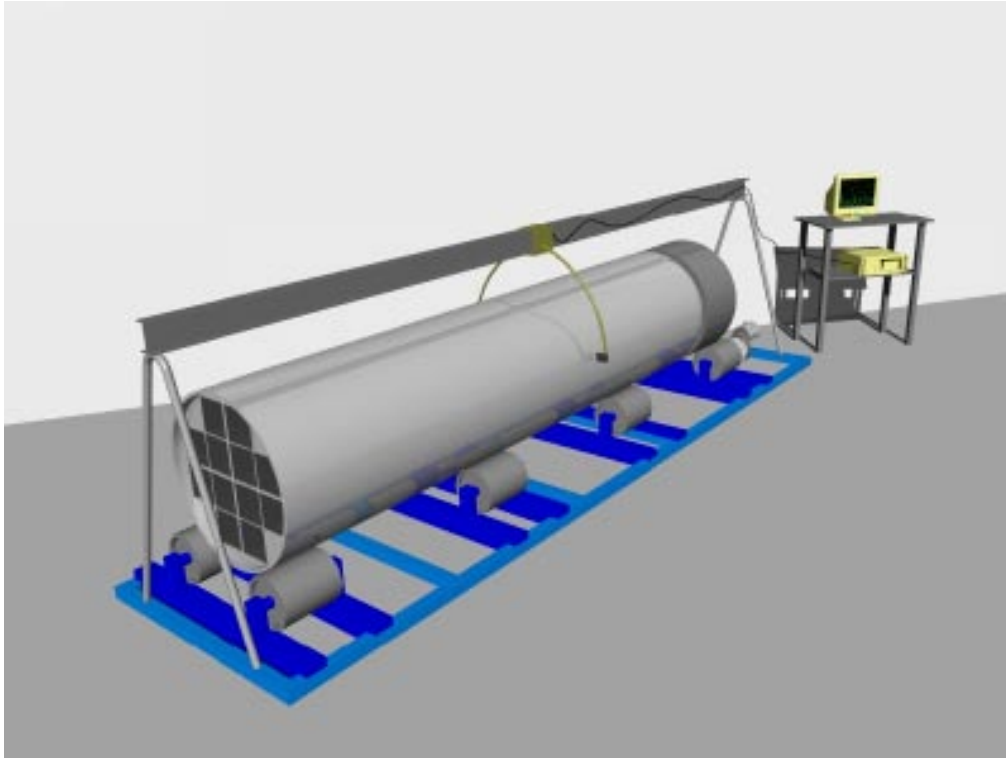
Den efterföljande bearbetningen av kopparkapseln mantelyta och av lockets förlängda fläns utförs i den stora bearbetningsmaskinen för utvändigt bearbetning av kopparrören.



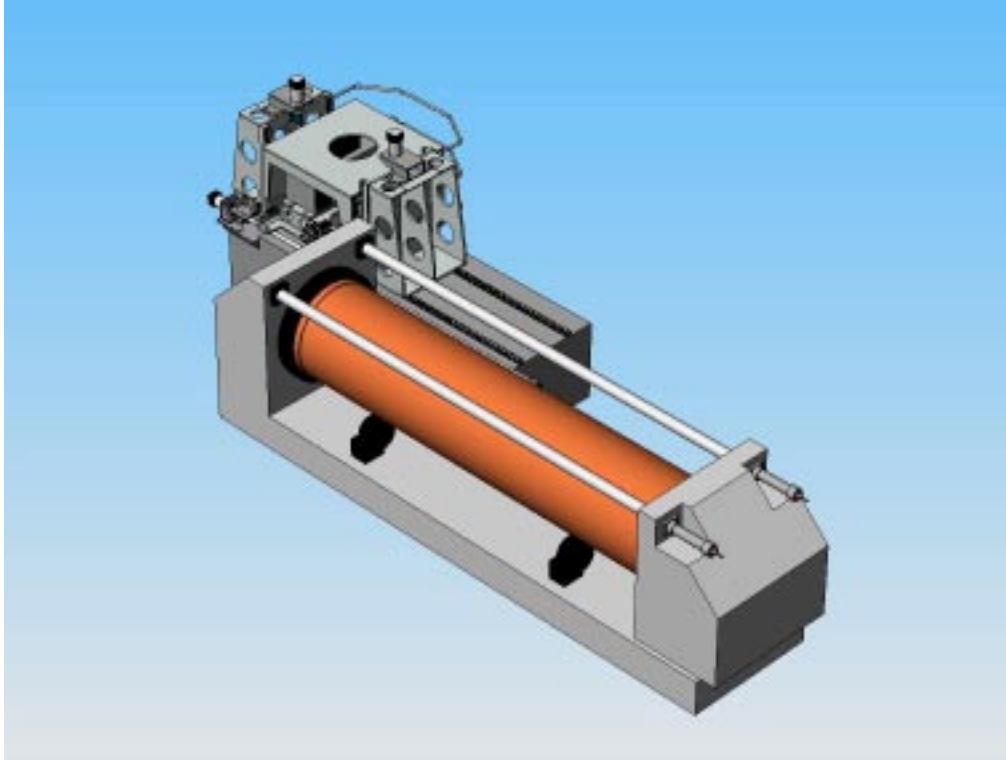
Figur 6-8. Schematisk bild av ultraljudsundersökning av ett kopparrör.



Figur 6-9. Schematisk bild av ultraljudsundersökning av ett kopparlock.



Figur 6-10. Schematisk bild av station för ultraljudsundersökning av en insats. I högra änden ses ett referensblock för kalibrering av utrustningen.



Figur 6-11. Förslag på en horisontell FSW-maskin för svetsning av botten.

6.2.5 Oförstörande provning av botten svets

Kapselns botten svets planeras att kontrolleras på motsvarande sätt som kapselns förslutningssvets kontrolleras i inkapslingsanläggningen. De metoder som SKB utvärderar är ultraljudprovning med ”Phased Array” teknik och digital radiografering. En detaljerad beskrivning av system och provmetoderna redovisas i en separat rapport /SKB 2006e/.

Botten svetsen kontrolleras med ultraljud efter att svetsområdet har bearbetats. En automatiskt styrd utrustning avsöker botten svetsen. Huvudprincipen för metoden innebär att kapseln roterar medan ett ultraljudarray, en så kallad multimetersökare, elektroniskt avsöker svetsen.

Radiograferingen av botten svetsarna planeras ske med samma digitala teknik som ska användas i inkapslingsanläggningen men i fabriken undersöks kopparröret liggande. Undersökningen sker i en strålskyddad kammare. Detaljerad beskrivning av radiografering finns i /SKB 2006e/.

6.2.6 Rengöring av kapselkomponenterna

Inför montering av insatsen i kopparhöljet rengörs kapselkomponenterna. Tvättningen görs primärt för att avlägsna skärvätskerester från bearbetningen, men också för att avlägsna andra eventuella kontamineringar. Rengöringen av kopparröret med botten och tillhörande kopparlock föreslås ske i en kammartvätt bestående av en tvättkammare med rörligt tak där röret läggs upp på ett antal V-block. Tvättningen sker både in- och utvändigt med det tryck och flöde som krävs för att ge erforderlig renhet. Utvändigt tvättas detaljerna med spolramper som är monterade i de taksektioner som täcker detaljerna under den invändiga tvättningen. Spolningen underifrån sker med spolramper monterade mellan V-blocken. Kopparröret tvättas invändigt med en vagn som åker in i röret och spolrar hela ytan med dysor.

