

Lägesrapport kapseltillverkning

Claes-Göran Andersson, Peter Eriksson, Marika Westman
Svensk Kärnbränslehantering AB

Göran Emilsson
CSM Materialteknik AB, Linköping

Juni 2004

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-04-14

Lägesrapport kapseltillverkning

Claes-Göran Andersson, Peter Eriksson, Marika Westman
Svensk Kärnbränslehantering AB

Göran Emilsson
CSM Materialteknik AB, Linköping

Juni 2004

Sammanfattning

Rapporten redovisar utvecklingen av material- och tillverkningsteknik för kopparkapslar med gjutna insatser under perioden 2001 till och med början av 2004. Kapselns konstruktiva utformning och val av material i de ingående komponenterna som beskrivits i tidigare lägesrapporter har inte väsentligt förändrats. I referenskapseln är kopparhöljets tjocklek 50 mm. Tillverkning av enstaka komponenter med tunnare koppartjocklek utförs i syfte att vinna erfarenhet och utvärdera tillverknings- och kontrollmetoder för sådana kapslar.

Som ett led i utvecklingen av gjutna insatser har datorsimuleringar av gjutningsprocesserna samt tekniska åtgärder vid gjuteriföretagen genomförts i syfte att optimera material-egenskaperna. Dessa har utvärderats genom omfattande dragprovning och metallografi på provmaterial som tagits ur skivor kapade på olika ställen utefter insatsernas längd. Resultaten av utförd provning uppvisar en relativt stor spridning. Låga förlängningsvärden hos vissa dragprovstavar beror på förekomst av dåligt utformad grafit, porositeter, slagg eller andra gjutdefekter. Det konstateras i rapporten att en viss förekomst av observerade defekter ej kommer att kunna undvikas i gjutgoods av denna storlek. I djupförvaret kommer insatserna att utsättas för tryckbelastning och de observerade defekterna är inte kritiska för hållfastheten. En analys av insatsernas hållfasthet och formulering av relevanta materialkrav måste baseras på ett statistiskt angreppssätt med probabilistiska beräkningar. Detta arbete har påbörjats och kommer att slutföras under 2004. Ett första verifierande tryckprov i en isostatpress av en kapsel har indikerat en avsevärd överstyrka hos konstruktionen.

Tillverkning av sömlösa kopparrör utförs med de tre metoderna extrudering, dornpressning och smide. Man kan konstatera att utförda prov med extrudering har gett en struktur och mekaniska egenskaper som uppfyller ställda krav. Metoden är lämplig för serietillverkning. Med dornpressning pågår ett utvecklingsarbete som syftar till att kunna tillverka kopparrör med integrerad botten. Resultaten hittills indikerar att detta kan bli en möjlighet. Liksom extrudering kan dornpressning även användas vid tillverkning av rör utan botten. Enstaka rör har tillverkats genom smide. Även smide kan sannolikt utvecklas till en fungerande produktionsmetod.

Tekniken för att smida lock och botten i koppar har utvecklats och ger tillfredsställande resultat.

En viktig del av kvalitetssäkringen av kapseltillverkning är utvecklingen av teknik och rutiner för oförstörande provning med ultraljud. Arbetet bedrivs i samarbete med aktuella leverantörer. Kompletterande undersökningar utförs på Kapsellaboratoriet. Acceptanskriterier skall specificeras för såväl ytliga defekter som diskontinuiteter inuti materialet. Möjligheterna att med ultraljud bestämma materialparametrar både hos koppar och segjärn studeras. I koppar är kornstorleken av intresse och i segjärn nodulariteten hos grafiten.

Redovisningen i rapporten visar att det finns tillgängliga tillverkningsmetoder för alla kapseldelar, som kan utvecklas till användning i en serieproduktion. En plan för fortsatt arbete under de närmaste åren har ställts samman i rapporten.

Innehåll

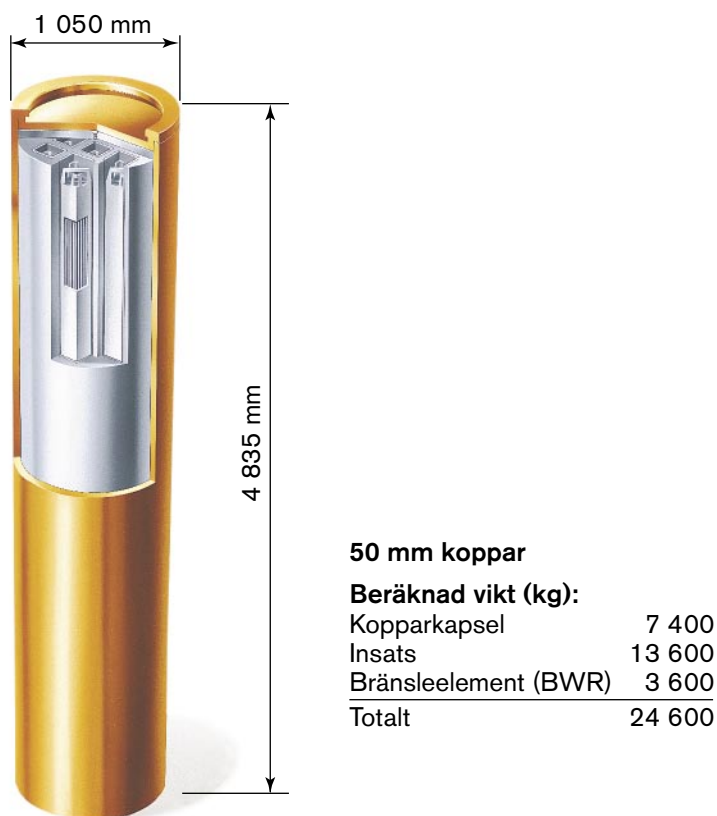
1	Inledning	7
2	Materialteknik	11
2.1	Kapselinsatser	11
2.2	Stållock till insatser	14
2.3	Kopparrör, lock och bottnar	16
3	Resultat från tillverkning av gjutna insatser	19
3.1	Allmänt	19
3.2	Resultat av provgjutningar	24
3.3	Probabilistisk analys	30
4	Resultat från provtillverkning av kopparkomponenter	35
4.1	Tillverkning av kopparrör	35
4.1.1	Tillverkning av göt för sömlösa kopparrör	35
4.1.2	Extrudering av kopparrör	38
4.1.3	Dornpressning	38
4.1.4	Smide	43
4.2	Tillverkning av lock och bottnar i koppar	46
5	Utveckling av FSW	51
6	Oförstörande provning	53
6.1	Översikt	53
6.2	Oförstörande provning av gjutna insatser	54
6.2.1	Provningsförutsättningar, insatsen	54
6.2.2	Utförd provning, insatsen	55
6.2.3	Möjligheter och begränsningar i nuvarande teknik, insatsen	58
6.3	Oförstörande provning av kopparkomponenter	58
6.3.1	Provningsförutsättningar, kopparkomponenter	59
6.3.2	Utförd provning, kopparkomponenter	60
6.3.3	Möjligheter och begränsningar i nuvarande teknik, kopparkomponenter	60
6.4	Framtida handlingslinjer	62
6.5	Laserutrustning för dimensionsmätning av kopparrör	63
7	Kvalitetsstyrning	67
8	Framtida serieproduktion. Kapselabrik	69
9	Fortsatt arbete	71
10	Referenser	75
Bilaga 1	Förteckning över SKB:s Tekniska specifikationer	77
Bilaga 2	Teknisk specifikation KTS 001 "Copper Ingots and billets for Canister Components"	79

Bilaga 3	Teknisk specifikation KTS 002 "Copper Components for Canisters"	85
Bilaga 4	Teknisk specifikation KTS 011 "Nodular Cast Iron EN 1563 Insert"	93
Bilaga 5	Teknisk specifikation KTS 012 "Steel Lid for Canister Inserts"	101
Bilaga 6	Teknisk specifikation KTS 021 "Steel Section Cassette"	105
Bilaga 7	Teknisk specifikation KTS 022 "Profiles for Steel Section Cassette"	109
Bilaga 8	Kvalitetssystem – Kapseltillverkning. Handbokens innehållsförteckning	115
Bilaga 9	Kvalitetssystem – Kapseltillverkning. Förteckning över rutiner	117

1 Inledning

Utvecklingen av tillverkningsteknik för kopparkapslar och gjutna insatser har under de senaste åren fortsatt enligt det program som beskrevs i FUD 2001 /1/. De synpunkter på FUD 2001 som lämnades av Statens kärnkraftinspektion (SKI), Statens strålskyddsinstitut (SSI) och Statens råd för kärnavfallsfrågor (KASAM) har beaktats i planeringen av arbetet. I två tidigare rapporter har resultat fram till augusti 2001 redovisats, /2/ och /3/. Det konstaterades i referens /3/ att det finns tillgängliga tillverkningsmetoder för alla kapselkomponenter och att dessa metoder sannolikt kan utvecklas till användning i en serieproduktion. I referens /3/ hade även en översikt över fortsatt arbete beträffande olika detaljfrågor sammanställts, baserad på dittills erhållna resultat och myndigheternas synpunkter. SKI har bl a framhållit att SKB innan tidpunkten för tillståndsansökan för en inkapslingsanläggning måste ha visat att metoder för tillverkning och kontroll finns tillgängliga och är lämpliga för serietillverkning. Detta innebär att ett tillräckligt stort antal kapslar ska ha tillverkats och kontrollerats och kunnat visas uppfylla ställda krav.

Den principiella utformning av kapseln som beskrevs i referenserna /1/-/3/ har inte förändrats, figur 1-1. Kapseln består av en tryckbärande insats av segjärn med stållock. I insatsen finns kanaler för bränsleelementen, 12 stycken i BWR-utförande och 4 stycken i PWR-utförande. Insatsen omges av en yttre korrosionsbarriär av koppar. Några väsentliga ändringar beträffande materialkraven för insatser och kopparhölje har inte gjorts sedan den föregående lägesrapporten. Aktuella tekniska specifikationer för koppar och segjärn finns i denna rapport som bilaga 2-4.



Figur 1-1. Mått och viktangivelser för kapsel med 50 mm kopparhölje.

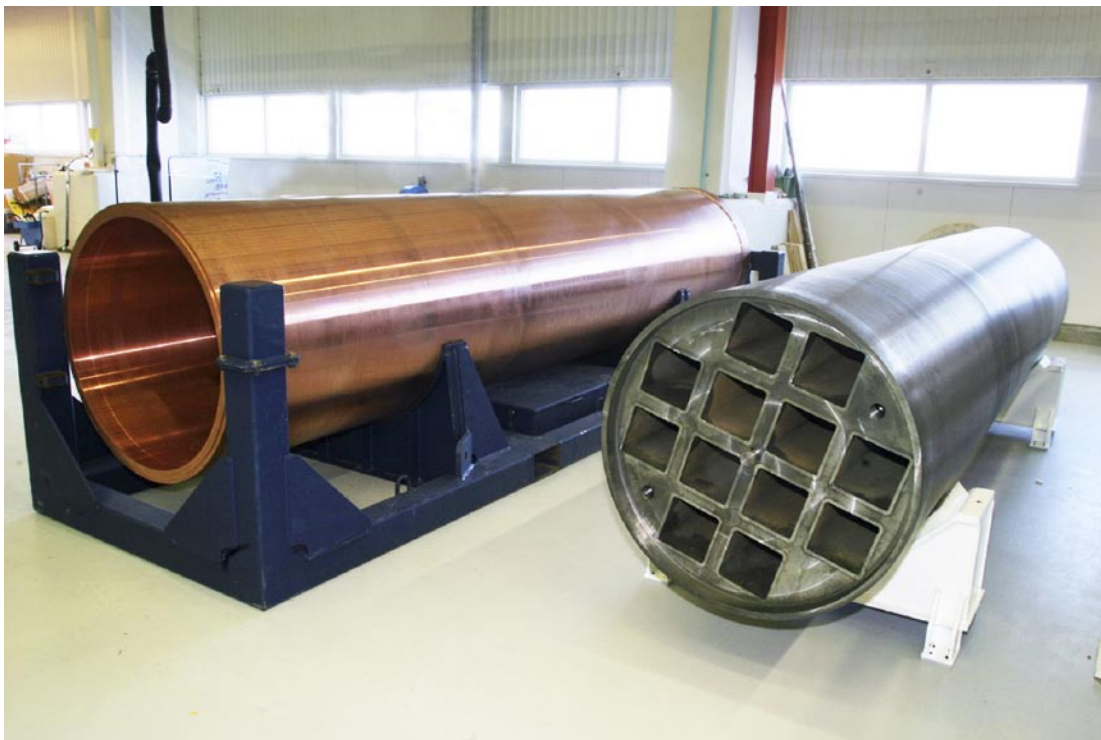
I referenskapseln är kopparhöljets tjocklek satt till 50 mm. SKB har både i FUD 1998 och i FUD 2001 redovisat att 30 mm tjocklek på kopparhöljet är tillräckligt såväl ur korrosionssynpunkt som med hänsyn till övriga konstruktionsförutsättningar. När det gäller tillverkning, förslutning och kontrollmetoder finns det både för- och nackdelar med en tunnare koppartjocklek. Arbetet med utprovning av tillverkningsmetoder och optimering av kapselns detaljutformning är inriktat på 50 mm koppartjocklek. Enstaka kopparrör med både 30 och 40 mm väggdjocklek har tillverkats på prov i syfte att vinna erfarenhet och utvärdera tillverknings- och kontrollmetoder för sådana kapslar.

Alla tillverkningsmetoder som redovisades i den föregående rapporten, referens /3/, är fortfarande aktuella. För tillverkning av sömlösa kopparrör har preliminära försök med ytterligare en metod, smide inlets.

Parallellt med utveckling och provtillverkning hos olika leverantörer har samarbetet med institut, högskolor och universitet fortsatt. Datorsimuleringar och prov i laboratorieskala tillför kunskap som bidrar till en optimering av materialspecifikationer och tillverkningssteknik.

Ett samarbete har inletts med Posiva Oy i Finland. Konstruktionsförutsättningarna för kapslarna är väsentligen de samma vilket har lett till i huvudsak samma kapselkonstruktion och krav på material. Ett antal utvecklingsprojekt inom material- och tillverkningssteknik bedrivs därför i direkt samarbete.

En översikt över aktuella resultat och frågeställningar beträffande material- och tillverkningssteknik redovisades nyligen i ett föredrag vid den internationella konferensen "Copper 2003", 30 november–3 december 2003, i Santiago i Chile, /4/.



Figur 1-2. Kopparrör med svetsad botten och gjuten insats.

Tabell 1-1 visar en översikt över antalet komponenter som tillverkats för den aktuella kapselkonstruktionen i figur 1-1 fram till början av 2004. Vissa av dessa komponenter har använts för att sätta samman kompletta kapslar. Antalet kompletta kapslar har också angivits i tabellen.

Tabell 1-1. Antal tillverkade komponenter och sammansatta kapslar i början av 2004.

Gjutna insatser i segjärn	BWR-utförande	19
	PWR-Utförande	1
Kopparrör	Rullformade och längssvetsade	13
	Extruderade	15
	Dornpressade	4
	Smidda	2
Smidda ämnen och färdigbearbetade lock och bottenar		140
Stållock till insatser		18
Sammansatta kompletta kapslar		12

2 Materialteknik

Kapselns konstruktiva utformning och val av material i de ingående komponenterna har baserats på konstruktionsförutsättningarna, referens /5, 6/. Kapselns egenskaper och därmed funktion i djupförvaret bestäms dels av den konstruktiva utformningen och dels av komponenternas materialegenskaper. I detta kapitel kommer materialtekniska aspekter som kan relateras till tillverkningstekniken för kapselkomponenter att behandlas. Vissa grundläggande materialegenskaper som korrosion av koppar och gjutjärn samt krypdeformation av koppar berörs inte närmare i denna rapport. För information om dessa områden hänvisas till FUD 2001, referens /1/ samt till referenserna /7–11/.