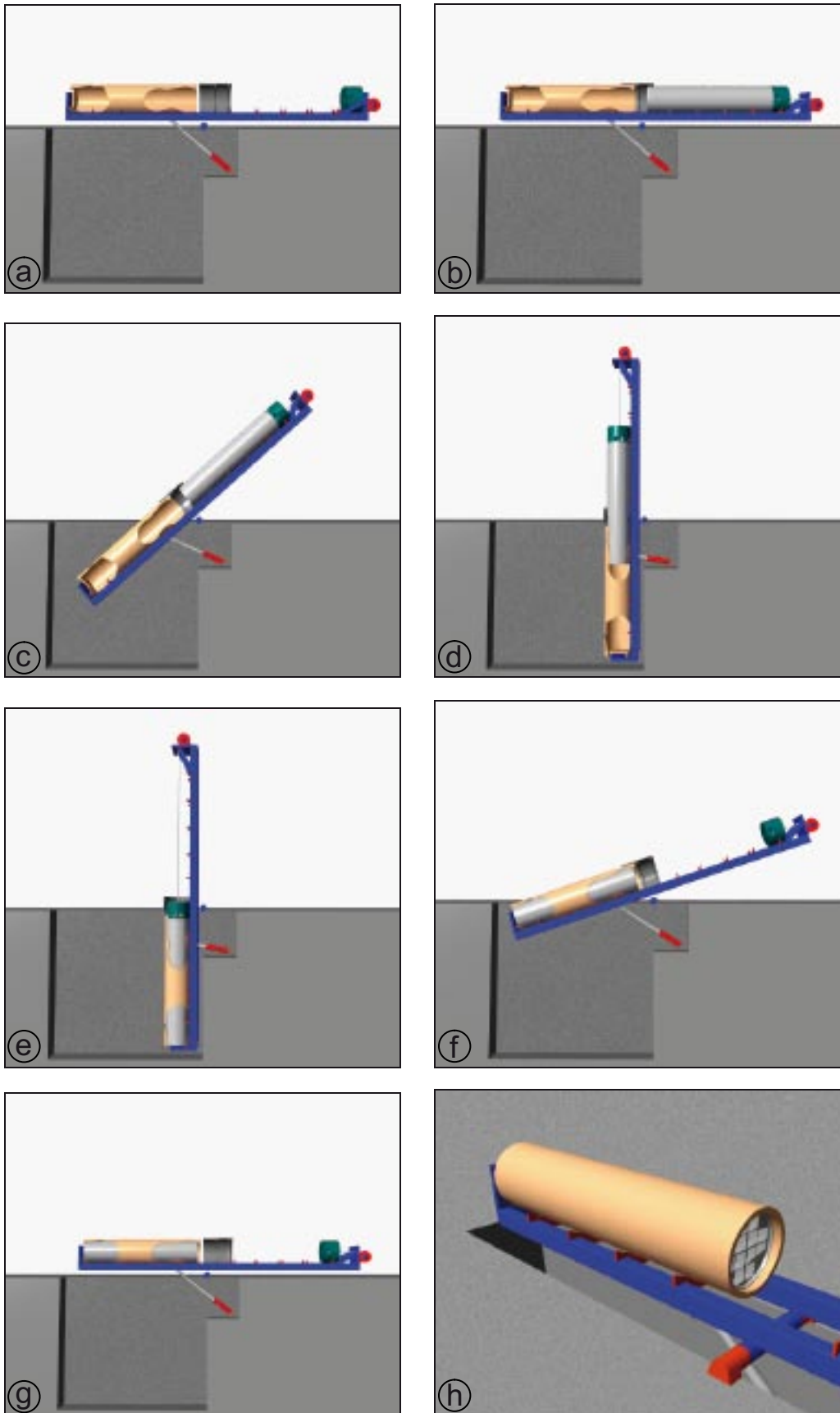
Torkningen sker med sidkanalfläktar monterade på tvättvagnen och avslutningsvis blåses torkluften genom hela tvättkammaren. När överbyggnaden skjutits tillbaka kan röret som då är rent och torrt lyftas ur tvätten.

På liknande sätt och i samma kammartvätt rengörs insatsen från det kopplingsmedel som används vid den oförstörande provningen. Rengöringssystemet måste utformas så att vatten eller tvättvätska inte tränger in i kanaler och spalter.

Varje tvättcykel beräknas ta sex timmar. Vatten till tvätten hämtas huvudsakligen från en industare och ett avjoniseringsfilter som matar sköljsteget. Den använda tvättvätskan leds till en smutstank. Vattnet i smutstanken leds till industaren för destruktion.

6.2.7 Montering av kapseln

De avslutande momenten i kapseltillverkningen utgörs av monteringen av insatsen i det med botten försedda kopparröret. Monteringen sker med hjälp av en monteringsram som visas i figur 6-12. Ramen är försedd med raka stödskenor som är noggrant positionerade. Monteringsramen kräver en cirka 4 meter djup grop i golvet för att monteringen ska kunna utföras i fabriken markplan. Gropen erfordras för ramens tippningsrörelse. Den speciella utrustningen för monteringen utgörs av monteringsramen med tillhörande hydraulaggregat inklusive regleringsutrustning för att utföra ramens tippningsrörelser. Ramens ena ände är utrustad med ett 20 tons wiropel eller lintelfer som reglerar insatsens vertikala rörelse.



Figur 6-12. Montering av kapseln med hjälp av en tippbar monteringsram.

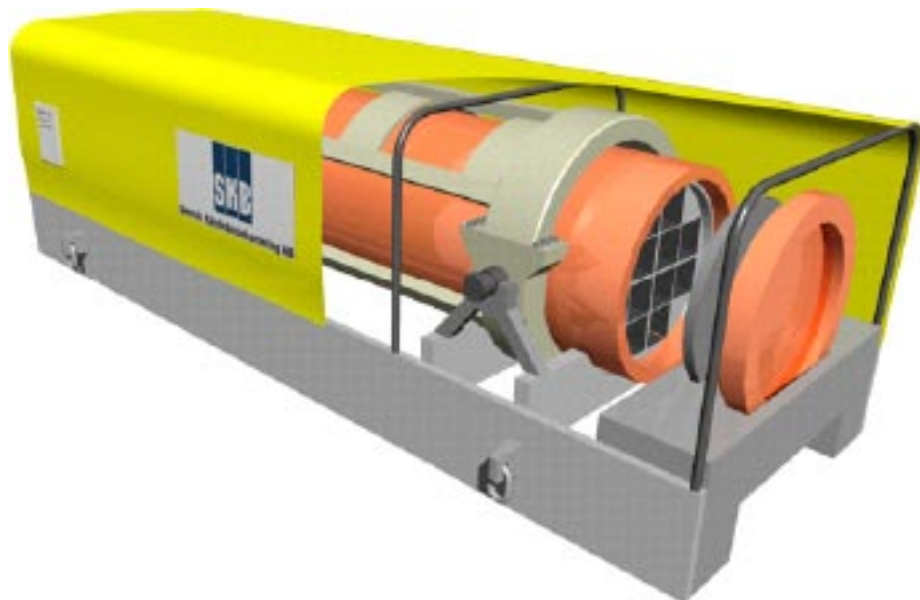
Vid monteringen placeras kopparröret på den ena änden av monteringsramen (se bild a i figur 6-12). En ring som styr insatsen vid dess äntring in i röret ansluts till röret. Därefter placeras även insatsen på monteringsramen. Insatsen ansluts via ett anslutningsdon till ett kraftigt wirespel som sitter i ramens ände. Anslutningsdonet skruvas med bultar till insatsen. Ramen vänds därefter med kraftiga hydraulkolvar till vertikal position (se bild c) och wirespellet sänker under övervakning långsamt ner insatsen i kopparröret (se bild d och e). När insatsen har sänkts ner i kopparröret vänds ramen åter upp i horisontalläge (se bild f och g) och anslutningsdonet och styrningen frigörs. Kapseln är därmed monterad.

Vid monteringen utfärdas dokument som identifierar ingående komponenter. Vidare dokumenteras dimensioner, renhet, slutlig inspektion och hantering enligt angivelser i SKB:s tekniska specifikation KTS031 /SKB 2005/. Leveranstillstånd av den monterade kapseln utfärdas därefter.