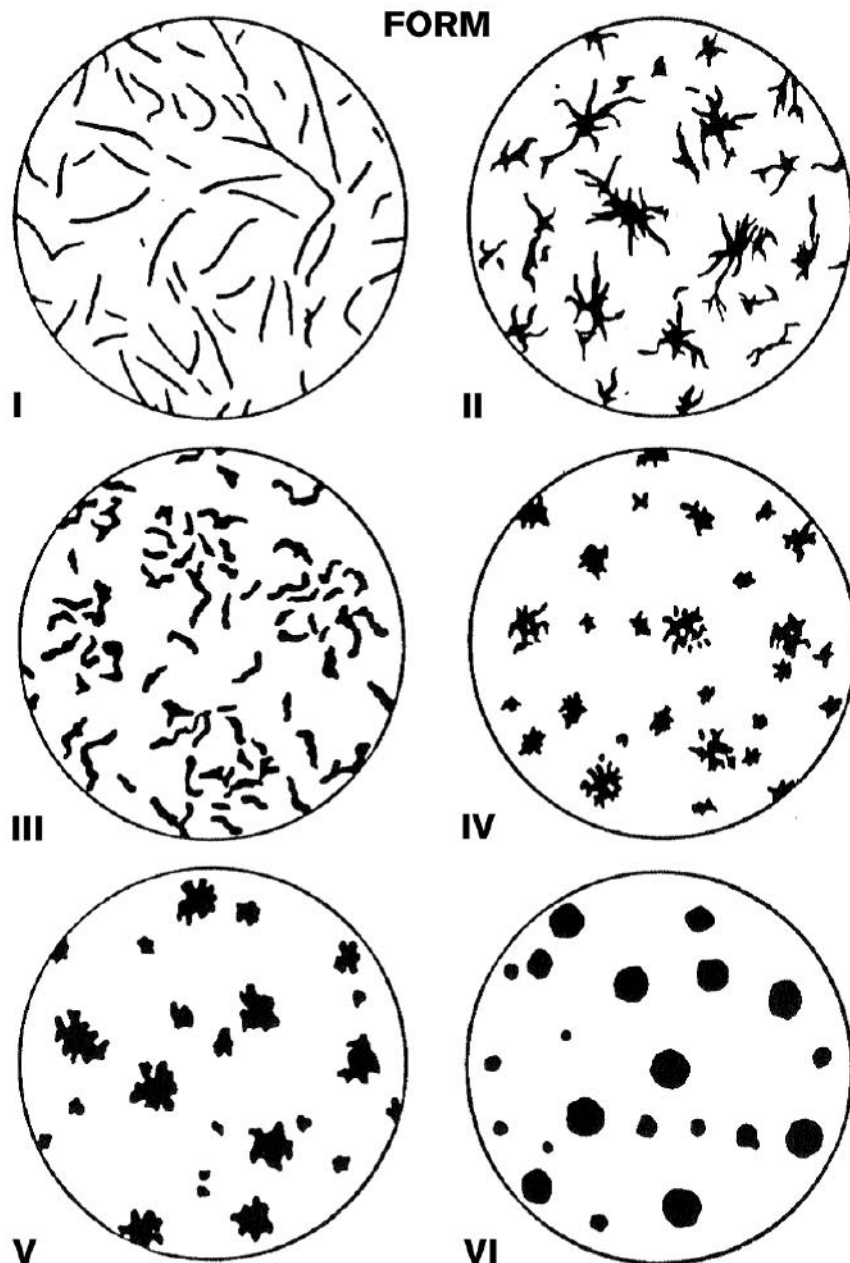
För tillverkning av samtliga kapselkomponenter finns detaljerade tekniska specifikationer med preciserade materialkrav. Tekniska specifikationer och rutiner ingår i det kvalitetssystem som utvecklats för kapseltillverkning. Detta är avsett att täcka hela tillverkningskedjan från materialleverantörer till färdiga kapslar och det är en del av SKB:s certifierade kvalitetssystem enligt ISO 9001 och ISO 14001. Detta kommenteras närmare i kapitel 7. I bilaga 1 visas den aktuella förteckningen över tekniska specifikationer. Både tekniska specifikationer och rutiner uppdateras kontinuerligt som en följd av det pågående utvecklingsarbetet.

I detta kapitel behandlas de materialtekniska aspekterna i samband med tillverkning av kapselns komponenter och i kapitel 3 och 4, omfattning och resultat av utförd provtillverkning.

2.1 Kapselinsatser

Kapselinsatsen är den tryckbärande komponenten i kapseln och skall uppfylla de krav på hållfasthet som följer av detta. I djupförvaret kommer kapslarna att utsättas för ett yttre tryck som beräknats till maximalt 44 MPa under istidsförhållanden.

Insatserna tillverkas i gjutjärn och det valda materialet är ett s k segjärn med en i huvudsak ferritisk grundstruktur. Gjutjärn är den gemensamma benämningen på järn-kol legeringar med mer än ca 2 viktsprocent kol. De tekniskt använda gjutjärnen har vanligen kolhalter i intervallet 2,5–4,0 %. För en grupp av gjutjärn gäller att kol som inte binds på annat sätt skiljs ut som fri grafit då det smälta järnet svalnar och stelnar. Grafiten kan uppträda i olika former och det är den fria grafitens form som ger olika typer av grafitiska gjutjärn med sinsemellan olika egenskaper. Dessa typer har standardiserats och visas i figur 2-1.



Figur 2-1. Grafitformer i gjutjärn enligt EN-ISO 945. I segjärn är den dominerande grafittformen nr VI. (Nodulär grafrit).

Järn med grafittform I kallas för gråjärn. Gråjärn är den mest tillverkade gjutmetallen och används i många olika sammanhang. Segjärn med grafittform VI produceras också i stora volymer. Komponenter av samma eller större storlek än SKB:s insats tillverkas i många gjuterier i både gråjärn och segjärn.

Grafitens form har stort inflytande på materialets egenskaper. I gråjärn verkar den fjällformade grafiten som brottanvisningar inuti materialet och gråjärn är därför ett relativt sprött material. Segjärn har betydligt högre hållfasthet och seghet än gråjärn eftersom grafiten uppträder i kulform (nodulär grafrit). Hållfasthetsegenskaperna samt att segjärn har goda gjutegenskaper och är relativt lätt att maskinbearbeta är en del av orsakerna till att segjärn valts som material i insatserna.

Grafitens form, storlek och fördelning kan styras genom tillsats av små mängder av vissa ämnen till smältan. Vanligt i segjärn är magnesiumtillsatser samt skympmedel, i regel ferrokisel. Gjutjärnens egenskaper kan även påverkas av olika halter av legeringsämnen som mangan, nickel, krom och koppar.

De mekaniska egenskaperna testas genom dragprovning med provstavar som när det gäller gjutgods kan tas ut på principiellt olika sätt. Vi skall i detta sammanhang skilja mellan vidgjutna provstavar och provstavar som tillverkats från en del av den gjutna detaljen. Av dessa motsvarar naturligtvis de sistnämnda bäst egenskaperna i den färdiga komponenten. Vidgjutna provstavar åstadkommes vid formsättningen i regel genom håligheter i formväggen så att provkroppar med lämplig storlek gjuts som utskjutande delar av produkten. En fördel är att vidgjutna provkroppar kan sågas bort från komponenten utan att denna skadas. Ur dessa kan sedan provstavar för t ex dragprovning tillverkas. De vidgjutna provkropparna stelnar och svalnar tillsammans med gjutgodset och avsikten är att de därför skall få en struktur och därmed egenskaper som motsvarar godset i den färdiga produkten. Bäst överensstämmelse erhålles vid gjutning av mindre detaljer.

Ett antal segjärn finns standardiserade i SS-EN 1563. Standarden ställer inga krav på den kemiska sammansättningen. Däremot anges att grafitformen i huvudsak skall motsvara form V och VI och specificerade krav finns på de mekaniska egenskaperna för gjutgods med olika dimensioner. SKB:s insatser representerar ett betydligt grövre gjutgods än vad som har preciserats i denna standard. Standarden lämnar dock möjligheten öppen att specifika materialkrav för en viss produkt kan överenskommas från fall till fall med aktuella leverantörer. Baserat på detta har SKB gjort en preliminär egen teknisk specifikation för gjutna insatser, KTS 011 i bilaga 4. De materialkrav som specificeras i KTS 011 kan i korthet sammanfattas enligt följande:

Materialbeteckning i EN 1563: EN-GJS-400-15U (Nummer EN-JS1072, SS 07 17-00)

Följande krav gäller för prover uttagna var som helst i insatsen:

Sträckgräns (0,2 % förlängningsgräns) $R_{p0,2}$: min 240 N/mm².

Brottgräns R_m : min 370 N/mm².

Förlängning A: min 11 %.

Mikrostruktur, (nodularitet): Minst 80 % av grafiten skall vara av form V och VI i figur 2-1. Grafitform I–III skall inte förekomma.

Nodultäthet: min 100 grafitnoder/mm² (Uppmätt vid 100x förstoring).

Dessa krav på sträckgräns, brottgräns och förlängning specificeras i standarden för detta segjärn för komponenter med en godstjocklek i intervallet $60 < t \leq 200$ mm och gäller vidgjutna provstavar. Intervallet $60 < t \leq 200$ mm är den största godstjockleken som anges i standarden. I standarden avtar hållfasthetskraven med en ökande godstjocklek och SKB:s insatser motsvarar i realiteten en väsentligt större godstjocklek. Detta innebär en betydande svårighet att uppnå dessa värden i insatser och i synnerhet med provstavar som tagits ur själva insatsen. Preciserade materialkrav som säkerställer att insatserna uppfyller konstruktionskraven, kommer att fastställas när planerade hållfasthetsberäkningar, probabilistisk analys och verifierande tryckprov enligt det program som beskrivs nedan har genomförts.

Datorsimulering av gjutningsprocesserna samt gjuteritekniska åtgärder vid varje gjuteri i syfte att optimera materialegenskaperna och minska spridningen har genomförts och redovisas närmare i avsnitt 3.1. Detta har lett till ökad förståelse och förbättringar beträffande parametrar som ingjutsystem, gjuttemperatur och teknik vid tillsats av de små mängder av vissa ämnen som styr grafitens form och fördelning i den färdiga insatsen.

Under utvecklingsarbetet har SKB studerat erhållna materialegenskaper både i vidgjutna provstavar men även i kapade skivor från själva insatsen. Insatserna har gjutits med en extra längd så att en kapad skiva har kunnat utvärderas från den övre delen av insatsen. Den extra längden har gjort att insatser med ritningsenliga längder ändå har kunnat tillverkas. Några insatser har dock kapats upp så att ytterligare skivor utefter insatsernas längd har kunnat användas för en omfattande materialprovning. Resultat och kommentarer till utförd materialprovning redovisas i kapitel 3.

2.2 Stållock till insatser

Locken till insatserna tillverkas av valsad stålplåt. Tillverkningskraven har specificerats i KTS 012, bilaga 5. Materialet skall uppfylla kraven för konstruktionsstål S355J2G3 enligt standarden SS-EN 10025. Hållfasthetskrav och kemisk sammansättning av detta stål framgår av tabellerna 2-1 och 2-2. Efter bearbetning är tjockleken hos det färdiga locket 48 mm.

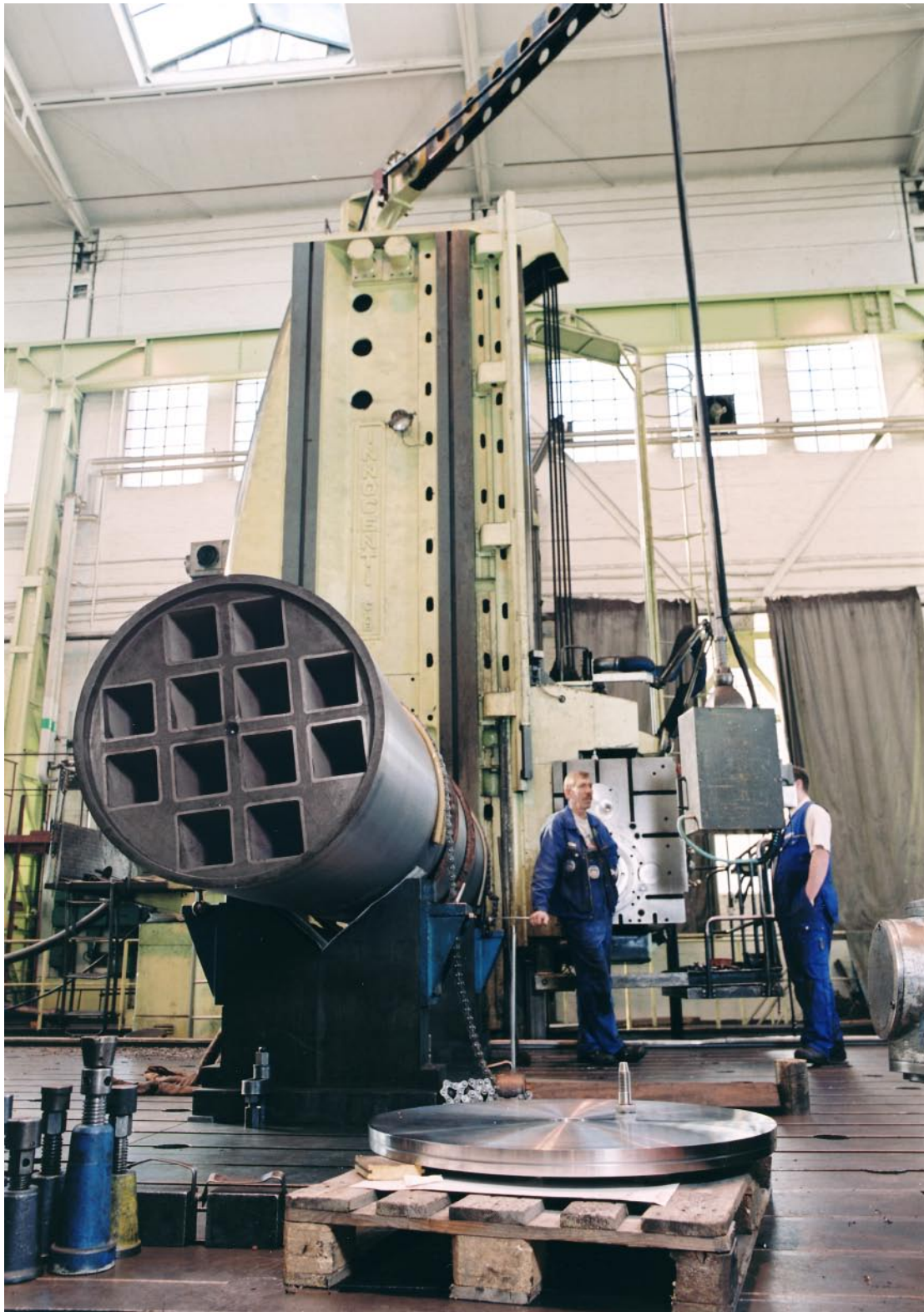
Tabell 2-1. Kemisk sammansättning av stål S355J2G3.

Sammansättning	
Maxvärden (%)	
C	0,20
Si	0,55
Mn	1,60
P	0,035
S	0,035

Tabell 2-2. Hållfasthetskrav för stål S355J2G3 i dimensioner motsvarande lock till insatser.

Egenskap	Dimensionsintervall (mm)	Värde
Sträckgräns, R_{eH}	40–63	≥ 335 MPa
Brottgräns, R_m	3–100	490–630
Förlängning, A_5	40–63	≥ 19 %

Enligt KTS 012 kan liknande stål som uppfyller kraven på sträckgräns och brottgräns också användas. Detta innebär att tillgängligheten på marknaden av stålplåt som motsvarar dessa krav är god. Tillverkningen av stållock är också förhållandevis enkel. Ett tjugotal lock till insatser har hittills tillverkats.



Figur 2-2. Stållock till insats och en gjuten insats. Stållocket är konstruerat för att skruvas fast mot insatsen med en skruv i centrum. Locket har även ett spår för en O-ring som tätning mot insatsens inre.

2.3 Kopparrör, lock och bottenar

För att uppfylla kravet på kemisk beständighet i den miljö som råder i djupförvaret har koppar valts som barriär mot korrosion. Koppar bedöms dels ha den livslängd som erfordras, dels ha minimal påverkan på övriga barriärer i djupförvaret. Det grundläggande kravet på korrosionsbeständighet har lett till att ren syrefri koppar skall användas. Utgångsmaterialet vid tillverkning av kapselrör, lock och bottenar är för rören halvkontinuerligt gjutna runda koppargöt med en diameter av ca 850 mm och för lock och bottenar kontinuerligt eller halvkontinuerligt gjutna runda göt med en diameter av 500 mm. För att specificera kraven har SKB utvecklat två tekniska specifikationer. I KTS 001, bilaga 2, finns specificerade krav på utgångsmaterialet, dvs på de koppargöt som skall användas i tillverkningen av komponenterna och i KTS 002, bilaga 3, finns kraven efter varmformningen av kopparrör och ämnen för lock och bottenar.

Som framgår av KTS 001 har SKB:s speciella krav på materialet medfört att någon direkt motsvarighet i svensk eller internationell standard ej finns. Enligt KTS 001 skall materialet uppfylla kraven enligt standarden EN 1976:1988 för Cu-OFE eller Cu-OF1 men med tilläggskraven: O<5 ppm, P 30–70 ppm, H<0,6 ppm och S<8 ppm. Bakgrunden till de delvis skärpta kraven jämfört med internationell standard kan sammanfattas enligt följande:

- Av tillverkningstekniska skäl måste det finnas ett visst spel på någon mm mellan insatsen och kopparhöljet. Detta innebär att kopparhöljet kommer att deformeras plastiskt upp till 4 % i djupförvaret. I huvudsak sker deformationen genom krypning. Materialet måste ha en duktilitet som klarar detta med god marginal. Element som väte och svavel har en negativ inverkan och måste reduceras till låga halter. Fosfor har visat sig ha en gynnsam effekt på krypduktiliteten och specificeras därför i KTS 001 till halter mellan 30–70 ppm.
- Materialet skall kunna svetsas med elektronstrålesvetsning. Syrehalten har här en negativ inverkan och måste ligga på en låg nivå.

Aktuella metoder vid sömlös rörtillverkning är extrudering, dornpressning och smide. Ämnen för lock och bottenar tillverkas genom smide. I samtliga dessa fall är varmformningstemperaturen ca 700 °C. Aktuella krav på kopparkomponenterna efter varmbearbetningen framgår av KTS 002. Kraven på struktur och mekaniska egenskaper kan sammanfattas på följande sätt:

- Kornstorlek <360 µm (medelkornstorlek).
- Förlängning A 50 mm (RT–100 °C) >40 %.
- Förlängning vid krypbrott >10 %.

Datorsimuleringar av extrudering av kopparrör samt smide av ämnen för lock och bottenar har utförts i ett doktorandarbete vid KTH, referens /14/. Resultaten har medfört en ökad kunskap om hur materialet deformeras vid olika formningsmetoder och villkoren för att få en struktur med acceptabel kornstorlek. För smide av lock och bottenar har resultaten kunnat användas i samband med optimering av smidesverktygen. Ett antal smiden med den förbättrade tekniken har visat att ämnen för lock och bottenar nu kan produceras med mycket tillfredsställande resultat.