Den färdiga kapseln placeras efter monteringen i ett transportemballage för tomma kapslar där även ett insatslock och ett kopparlock som tillhör kapsel sampackas. Kapseln är därmed klar för leverans till inkapslingsanläggningen.

6.3 Färdiga kapslar

Färdigmonterade kapslar förvaras märkta enligt ett etablerat system i speciella transportemballage för tomma kapslar med tillhörande stållock och kopparlock. Transportemballagen är anpassade för korttidslagring, trucktransport och traversomlastning till det fordon som ska transportera kapseln till inkapslingsanläggningen. I transportemballagen är kapseln inspänd i en hanteringsram som medger att den kan lyftas upp direkt till vertikal position för hantering i inkapslingsanläggningen. Ett transportemballage för tomma kapslar med kapseln inspänd i hanteringsramen visas i figur 6-13.



Figur 6-13. Schematisk bild av ett föreslaget transportemballage för tomma kapslar i vilket den färdiga kapseln transporteras till inkapslingsanläggningen.

Lagerlokalen är rumstempererad. Förvaring av kapslarna sker på golvet i den 600 m² stora lagerlokalen. Vid normal produktion förväntas inte lagret av färdiga kapslar vara stort, men ett visst buffertlager bör finnas för att klara variationer i produktionstakten.

Ett större antal transportemballage krävs för leverans till inkapslingsanläggningen av färdiga kapslar. Transportemballagen är avsedda för återanvändning.

7 Kommentarer till ställda krav

I detta kapitel kommenteras hur de krav som ställs på kapseln och systemet för tillverkning av kapseln har kunnat uppfyllas vid provtillverkning av kapslar eller hur de kommer att kunna uppfyllas i utbyggd produktion.

I den planerade tillverkningen kommer de angivna kraven att följas upp kontinuerligt med oförstörande provning dels beträffande komponenternas men också beträffande svetsningens eventuella diskontinuiteter.

Tillverkningen kommer i alla delar att vara inordnat i kvalitets- och miljöledningssystemets rutiner.

7.1 Uppföljning av krav på kopparkomponenter

I tabellen nedan kommenteras hur kraven på kopparkomponenter som beskrivs i tabell 3-1 uppfylls i nuvarande skede av provtillverkning.

Tabell 7-1. Uppföljning av krav på kopparkomponenter.

Funktionskrav	Kunskapsläge	Kommentarer
Kemisk beständighet	Den kemiska sammansättningen hos kopparmaterialet och den intakta koppartjockleken är de parametrar som styr kopparhöljets kemiska beständighet. Den kemiska sammansättningen kontrolleras via provtagning av koppargöten. Den intakta koppartjockleken kommer att få förbättrad uppföljning genom den OFP som utvecklas. Det finns dock inte någon observation som indikerar att de båda delkraven inte skulle innehållas med bred marginal.	I en tillförlitlighetsstudie för delsystem koppar kommer en mer omfattande utredning att göras avseende de viktiga parametrarna. Med avseende på kemisk beständighet ska kapseln uppfylla delkravet om minst 6 mm tjocklek för att vara tät.
Mekanisk beständighet	Kopparkomponenterna undersöks med avseende på materialstruktur och hållfasthetsegenskaper. Kemisk sammansättning kontrolleras på göten.	Att fosforhalten ligger innanför specificerat intervall säkerställer krypduktiliteten.
Stråldämpning	Referenskapseln är beräknad för att uppfylla kravet på ytdosraten < 1Gy/h.	
Hantering och tillverkning	Beräkningsmässigt uppfyller kapseln kraven på lyftsäkerhet med bred marginal. Provningsbarheten är under utredning då vissa delar av lock/bottnar har uppvisat varierande ljuddämpning. Framtagning av provningsmetoder för kopparrör pågår.	/DNV 2006/ /SKB 2006d/ behandlar oförstörande provning av bland annat kopparkomponenter.

7.2 Uppföljning av krav på tillverkningsprocessen för kopparkomponenter

I tabellen 7-2 ges kommentarer till hur kraven på tillverkningsprocesserna för kopparkomponenter som beskrivs i tabell 3-2 kan uppfyllas i nuvarande skede.

7.3 Uppföljning av krav på insats

I tabell 7-3 kommenteras hur de krav på insatsen som beskrivs i tabell 3-3 uppfylls i nuvarande skede av provtillverkning.

7.4 Uppföljning av krav på tillverkningsprocessen för insatsen

I tabell 7-4 ges kommentarer till hur kraven på tillverkningsprocessen för insatsen som beskrivs i tabell 3-4 kan uppfyllas i nuvarande skede.

Tabell 7-2. Uppföljning av krav på system och processer vid tillverkning av kopparkomponenter.

Krav	Kunskapsläge
Teknik	Referensmetoder är valda och demonstrerade; extrudering av rör, götframställning, smidning av lock och bottnar. Alternativa och kompletterande tillverkningsmetoder utvecklas.
Kvalitet	Uppställda kvalitetskrav baserade på idag angivna acceptanskriterier /SKB 2005/ kan uppfyllas. I dag finns leverantörer inom området som är certifierade både för ISO 9001 och ISO 9002. Tillverkningen sker efter godkända kvalitetsplaner i enlighet med SKB:s kvalitets- och miljöledningssystem för kapseltillverkning /SKB 2005/. Inga tillverkningsprocesser eller leverantörer är ännu formellt kvalificerade enligt SKB:s rutiner KT0602 Qualification of Manufacturing Process eller KT0603 Qualification of Supplier/Subcontractor.
Tillförlitlighet	En systematisk studie för att bestämma tillförlitligheten i processen pågår.
Kapacitet och varaktighet	Provtillverkningarna har utförts i små serier med upp till fyra rör i följd och upp till 19 lock i följd. Provtillverkningarna har så här långt gett anledning att bedöma att en planerad kapacitet i kapselfabriken som innebär en kapsel per dag eller 200 kapslar per år kan uppfyllas.
Uppfylla tillämpbara myndighetskrav	Program för kvalificering /SKB 2006f/.

Tabell 7-3. Uppföljning av krav på segjärnsinsatser.

Funktionkrav	Kunskapsläge	Kommentar
Innesluta bränsle	Aktuella BWR-element ryms i insatsen, detta har verifierats med tolkar i provtillverkning av insatser. PWR insatsen genomgår ritningsändring för att uppfylla kravet.	Enligt konstruktionsförutsättningarna ska insatsen rymma 12 BWR- eller 4 PWR-bränsleelement /SKB 2006b/.
Kemisk beständighet	Insatsens lock har utformats så att atmosfärsbyte kan ske i inkapslingsanläggningen.	Demonstration av atmosfärsbyten har genomförts.
Mekanisk hållfasthet	Kontrollberäkningar och prov visar att det statiska designtrycket 45 MPa innehålls med god marginal. Kompletterande analyser pågår. Kontrollberäkningar av belastningen vid post-glaciala jordbävningar och kombinerade lastfall pågår. Beräkningar av tillåtna diskontinuiteter är under framtagning.	Uppföljande dragprov sker regelmässigt vid provtillverkning.
Försumbar inverkan på övriga barriärer och bränslet	Kapseln är kontrollberäknad /SKB 2006b/ för ytdosraten < 1 Gy/h.	Kravet följs endast upp vid konstruktionsändringar.
Kriticitet	Beräkningar /Agrenius 2002/ visar att bränslet är säkert underkritiskt även om kapseln fylls med vatten (viss utbränning av bränslet har tillgodoräknats).	Eventuella krav på homogenitet i insatsens mellanväggar kommer att utredas.
Hantering och tillverkning	Kravbild för hanteringsutrustning ej fastställd med avseende på tillåten ytplastisering. Provningsteknik är under framtagning.	

Tabell 7-4. Uppföljning av krav på system och processer vid tillverkning av segjärnsinsatser.