Simulering av dornpressning i syfte att tillverka kopparrör med integrerad botten har utförts av Outokumpu Poricopper Oy och Vallourec & Mannesmann Tubes. Resultaten har använts vid utformning av varmformningsverktygen. Utförda tillverkningsprov med dornpressning

har hittills indikerat att en tillräckligt finkornig struktur kan erhållas i den integrerade botten, se avsnitt 4.1.3. Fortsatt optimering av smidesverktyg och processparametrar kommer ytterligare att kunna förbättra resultatet.

Provtillverkning av kopparrör med smide vid Scana Steel Björneborg AB har visat att metoden ger en acceptabel kornstorlek. Denna metod behöver utvecklas vidare genom optimering av verktygsutformning och processparametrar.

3 Resultat från tillverkning av gjutna insatser

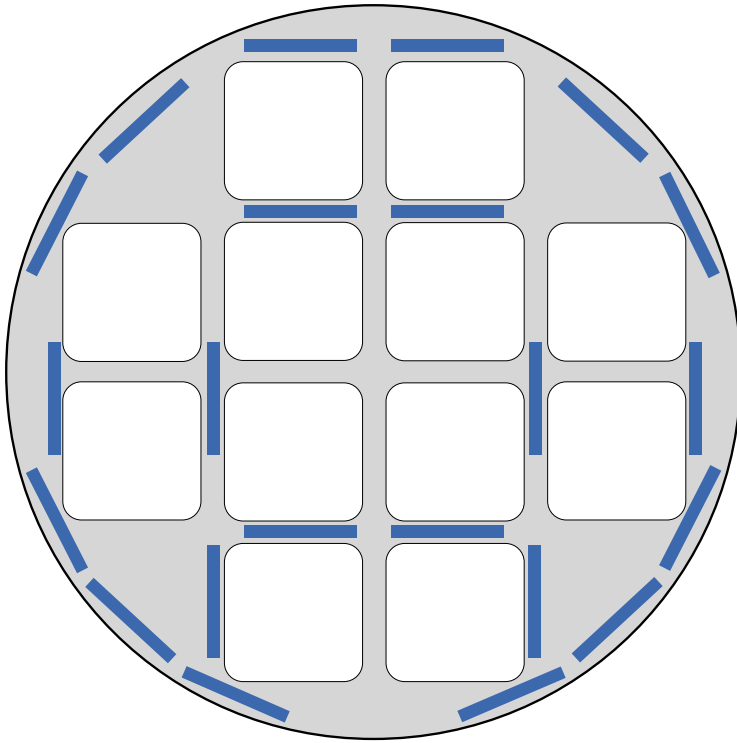
3.1 Allmänt

I den föregående lägesrapporten /3/ konstaterades att utförd materialprovning gett resultat med relativt stora variationer.

En omfattande materialprovning har utförts på ett antal gjutna insatser. Provtavlar för dragprovning och strukturkontroll har tillverkats ur olika kapade skivor från olika lägen i insatserna. Se exempel på provlägen i figur 3-1 och 3-2.



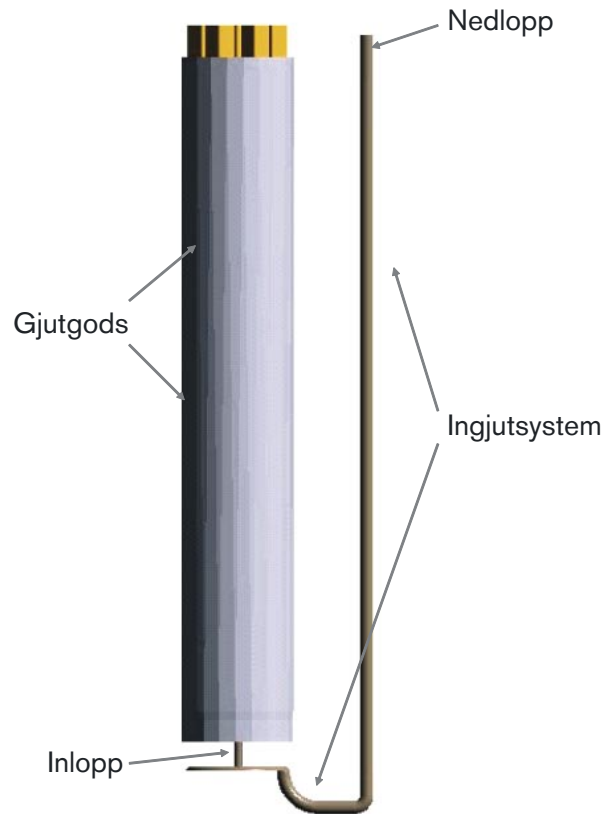
Figur 3-1. Kapade skivor ur gjuten insats för materialprovning



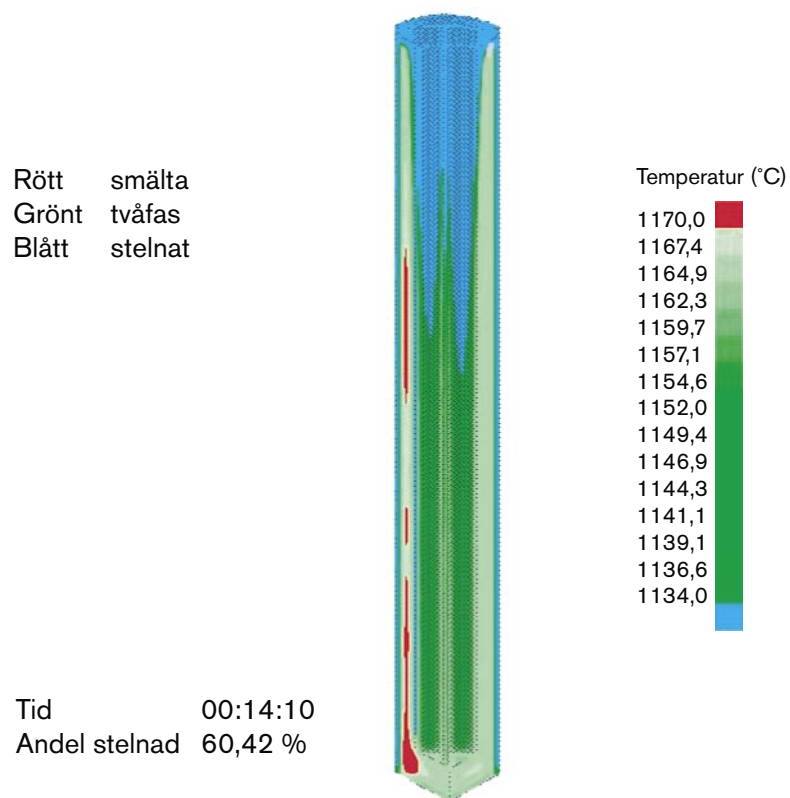
Figur 3-2. Lägen för uttagna provstavar i skiva ur gjuten insats.

SKB har kunnat konstatera en relativt stor spridning i materialegenskaperna i flera enskilda insatser. Störst spridning vid dragprovning har erhållna värden på brottförlängning. Segheten hos denna typ av gjutjärn är starkt beroende av grafitens struktur och förekomst av materialdefekter som porositeter i godset. I några insatser har grafitens nodularitet (rundhet som i typ VI i figur 2-1) varierat i insatsen. Viss förekomst av porositeter och slagg partiklar har även kunnat konstateras. Detta har påvisats med såväl mikroskopi som ultraljud.

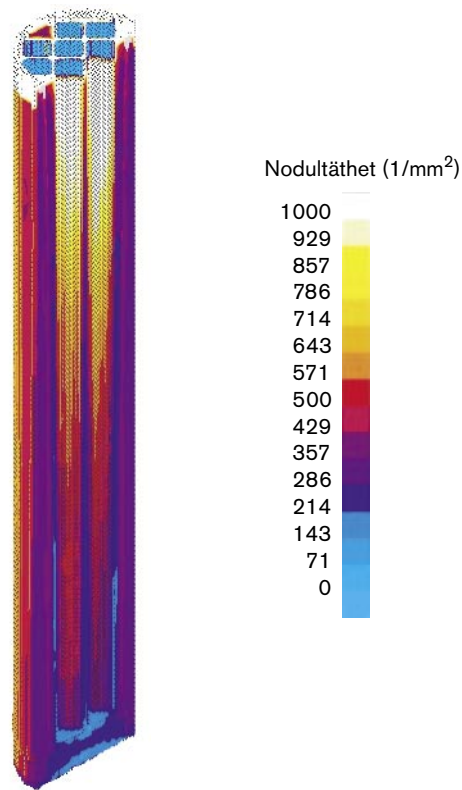
En analys hos Svenska Gjuteriföreningen med bl a datorsimuleringar av gjuttekniken hos varje enskilt gjuteri har gett indikationer på vissa förbättringar. Detta och gjuteriernas egna bedömningar beträffande processparametrar har medfört åtgärder för jämnare materialegenskaper. Några exempel på utförda beräkningar visas i figurerna 3-3 till och med 3-8.



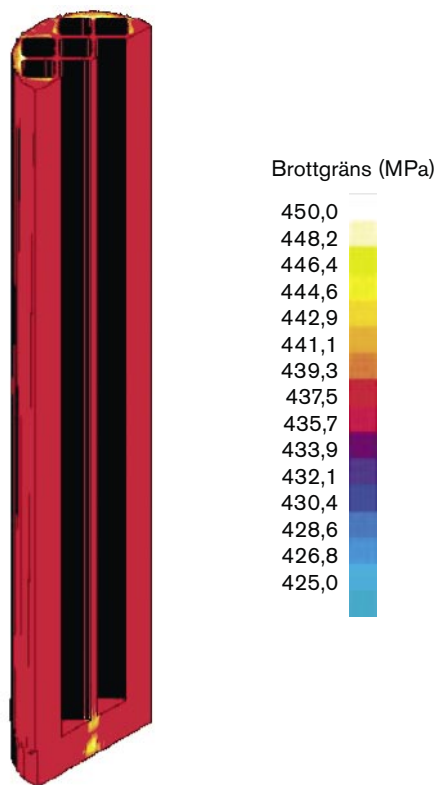
Figur 3-3. Gjutning av insatser i segjärn. Modellering av gjutsystem för datorsimulering.



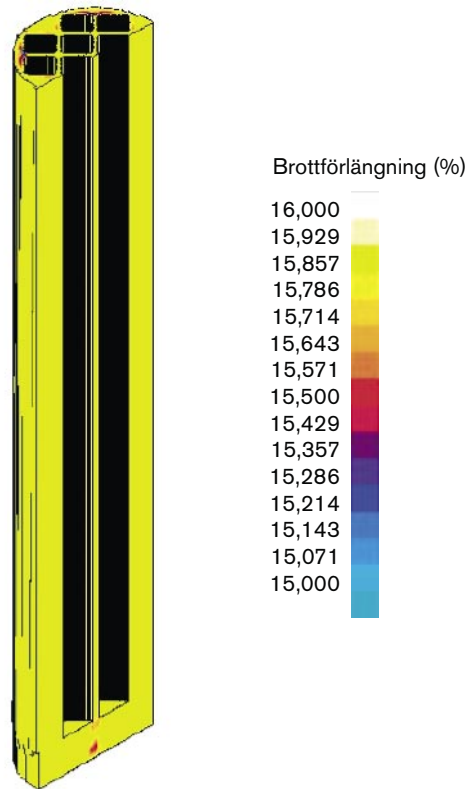
Figur 3-4. Simulering av stelningsförloppet vid gjutning av en insats. Insatserna stelnar uppifrån. Enligt simuleringen uppgår stelningstiden till ca 3,5 h.



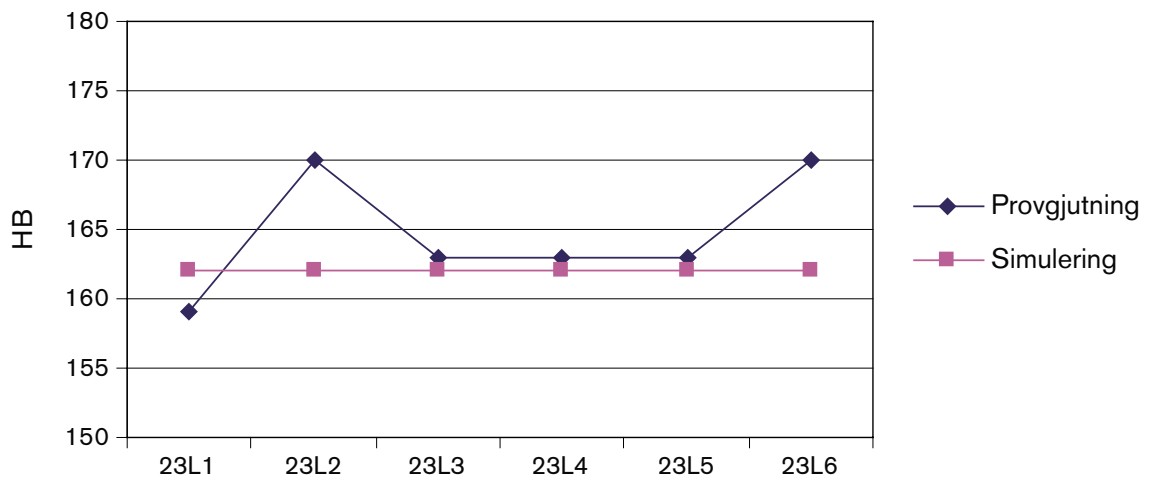
Figur 3-5. Beräknad nodultäthet i insatsen. Enligt KTS 011 i bilaga 4, skall nodultätheten vara minst 100 noduler/mm².



Figur 3-6. Beräknad brottgräns i insatsen. Brottgränsen skall enligt KTS 011 vara minst 370 MPa.



Figur 3-7. Beräknad brottförlängning i insatsen. Enligt KTS 011 skall förlängningen uppgå till min 11 %.



Figur 3-8. Jämförelse mellan uppmätt och beräknad hårdhet hos en insats.

3.2 Resultat av provgjutningar

Efter utförda analyser med åtföljande åtgärder hos gjuterierna har tre stycken insatser gjutits och genomgått en omfattande provning bl a vid Svenska Gjuteriföreningen i Jönköping. Insatserna har fått numren I 24, I 25 och I 26 och de har gjutits vid tre olika gjuterier i Sverige. Den kemiska sammansättningen enligt leveranscertifikaten för dessa tre insatser har sammanställts i tabell 3-1.

Tabell 3-1.

Ämne	Insats nr I24	I25	I26
C	3.66	3.78	3.56
Si	2.31	2.08	2.39
Mn	0.15	0.21	0.52
P	0.026	0.006	0.03
S	0.009	0.008	0.010
Mg	0.050	0.035	0.063
Cr	0.03	Saknas	Saknas
Ni	0.27	0.50	0.73
Mo	0.01	Saknas	Saknas
Cu	0.11	Saknas	Saknas

För materialprovning kapades två skivor ur varje insats, en skiva i toppen (T) och en i insatsernas botten (B). Eftersom insatserna hade gjutits med en extra tjock botten kunde bottenkivan kapas i den homogena botten. Ur varje skiva togs ämnen för dragprovstavar fördelade enligt principen i figur 3-2. De kvadratiska kanalerna för bränsleelementen och som finns markerade i figur 3-2, finns endast i toppskivan. Resultaten av materialprovningen framgår av tabellerna 3-2, 3-3 och 3-4.

Den väsentligaste skillnaden beträffande den kemiska analysen enligt tabell 3-1 är Si-, Ni- och Mn-halterna som är högst i insats nr I26. Denna skillnad ger enligt litteratur och Gjuteriföreningens beräkningar ca 58 MPa högre sträckgräns än I25, tabell 3-4 och 3-3. Görs en jämförelse även för I24 med I25 som bas fås resultatet att I 24 bör ha en sträckgräns ca 21 MPa högre än I 25. Den uppmätta differensen stämmer väl med den beräknade vilket framgår i tabellerna 3-2 och 3-3.

Även Mn och Cu höjer egenskaperna i ferriten, men vid för höga halter gör dessa att perlit bildas i grundmassan. Mn-halten i nr I26 är hög och hos dessa prov finns också en relativt hög halt perlit. En förhöjd perlithalt sänker materialets seghet, men höjer sträckgräns och brottgräns.

Tabell 3-2. Provresultat insats nr I 24.

Egenskap	Specifikation (KTS 011)	Topp -skiva	Botten -skiva	Kommentarer
R_{p0,2}	Min 240 MPa			
Medelvärde		257	289	B = Bra
1s		±18,1	±2,8	T = Stor spridning
R_m	Min 370 Mpa			
Medelvärde		299	408	B = Bra
1s		±36,3	±7,1	T = Ej bra, stor spridning
A_s	Min 11 %			
Medelvärde		3,5	22,2	B = Bra
1s		±1,6	±3,2	T = Ej bra
HBW				
Medelvärde		136	144	–
1s		±4,1	±3,0	Bra
Nodularitet, 1)	Min 80 %			
Medelvärde		90	90	Bra
1s		±0	±0	Bra
Min		90	90	Bra
Max		90	90	–
Nodultäthet, 2)	Min 100/mm ²			
Medelvärde		93	156	Bra
1s		±87	±112	–
Min		35	90	T = Lågt
Max		255	415	Bra
Perlitandel (%)				
Medelvärde		1,4	1	Bra
Min		0	0	Bra
Max		2	1	Bra

1) Grafitform V och VI enligt EN ISO 945

2) Antal noduler/mm²

B = Botten

T = Toppen

HBW = hårdhet Brinell

1s = standardavvikelse

Tabell 3-3. Provresultat insats nr I 25.