Krav	Kunskapsläge
Teknik	Referensmetod är vald och demonstrerad för BWR-insatser; gjutning. Alternativa leverantörer finns. Utveckling av gjutningsteknik för PWR-insats pågår.
Kvalitet	Att uppställda kvalitetskrav baserade på idag angivna acceptanskriterier /SKB 2005/ kan innehållas avses att demonstreras 2007. I dag finns leverantörer inom området som är certifierade både för ISO 9001 och ISO 9002. Tillverkningen sker efter godkända kvalitetsplaner i enlighet med SKB:s kvalitets- och miljöledningssystem för kapseltillverkning /SKB 2005/. Inga tillverkningsprocesser eller leverantörer är ännu formellt kvalificerade enligt SKB:s rutiner KT0602 Qualification of Manufacturing Process eller KT0603 Qualification of Supplier/Subcontractor.
Tillförlitlighet	En systematisk studie för att bestämma tillförlitligheten i processen pågår.
Kapacitet och varaktighet	Insatser har hittills provtillverkats styckvis och hos flera leverantörer. Ingen serietillverkning är ännu utförd. Med flera leverantörer engagerade bedöms kapaciteten om en insats per dag eller 200 insatser per år vara möjlig att uppnå.
Uppfylla tillämpbara myndighetskrav	Program för kvalificering /SKB 2006f/.

7.5 Kontroll av kapselkomponenter

I tabell 7-5 ges en överblick av de kontroller som planeras för kapselkomponenterna.

Tabell 7-5. Sammanställning av planerade kontroller.

Tillverkningssystem	Kontroll av	Styrande dokument enligt SKB:s kvalitets- och miljöledningssystem för kapseltillverkning
Insatser:		
Färdigställande av kassetter	Leverantörens dokument inklusive mått, rakhet, visuell kontroll.	KTS021, KTS022.
Gjutning	Leverantörens dokument inklusive analys och materialprov, mått, OFP.	KTS011.
Bearbetning	Mått, hålrummens rakhet och centrering.	Ritningar.
Stållock	Mått, OFP.	KTS012, ritningar.
Kopparkomponenter:		
Koppargöt	Leverantörens dokument inklusive kemisk analys.	KTS001.
Ämnen till kopparrör	Leverantörens dokument inklusive mått, rundhet, rakhet.	KTS002.
Bearbetning av kopparrör	Mått, OFP.	Ritningar.
Ämnen till lock/botten	Leverantörens dokument inklusive mått.	KTS002.
Bearbetning av lock/botten	Mått, OFP.	Ritningar.
Svetsning av botten	OFP.	KTS003.
Tillsatsmaterial:		
Bult	Leverantörens dokument.	Ritningar.
O-ringar	Leverantörens dokument.	Ritningar.
Montering:		
Insats och kopparhölje	Utförda kontroller, renhet, ytor, identifiering, visuell kontroll.	KTS031.

8 Kvalitets- och miljöledningssystem för kapseltillverkning

8.1 Allmänt

Avsikten med kvalitets- och miljöledningssystemet för kapseltillverkning är att säkerställa att:

- arbetet ifråga om kapseltillverkning blir effektivt, att beslut och resultat blir dokumenterade, deras innebörd spridd och att besluten blir effektuerade,
- information om arbetets framåtskridande sprids till alla medverkande.

Detta ledningssystem är tillämpligt för utveckling av kapslar utformade som kopparhölje med segjärnsinsats och därmed också för det system som ska gälla vid en kommande produktion i fullstor skala av sådana kapslar för BWR- och PWR-bränsleelement.

Systemet är samordnat med de styrande dokument, betecknade SD-XXX, som gäller för SKB:s ledningssystem generellt. Det ger den detaljstyrning som erfordras med hänsyn till de specifika krav som ställs dels på SKB:s egen verksamhet ifråga om kapseltillverkning, dels på leverantörer av varor och tjänster i detta sammanhang.

I systemet fordras att myndigheters krav ska uppfyllas. Systemet är utformat så att SKB Kapseltillverkning uppfyller alla relevanta krav i ISO 9001:2000, i tillämpliga internationellt erkända standarder inom kärnkraftsområdet samt i ISO 14001 ifråga om miljö. Mot leverantörer ställs motsvarande krav i detta system, kompletterat med rent tekniska krav.

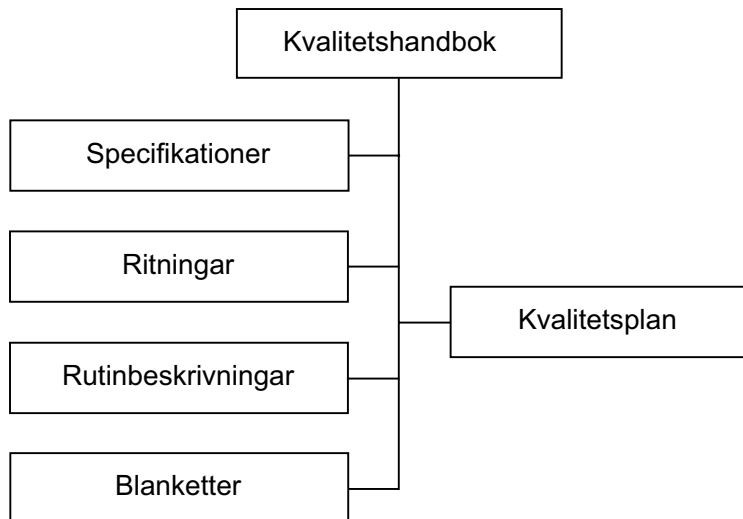
8.2 Beskrivning av ledningssystemet

Ledningssystemet, se figur 8-1, med dess krav är beskrivet i:

- kvalitetshandbok – Kapseltillverkning,
- tekniska specifikationer,
- ritningar,
- rutinbeskrivningar,
- blanketter,
- kvalitetsplan.

Kvalitetsplanen är en ryggrad i systemet och kan ses som en processbeskrivning över SKB:s och leverantörers aktiviteter inom kapseltillverkning.

Dokumenterna är distribuerade till berörda inom SKB, till myndigheter och i tillämplig utsträckning till leverantörer och uppdateras vid behov av Kapseltillverkning /SKB 2005/.



Figur 8-1. Kapseltillverkningens ledningssystem.

Kvalitetshandbok – Kapseltillverkning

Handboken sammanfattar systemet och beskriver eller innehåller, förutom administrativa rutiner som dokumentstyrning, hantering av avvikelser och förbättringsåtgärder, samt register också:

- policy, verksamhetsinriktning och mål,
- organisation – Ansvar och befogenheter,
- relation till SKB Styrande Dokument SD-XXX,
- kvalitets- och miljöledningssystem (struktur, ansvar m m),
- utveckling av kapsel och kapseltillverkning,
- styrning av kapseltillverkning,
- styrning av vissa stödprocesser (inköp, mottagningskontroll m m),
- utbildning och kompetens,
- förteckning över tekniska specifikationer, sammanställningsritningar, rutinbeskrivningar och blanketter.

Att handbokens namn innehåller enbart ordet kvalitet har historisk bakgrund; kvalitetskraven var de ursprungliga. Miljökraven har tillkommit senare.

Handbok och rutinbeskrivningar behandlar inte svetsning av koppar. För detta område hänvisas i första hand till Kapsellaboratoriets styrande dokument. En teknisk specifikation som gäller kvalitetskrav vid svetsning av kopparbotten till rör finns emellertid, se nedan. Kapseltillverkningens kvalitetsplan tar också upp svetsning av koppar.

Tekniska specifikationer (Technical specifications)

De tekniska specifikationerna är, tillsammans med ritningarna, de mest konkreta kravdokumenten gentemot leverantörer och har följande rubriker:

- Copper Ingots and Billets for Canister Components.
- Copper Components for Canisters (rör, botten och lock).
- Quality Requirements for Copper Base Welding.
- Nodular Cast Iron EN 1563 Insert.
- Steel Lid for Insert.
- Steel Section Cassette.
- Hollow Square Sections for Steel Section Cassette.
- Assembly of Canister in the Trial Stage of Manufacture.