Egenskap	Specifikation (KTS 011)	Topp skiva	-	Botten skiva	-	Kommentarer
R_{p0.2}	Min 240 MPa					
Medelvärde		267		263		Bra
1s		±2,0		±2,0		Bra
R_m	Min 370 MPa					
Medelvärde		370		360		Något under kravet
1s		±9,0		± 4,2		Bra
A₅	Min 11 %					
Medelvärde		10,3		11,8		Något under kravet
1s		±3,4		±1,4		Bra
HBW						
Medelvärde		139		133		–
1s		±3		±1		Bra
Nodularitet, 1)	Min 80 %					
Medelvärde		75		68		Ej bra
1s		±7		±7		–
Min		70		60		Ej bra
Max		90		80		–
Nodultäthet, 2)	Min 100/mm ²					
Medelvärde		132		43		T = Bra
1s		±103		±12		–
Min		40		30		Lågt
Max		315		60		T = Stor spridning
Perlitandel (%)						
Medelvärde		1		1		Bra
Min		0		0		Bra
Max		3		5		Bra

1) Grafitform V och VI enligt EN ISO 945

2) Antal noder/mm²

Tabell 3-4. Provresultat insats nr I 26.

Egenskap	Specifikation (KTS 011)	Topp-skiva	Botten-skiva	Kommentarer
R_{p0,2}	Min 240 MPa			
Medelvärde		316	316	Bra
1s		±7,4	±4,1	Bra
R_m	Min 370 MPa			
Medelvärde		393	408	B = Bra
1s		±26,5	±25,9	Ej bra, stor spridning
A_s	Min 11 %			
Medelvärde		4,8	9,0	Ej bra
1s		±2,7	± 6,5	-
HBW				
Medelvärde		157	155	Bra
1s		±2,0	±0,8	Bra
Nodularitet, 1)	Min 80 %			
Medelvärde		75	75	Ej bra
1s		±11	±5	-
Min		60	70	Ej bra
Max		90	85	-
Nodultäthet, 2)	Min 100/mm ²			
Medelvärde		181	124	Bra
1s		±126	±37	-
Min		60	40	Lågt
Max		410	170	Bra
Perlitandel (%)				
Medelvärde		9,5	8,6	För högt
Min		5	5	Högt
Max		15	20	För högt

1) Grafitform V och VI enligt EN ISO 945

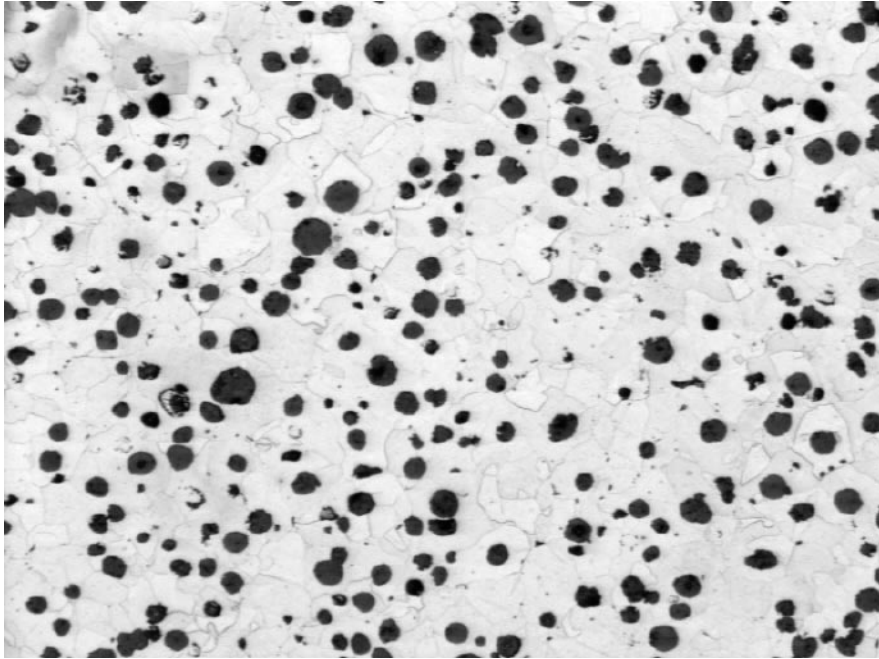
2) Antal noduler/mm²

I den tidigare lägesrapporten, /3/, redovisas resultat av dragprovning av provstavar som tagits ur 200 mm tjocka skivor kapade ur toppdelen av fyra tidigare insatser. Man kan konstatera en förbättring jämfört med de resultat som då erhöles både när det gäller sträckgräns, brottgräns och förlängning. Resultaten för insats nr I 25 ligger mycket nära de specificerade kraven. Man kan också konstatera att de bästa materialegenskaperna har erhållits i den nedre delen av insatserna. Detta är också vad man kan förvänta sig i ett så stort gjutgods som gjuts stående i formen. Som redan påpekats i avsnitt 2.1 motsvarar kraven egentligen väsentligt klenare gjutgods än vad insatserna representerar. I synnerhet kravet på förlängning vid dragprovning är sannolikt inte realistiskt i dessa dimensioner. I det fortsatta arbetet med bl a probabilistisk analys, se avsnitt 3.3, kommer preciserade materialkrav att kunna fastställas som är baserade på det verkliga behovet.

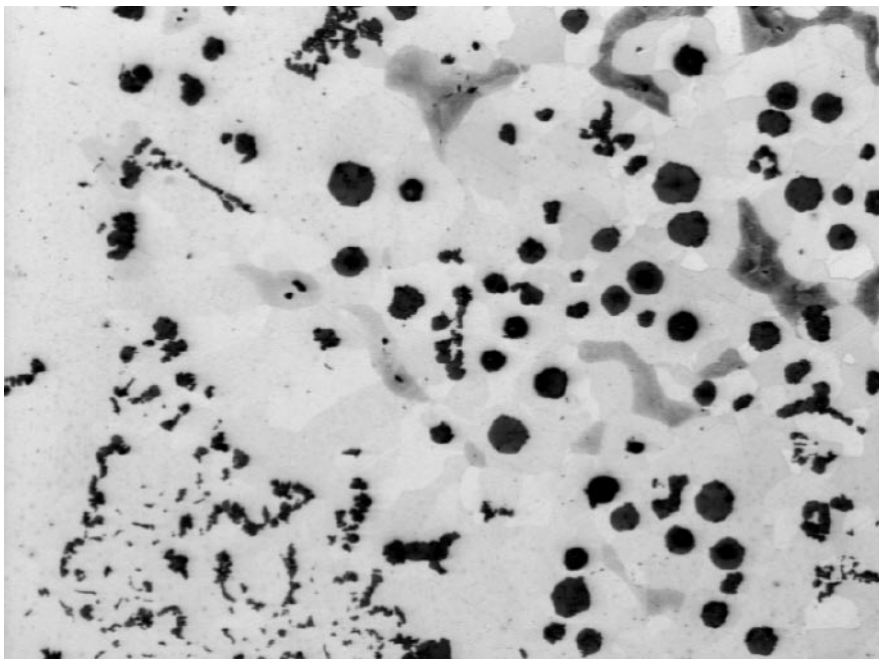
Ett högt värde på förlängning kräver ett defektfritt material med väl utvecklade grafitnoduler. Figur 3-9 visar en sådan struktur i insats I 24. Den aktuella provstaven är tagen från botten av insatsen. Dragprovningen och metallografin gav följande värden för denna provstav: R_{p0,2} = 292 MPa, R_m = 419 MPa, A = 24,6 %, nodularitet >90 %, nodultäthet 345/mm² och perlithalten var <1 %. Samtliga värden ligger för denna provstav klart över kraven.

Inslag av perlit i strukturen liksom dåligt utformad grafit ger en lägre seghet. Som jämförelse med figur 3-9 visas i figur 3-10 strukturen i en provstav från toppen av insats I 26. Förutom förekomst av perlit finns områden med dåligt utformad grafit, s k "chunkygrfit". För denna provstav erhöles följande värden vid dragprovning och

metallografisk undersökning: $R_{p0,2} = 311$ MPa, $R_m = 359$ MPa, $A = 3,0$ %, nodularitet ca 60 %, nodultäthet 140/mm² och perlithalten var ca 10 %. Det är känt att problem med "chunkygrafit" ibland förekommer vid produktion av segjärn i grova dimensioner. Se referens /12/. För att öka kunskaperna om detta kommer SKB att stödja och delta i ett doktorandarbete med titeln "Förbättrad grafitstruktur i tjockväggigt segjärnsgjutgods", vid Ingenjörshögskolan i Jönköping och Svenska Gjuteriföreningen.