Specifikationerna grundas på de tekniska krav som anges bland annat i Pass-studien /SKB 1992/ och konstruktionsförutsättningar /Werme 1998/, och de har efter hand förfinats i samverkan med leverantörer med ledning av vunna erfarenheter från försökstillverkning. Specifikationerna är skrivna på engelska med tanke på internationella leverantörer.

Ritningar

Ritningar är utarbetade för de olika stadierna vid tillverkning av komponenter fram till färdig kapsel för BWR- respektive PWR-bränsleelement. Varianter är i förekommande fall framtagna för anpassning till olika leverantörers tillverkningsteknik. I kvalitetshandboken ges en översikt över aktuella sammanställningsritningar och vid Kapseltillverkning finns en lista över alla gällande ritningar.

Ritningarna utarbetas och hålls uppdaterade i direkt samverkan med Kapseltillverkning.

Rutinbeskrivningar (Procedures)

Rutinbeskrivningarna kompletterar kvalitetshandboken och ger mer detaljerade anvisningar än vad som framgår av denna. Liksom de tekniska specifikationerna är rutinbeskrivningarna avfattade på engelska med tanke på internationella leverantörer.

Kvalitetshandboken har en fullständig tabell över aktuella rutinbeskrivningar. Ett urval av dem är:

- Requirements for External Auditing.
- Qualification of Supplier/Subcontractor (manufacturing).
- Handling, Storage, Packing and Transport of Canister Components and Assembled Canisters.
- Requirements on 1) Quality Plan, 2) Manufacturing and Inspection Plan.
- Identification of Canister Components and Assembled Canisters.
- Receiving and Acceptance Inspection.
- Handling of Drawings for Canister Components and Assembled Canisters.
- Request for Concession.

Blanketter (Forms)

Inom ledningssystemets ram har Kapseltillverkning utarbetat ett antal blanketter på svenska och i regel separat också på engelska för vissa specifika tillämpningar. En komplett lista över dem finns i kvalitetshandboken. Några av blanketterna är:

- Avvikelsesrapport; Corrective Action Request.
- Leverantörs begäran om tillstånd för leverans; Supplier's Request for Delivery Permit.
- Ändringsbegäran/order; Change request/order.
- Mätprotokoll – inför montage av insats (rör, insats, lock).
- Protokoll – ämne till kopparlock (identitet, mått m m).
- Begäran om tillverknings- eller leveransdispens; Supplier's Request for Concession.
- Uppmätning av fyrkanthål (BWR) med SKB-tolk (olika krav för rör, kassett, insats).

Kvalitetsplan (Quality Plan)

I ett inledande avsnitt till Kapseltillverkningens kvalitetsplan (endast på engelska: Quality Plan – Trial Manufacture of Canister Components and Assembled Canisters) beskrivs bland annat:

- Policy, scope and objectives.
- Organisation – parties involved (generellt).

Där ges också listor över SKB specifikationer, tillämpliga rutinbeskrivningar och blanketter.

Den mer omfattande delen av planen är emellertid bilagor där SKB:s och leverantörers huvudsakliga aktiviteter anges under alla väsentliga delar av tillverkningen. För varje aktivitet hänvisas i de flesta fall till styrande dokument, främst specifikationer och rutinbeskrivningar. Dessa bilagor behandlar bland annat:

- Production of Copper Ingot for Tube.
- Manufacture of Copper Tube.
- Forging of Copper Blank for Lid and Base.
- Machining of Copper Lid and Base.
- Welding of Copper Base to Tube.
- Manufacturing of Steel Section Cassette.
- Casting and Pre-machining of Cast Iron Insert.
- Assembly of Canister.
- Welding of Copper Lid to Tube.
- Final Machining of Assembled Canister.

I ett separat supplement med begränsad distribution listas ”Current and Potential Suppliers”.

8.3 Användning vid inköp

Utöver den distribution som nämnts ovan sänds vid varje inköp från SKB Kapseltillverkning relevanta, aktuella dokument tillsammans med beställning till leverantörer. Detta ska säkerställa att endast korrekt information från SKB används av leverantören. Före beställning ska en leverantör av material eller komponent som regel ha presenterat en egen kvalitetsplan som accepterats av SKB Kapseltillverkning. Denna plan ska vid behov uppdateras.

Före varje leverans fordras att leverantören presenterar resultat i form av intyg eller motsvarande för acceptans från SKB:s sida och begär tillstånd att leverera. Leverantören ska dessutom meddela SKB när leveransen faktiskt äger rum, så att en verkningsfull uppföljning är möjlig.

8.4 Uppföljning och underhåll

Inom SKB kapseltillverkning sker i princip en ständig uppföljning av systemet genom den faktiska tillämpningen. Intern revision av Kapseltillverkning från SKB:s centrala funktion ingår som ytterligare en sådan åtgärd. Beskrivningen av systemets olika delar som redovisats ovan uppdateras vid behov, vilket i praktiken vanligen innebär årligen eller vartannat år.

Granskning av leverantörer görs från Kapseltillverkningens sida dels rent tekniskt, dels ifråga om ledningssystem. Sådana revisioner av ledningssystem har inriktats mot kvalitet och i många fall också mot miljö, då SKB:s centrala funktion medverkat. Hittills har ett 40-tal revisioner av leverantörer utförts. Viktiga leverantörer har reviderats med två eller tre års mellanrum.

Uppföljning av åtgärder som föranletts av revisioner görs enligt etablerad praxis.

9 Framtida handlingslinje

SKB har i samarbete med olika underleverantörer provtillverkat ett antal ämnen till kapselkomponenter. De utgörs av ett trettiotal insatser av segjärn, ett fyrtiotal kopparrör och drygt 160 kopparlock och bottenar. SKB har på det sättet visat att man vid provtillverkning kan tillverka kapselkomponenter som kan uppfylla ställda krav. Provtillverkade komponenter har väsentligen uppfyllt ställda materialkrav samt krav beträffande diskontinuiteter och i de flesta fall även formkraven.

Inför ansökan enligt KTL för slutförvaret kommer två tillförlitlighetsstudier att genomföras för delsystem koppar och delsystem insats. Även acceptanskriterier för OFP av insatsen och kopparhöljet kommer att presenteras.

Insatser har inte provtillverkats seriemässigt. Det är planerat att genomföras under 2007. Komponenttillverkningen kommer att vidareutvecklas hos flera av underleverantörerna. I den framtida tillverkning är bedömningen att SKB kommer att behöva ett antal gjuterier för leveranser av insatser eftersom takten är satt till 200 stycken per år. De tekniska specifikationerna för insatsen har under utvecklingsarbetet successivt anpassats och fortfarande kan mindre justeringar komma att ske.

Ytterligare en leverantör av stora koppargöt ska engageras. Detta också för att till den framtida produktionen kunna använda flera leverantörer. Tillverkning av ämnen till kopparrör kräver utveckling av dimensionsnoggrannhet, materialutbyte och i en av processerna krävs utveckling av materialstrukturen. Tillverkningen kräver även utveckling av produktiv maskinbearbetning av kopparröret.

Utveckling och förfining av metoden med smidning av kopparlock kommer att fortsätta. Smidning anses vara en enkel och tillförlitlig produktionsmetod, vilken bedöms kunna anpassas till större produktioner.

Handlingslinjer för fortsatt arbete med kapselkomponenter presenteras i tabellerna 9-1 till 9-2. I tabellerna anges vilket krav som utvecklingsarbetet syftar till att uppfylla.

9.1 Insatsen

Tabell 9-1. Framtida handlingslinje – tillverkning av segjärnsinsatser.

Krav	Aktiviteter	Tidpunkt
Teknik	Utveckling av gjutprocessen för PWR-insatser kommer att genomföras på grund av ritningsändringar.	2006–2008
	SKB genomför ett utvecklingsprogram, hos en leverantör, som innefattar 12 st insatser. Två av dessa ska vara av PWR-typ. Fem BWR-insatser ska tillverkas under seriemässiga förhållanden.	2005–2007
Kvalitet	Kvaliteten på de insatser som tillverkas, enligt ovan, kommer att utvärderas.	2006–2007
Tillförlitlighet	Tillförlitlighetsanalys kommer att genomföras som bland annat baseras på utvärderingen av tillverkade insatser enligt ovan.	2009
Kapacitet och varaktighet	Tillräcklig kapacitet för bearbetning och provning måste finnas i kapsel-fabriken. Studie kommer att genomföras för att säkerställa detta.	2009
	Långsiktig kapacitet i produktionssystemet tillgodoses genom att alternativa kvalificerade leverantörer finns. Provgjutning hos en helt ny leverantör planeras. Syftet är att visa att tillverkningsprocessen fungerar hos ett gjuteri som tidigare inte har deltagit i utvecklingsprocessen.	
Uppfylla tillämpbara myndighetskrav	Genomföra programmet för kvalificering /SKB 2006f/.	2006–2017
	Leverantören som genomfört utvecklingsprogrammet enligt ovan ska ta fram tillräckligt med underlag för en prekvalificering av processen.	2007

9.2 Kopparkomponenter

Tabell 9-2. Framtida handlingslinje – tillverkning av kopparkomponenter.

Krav	Aktiviteter	Tidpunkt
Teknik	Geometrisk noggrannhet i processen extrudering behöver förbättras.	2006–2012
	Mätmetoder för invändig mätning av kopparrör ska vidareutvecklas.	2006–2009
	Processkontroll och förfarande vid smidning av lock och bottnar behöver förbättras.	2006–2009
	Svetsprocess för svetsning av botten på liggande kapsel ska utvecklas, se avsnitt 6.2.4.	2008–2010
Kvalitet	Ojämn ljuddämpning i lock och bottnar till följd av strukturvariationer behöver åtgärdas. Anmärkning: Utredning om möjligheten att förändra utformningen på kopparklocket för att förbättra materialutbytet. Detta på grund av att locket görs extra högt av svetstekniska skäl. Utprovning av en svetsprocess som inte kräver högt lock är planerad.	2006–2009
Tillförlitlighet	Tillförlitlighetsanalys pågår.	2006–2009
Kapacitet och varaktighet	Tillräcklig kapacitet för bearbetning och provning måste finnas i kapsel-fabriken. SKB avser att närmare studera hur bearbetning av ett stort flöde av kopparrör kan göras.	2006–2009
	Långsiktig kapacitet i produktionssystemet tillgodoses genom att alternativa kvalificerade leverantörer finns. De alternativa metoderna smidning och dornpressning utvecklas.	2006–2010
Uppfylla tillämpbara myndighetskrav	Genomföra programmet för kvalificering /SKB 2006f/.	2006–2017
Övrigt – optimering mellan delsystemen	En utredning angående möjligheten att åstadkomma en plan botten med fasning på kapseln kommer att utföras. Syftet att underlätta deponeringen av kapslarna. Utredningen kommer att omfatta optimerad tillverkningsteknik, svetsteknik och inspektionsteknik.	2006–2009

9.3 Plan för kvalificering

Kvalificering av tillverkningsmetoderna kommer att göras, för att säkerställa att det är möjligt att tillverka kapselkomponenter som innehåller specificerade krav.

Kvalificeringsprogrammet för de tre delsystemen i tillverkningssystemet; koppar, insats och förslutning beskrivs i /SKB 2006f/. Denna rapport behandlar enbart delsystemen Koppar och Insats. Inom delsystemen behandlas gjutning av kopparämnen, varmformning av lock med smidning, varmformning av rör med extrudering, svetsning av botten med FSW och gjutning av insatser.

Tillverkningen av ämnen till kapselkomponenter i system koppar och insats kommer att utföras av utomstående leverantörer medan färdigbearbetningen kommer att ske i kapsel-fabriken.

För att kvalitetssäkra den tillverkning som sker hos leverantörerna har SKB tagit fram ett antal rutiner som man avser att tillämpa. Rutinerna behandlar kvalificering av leverantörer, processer och kontroller enligt:

- 1) Procedure No KT0602 Qualification of Manufacture Process.
- 2) Procedure No KT0603 Qualification of Supplier/Subcontractor (Manufacturing).
- 3) Procedure No KT0604 Qualification of Supplier/Subcontractor (Inspection and Metrological Confirmation).

Identifiering och val av de processer som ska kvalificeras hos leverantörerna kommer att ske i samråd mellan SKB och leverantörerna.

Systemet för kvalificering av tillverkningsprocesserna kommer att utprovas genom att icke formella kvalificeringar så kallad prekvalificeringar successivt genomförs. Erfarenheter från prekvalificeringarna kommer sedan att ligga till grund för utformningen av de formella kvalificeringarna. Den första prekvalificeringen som är planerad gäller gjutningen av insatser. Ett underlag för en kvalificering kommer att tas fram tillsammans med Metso Foundries Karlstad AB i samband med serietillverkningen av 5 stycken insatser år 2007.

Identifiering och val av eventuella processer som ska kvalificeras i kapsel-fabriken kommer att utföras när SKB uppnått tillräcklig erfarenhet och kunskap från provtillverkningarna.

Tidsramarna för genomförandet av kvalificeringarna beskrivs i kvalificeringsprogrammet /SKB 2006f/.

10 Referenser

- Andersson C-G, 1998.** Provtillverkning av kopparkapslar med gjutna insatser. Lägesrapport i augusti 1998. SKB R-98-09, Svensk Kärnbränslehantering AB.
- Andersson C-G, 2001.** Utveckling av tillverkningsteknik för kopparkapslar med gjutna insatser Lägesrapport i augusti 2001. SKB R-01-39, Svensk Kärnbränslehantering AB.
- Andersson C-G, Eriksson P, Westman M, 2004.** Lägesrapport kapseltillverkning. SKB R-04-14, Svensk Kärnbränslehantering AB.
- Andersson C-G, Andersson M, Björkegren L-E, Dillström P, Erixon B, Mindebo P, Nilsson F, Nilsson K-F, 2005.** Probabilistic analysis and material characterization of canister insert for spent nuclear fuel. Summary Report. SKB TR-05-17, Svensk Kärnbränslehantering AB.
- Andersson C-G, 2005.** Utveckling av gjutna insatser, december 2005. SKB R-05-70, Svensk Kärnbränslehantering AB.
- Agrenius L, 2002,** Criticality safety calculations of storage canisters. SKB TR-02-17, Svensk Kärnbränslehantering AB.
- DNV, 2006.** Hållfasthet hos kopparlock till förvaringskapsel för kärnbränsle. Rapport Nr. 18755700-1, DNV 2006 (Rapporten ingår i en Pärm som DNV levererat till SKB: Lyfthantering av kopparkapslar för slutförvaring av använt kärnbränsle).
- Nilsson K-F, Burström M, Lofaj F, Andersson C-G, 2005.** Pressure test of two KBS-3 canister mock-ups. SKB TR-05-18, Svensk Kärnbränslehantering AB.
- SKB, 1992.** Projekt AlternativStudier för Slutförvar (PASS). Slutrapport. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- SKB, 2002.** Övergripande konstruktionsförutsättningar för djupförvaret i KBS-3-systemet. SKB R-02-44, 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. Svetsning vid tillverkning och förslutning. SKB R-06-04, Svensk Kärnbränslehantering AB.
- SKB, 2006d.** Kapsel för använt kärnbränsle. Oförstörande provning av kapselkomponenter. SKB R-06-05, 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 av tillverkning och förslutning. SKB R-06-07, Svensk Kärnbränslehantering AB.
- Werme L, 1998.** Konstruktionsförutsättningar för kapsel för använt kärnbränsle. SKB R-98-08, Svensk Kärnbränslehantering AB.

11 Förkortningar

BWR	Boiling Water Reactor, Kokarvattenreaktor
Fud	Forskning Utveckling Demonstration
FSW	Friction stir welding, Variant av friktionssvetsning
KBS-3 metod	SKB:s referensmetod för att ta hand om använt kärnbränsle
OFP	Oförstörande provning
PWR	Pressurized Water Reactor, Tryckvattenreaktor
SKB	Svensk Kärnbränslehantering AB

Beskrivning av diskontinuiteter

I detta appendix ges en beskrivning av diskontinuiteter som kan uppträda i kapselkomponenternas olika tillverkningsstadier. Speciellt gjutning av insatser och gjutning av stora koppargöt kan under vissa förhållanden ge anledning till diskontinuiteter.

Diskontinuiteter i insatser och kopparkomponenter

SKB:s insats gjuts i segjärn. Gjutningsprocessen kan ges flera olika typer av störningar som visar sig i det gjutna materialet i form av olika diskontinuiteter. Diskontinuiteterna kan variera högst väsentligt i storlek och form. I tabell A-1 ges namngivna exempel på diskontinuiteter som har hämtats från gjuteriindustrins exempelsamling och behöver därför inte med säkerhet förekomma i SKB:s insatser.

Kolhater i gjutjärnen som vanligen ligger i intervallet 2,5–4,0 % och som inte binds på annat sätt skiljs ut vid gjutningen som fri grafit då det smälta järnet stelnar. Den fria grafiten kan uppträda i olika former, vilket ger olika typer av grafitiskt gjutjärn. Segjärnets grafitform utgörs av sfäriska så kallade noder. I Tabell A-1 ges även exempel på grafitformer som inte är önskvärda i segjärnet eftersom de förändrar materialets mekaniska egenskaper.

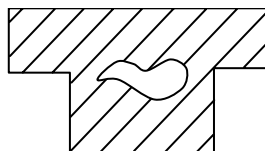
Andra diskontinuiteter kan vara inneslutningar av främmande partiklar t ex slagg, oxider eller sandkorn.

Tabell A-2 visar motsvarande sammanställning av diskontinuiteter som kan uppträda i kopparkomponenter.

Tabell A-1. Sammanställning av diskontinuiteter som kan uppträda i segjärnsinsatser.

En inre sugning utgörs av en oregelbunden hålighet i gjutgodset. Hålighetens väggar uppvisar ofta dendriter. Orsaken till sugningens uppkomst beror ofta på brist av lätt flytande mättningsmetall och uppträder vanligast vid godsanhopningar.

Kan detekteras med ultraljud.



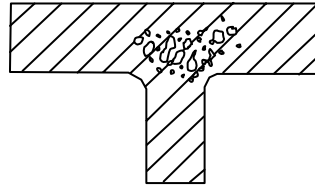
Inre sugning

Sugningsporer utgörs av enkelt synliga små håligheter som ofta är belägna i godsanhopningar.

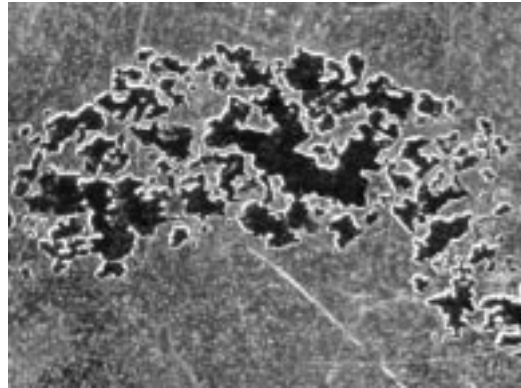
Kaviteterna visar dendriter som saknar materialfyllnad mellan dessa.

Sänker hållfasthet och duktilitet. Kan utgöra brottanvisning.

Kan detekteras med ultraljud.



Sugningsporer

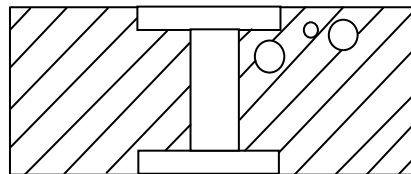


Mikrobild av sugningsporer

Relativt stora blåsor, 2–20 mm, kallas kärnstödblåsor. Dessa kan bildas vid gasutfällning i smältan ofta i anslutning till någon kärna i kokillen. Tänkbart i SKB:s insats är gasutfällning i anslutning till kassetten.

Sänker hållfastheten vid blåsorna.

Kan detekteras med ultraljud.



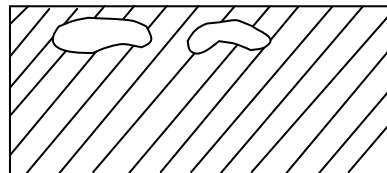
Kärnstödblåsa

En ytblåsa utgörs ofta av en flack, 1–100 mm stor blåsa, som kan vara öppen eller täckt. Blåsan är i allmänhet utan beläggningar.

Blåsan kan uppträda under gjutstyckets yta, men även i andra delar av gjutstycket.

Blåsorna kan orsakas av instängd gas.

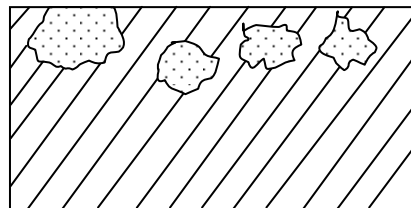
Kan detekteras med ultraljud.



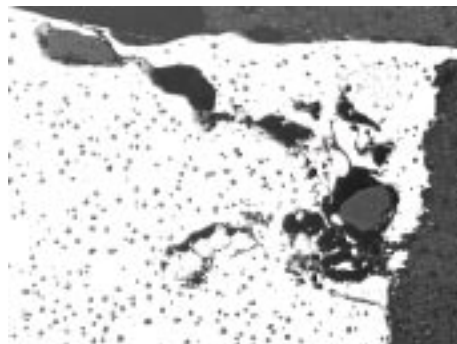
Ytblåsa

Sandkorn eller andra partiklar från kokillen kan ligga inbäddade på ytan eller en bit in i godset. Det kan orsakas av att packad sand eller andra partiklar har lossat från kokillen när en sandform används.

Inte med säkerhet detekterbar med ultraljud.



Sandinneslutning

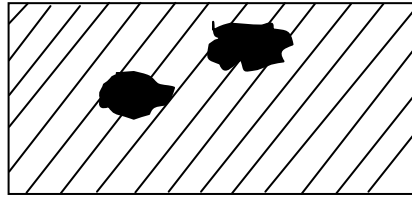


Mikrobild av ingjutet sandkorn

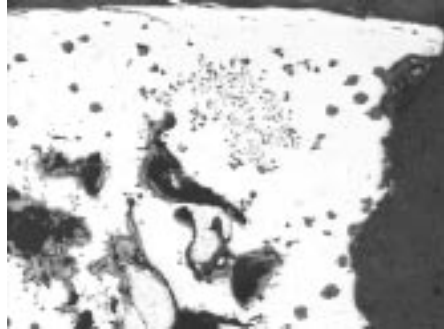
En slaggineslutning i segjärn utgörs ofta av en mörk eller svart slaggpartikel i storlek ca 1 mm, som kan visa sig i brottytor eller i bearbetade ytor i segjärn. Den näraliggande grafiten är ofta lamellär.

Slaggen utgörs ofta av hinnor av magnesiumoxid eller -sulfid eller magnesiumanrikad slagg från foder eller form.

Kan detekteras via metallografi.



Slaggineslutning i segjärn

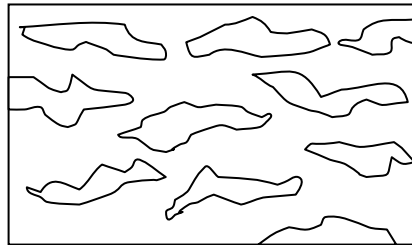


Mikrobild av slagg/oxider, (så kallad dross)

Så kallad elefanthud utgörs av grunda, något långsträckt fördjupningar i gjutstyckets yta med utseende av elefanthudens rynkighet.

Fördjupningarna har en viss regelbundenhet.

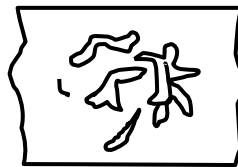
Mönstret som kan förekomma mot formytan orsakas av en seg hinna på den uppåtstigande smältan, vilken blir veckad vid kontakt med formväggen.



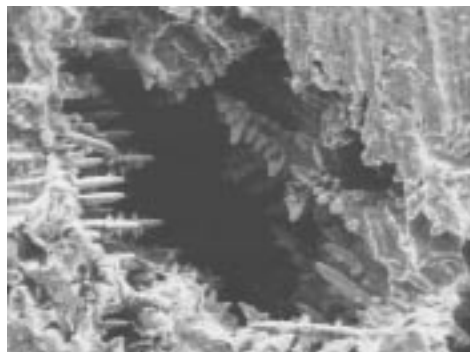
Elefanthud

Mikrosugningar är för blotta ögat osynliga sugningshåligheter. De orsakas av att mellan dendriter har inte flytande metall kunnat fyllas på. Mikrosugningar uppträder relativt ofta i godsanhopningar.

Kan huvudsakligen detekteras via metallografi.



Mikrosugning

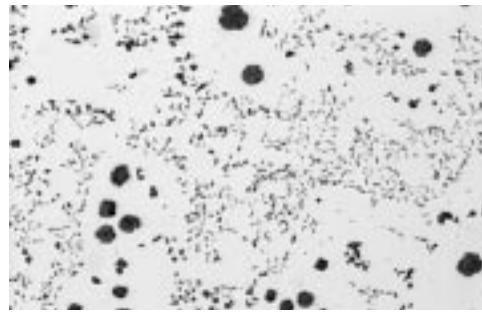


Mikrosugning med dendriter

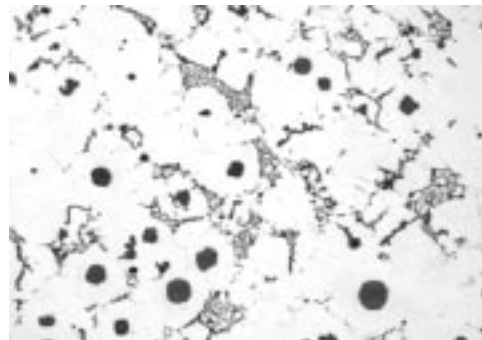
Gjutjärn är den gemensamma benämningen på järnkollegeringar med mer än 2 viktsprocent kol. Kol som inte binds på annat sätt skiljs ut som fri grafit då det smälta järnet svalnar. Grafiten kan uppträda i olika former och det är den fria grafitens form som ger olika typer av grafitiska gjutjärn. Grafitens form har stort inflytande på materialets egenskaper. I gråjärn är grafiten fjällformad, vilket ger gråjärnet en spröd karaktär. Segjärn har betydligt högre hållfasthet än gråjärn eftersom grafiten uppträder i kulform, så kallad nodulär grafit. Grafitens nodulära form i segjärn erhålls genom tillsats av små mängder av magnesium till smältan.

Felaktig eller icke önskvärd grafitstruktur kan under vissa omständigheter utskiljas. Till höger visas exempel på fyra sådana strukturer. Små områden med defekt grafitform förekommer så gott som alltid på olika ställen i segjärnsinsatsen. Den felaktiga grafitstrukturen ger vanligtvis lägre duktilitet.

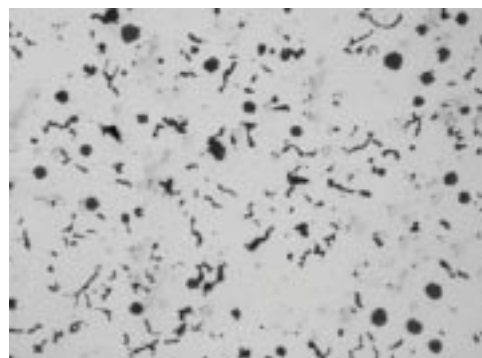
Grafitformen kan detekteras med metallografi.



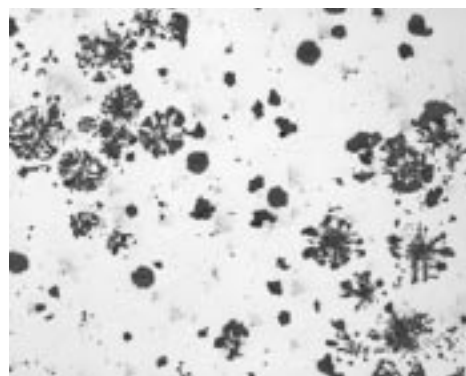
Chunkygrafit



Intercellgrafit



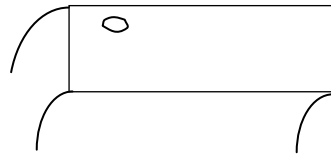
Kompaktgrafit



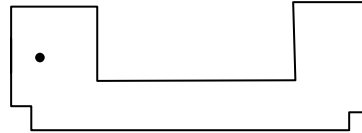
Exploderad grafi

Tabell A-2. Sammanställning av diskontinuiteter som kan uppträda i kopparkomponenter.

Slagginslutning kan ha kommit in i kopparmaterialet vid gjutningen och kan finnas kvar efter piercingoperationen. De omfördelas vid extrusionen, men finns sannolikt kvar i materialet.

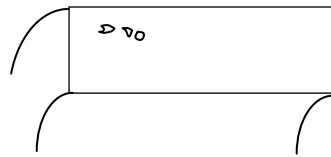


Slagginslutning i koppargöt eller ämne

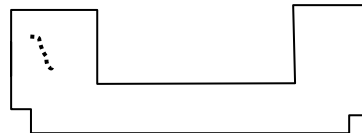


Slagginslutning i lockkämne

Oxidpartiklar kan dras in från ytan eller genom att centrumsprickor eller kaviteter i götet har oxiderats. Oxidanrikningarna kan bli kvar och omfördelas under piercingoperationen och extrusionen.



Oxidpartiklar i göt eller ämne



Oxidstråk i lockkämne

I samband med gjutning av göten eller under den efterföljande hanteringen kan främmande partiklar fästa vid kopparytan. Förekomsten torde vara liten och inte heller dess påverkan på materialegenskaperna torde vara väsentlig.

Gjutningen och hanteringen av kopparkomponenterna kräver god miljö.



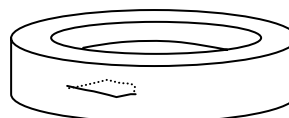
Kolinslutning i götets yta

Oxiderade sprickor och kaviteter kan förekomma när götmaterialet har inre kaviteter som går ut till ytan. De oxideras i ugnar i samband med varmformningen. Oxiderade kaviteter i göten kan omfördelas och bli kvar som oxidstråk efter varmformningen.



Oxidpartiklar i materialet (markerade med ringar)

Smidesveck eller vällningar kan uppträda nära ytan på smidda komponenter. Orsaken kan vara process- eller verktygsfel, men orsakar knappast annat än störningar i den efterföljande maskinbearbetningen.



Smidesveck

Sammanställningen av diskontinuiteter gör inte anspråk på att vara komplett. När seriemässig tillverkning kommer att utföras kommer sannolikt vissa av ovan nämnda diskontinuiteter att bli mindre aktuella medan andra blir mer aktuella eller någon ny typ kanske tillkommer.