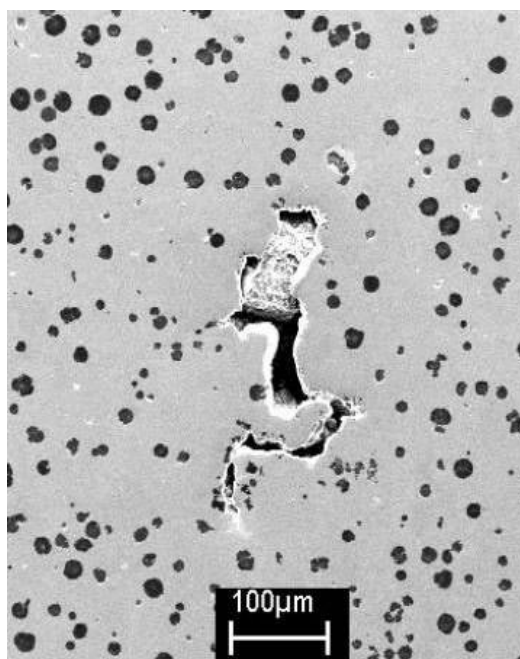


Figur 3-9. Nodulär grafit i segjärn med väl utvecklade grafitmoduler. (100x).

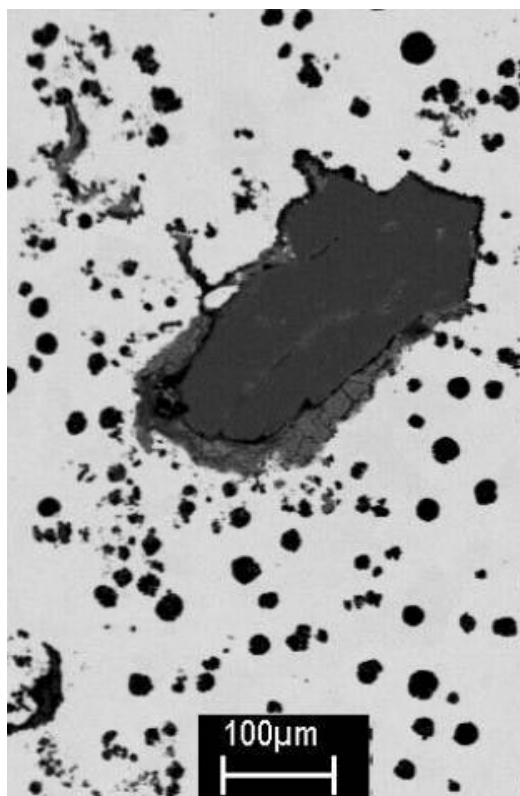


Figur 3-10. Defekt grafitstruktur, s k "chunkygrafit". (100x).

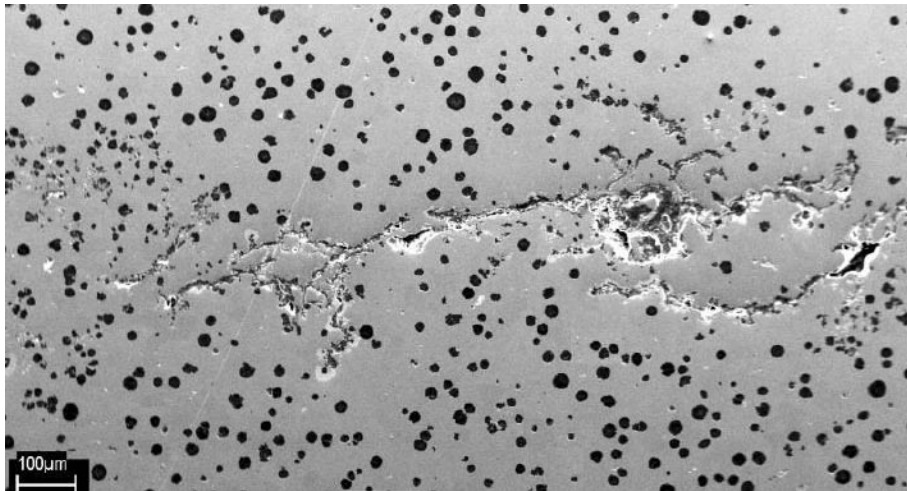
Man får i grovt gjutgods räkna med en viss förekomst av defekter av olika slag. Figur 3-11 till och med 3-13 visar exempel på detta. Även mindre defekter som i dessa exempel medför försämrade värden vid dragprovning om de råkar finnas i en provstav.



Figur 3-11. En mindre porositet i gjuten insats.



Figur 3-12. Slagginnestutning.



Figur 3-13. Annan gjutdefekt.

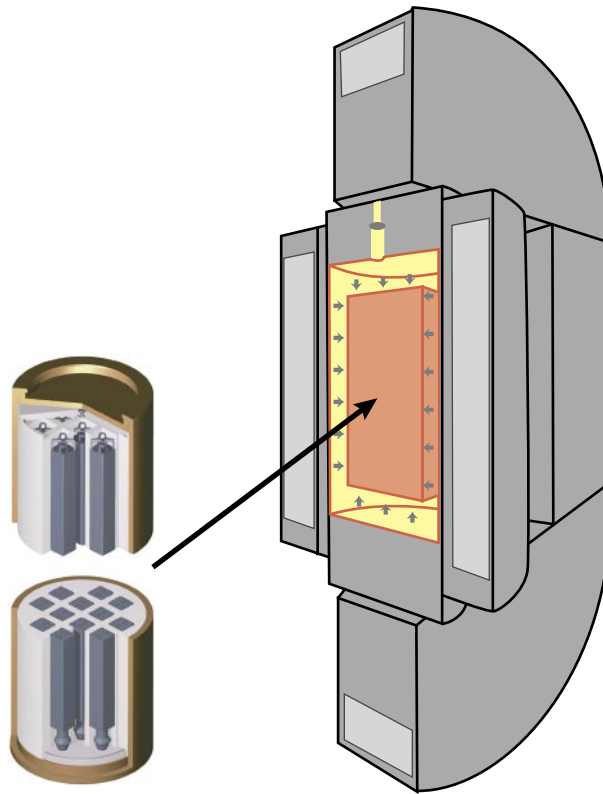
Resultaten av den omfattande materialprovning av gjutna insatser som gjorts visar att traditionell dragprovning med provstavar som tas från olika ställen i en insats ofta kommer att ge en relativt stor spridning hos resultaten. Enstaka provstavar kommer att ge låga värden utan att därför motsvara insatsens verkliga hållfasthet. Den huvudsakliga påkänningen på insatserna i djupförvaret är dessutom tryckbelastning. Detta har sammantaget lett till att en analys av insatsernas hållfasthet och formulering av en ny specifikation av materialkraven måste baseras på ett statistiskt angreppssätt med probabilistiska beräkningar. Början av denna fas i utvecklingen av gjutna insatser kommenteras i nästa avsnitt.

3.3 Probabilistisk analys

Ett omfattande utvecklingsprojekt med probabilistisk analys av kapslarnas hållfasthet har påbörjats. Deltagande är förutom SKB, Svenska Gjuteriföreningen, Ångpanneföreningen, Kungliga Tekniska Högskolan i Stockholm, Joint Research Center (JRC) i Holland, Det Norske Veritas samt CSM Materialteknik AB. De tre olika insatser från olika gjuterier som redovisats ovan (I 24, I 25 och I 26) ingår i undersökningen. Ett relativt stort antal provstavar tas från olika lägen fördelade enligt principen i figur 3-2, även från andra kapade skivor än de som användes vid den materialprovning som redovisades i avsnitt 3.2. Alla provstavar och även hela skivor röntgas för att få värden på storlek och fördelning av defekter i godset. Hållfasthetsegenskaperna utvärderas genom konventionell dragprovning men även genom kompressionsprovning och brottseghetsprovning. Därefter genomförs en fraktografisk analys av brottytor och mikrostrukturen undersöks metallografiskt. Den stora mängden information skall användas i en probabilistisk analys av sannolikhet för haveri och ett värde på den kritiska defektstorleken vid de påkänningar som kapslarna kommer att utsättas för.

Inom ramen för projektet genomförs även hållfasthetsberäkningar med finita elementmetoder. Resultaten av detta projekt kommer att redovisas i en separat rapport.

Verifierande tryckprov kommer att utföras i kallisostatpress med vatten som tryckmedium, figur 3-14. Provkroppen, se figur 3-15 består av en del av aktuell insats, ca 700 mm lång men med full diameter. Båda ändar av insatsen täcks av ett fastskruvat stållock och omges av ett 50 mm tjockt kopparrör med lock och botten också i koppar. Provkroppen liknar alltså, frånsett längden, i hög grad en riktig kopparkapsel. Ett första sådant prov har gjorts på en del av insatsen I 26.



Figur 3-14. Principen för tryckprovning i isostatpress.



Figur 3-15. Del av insats I 26 och del av ett kopparrör för tryckprovning.

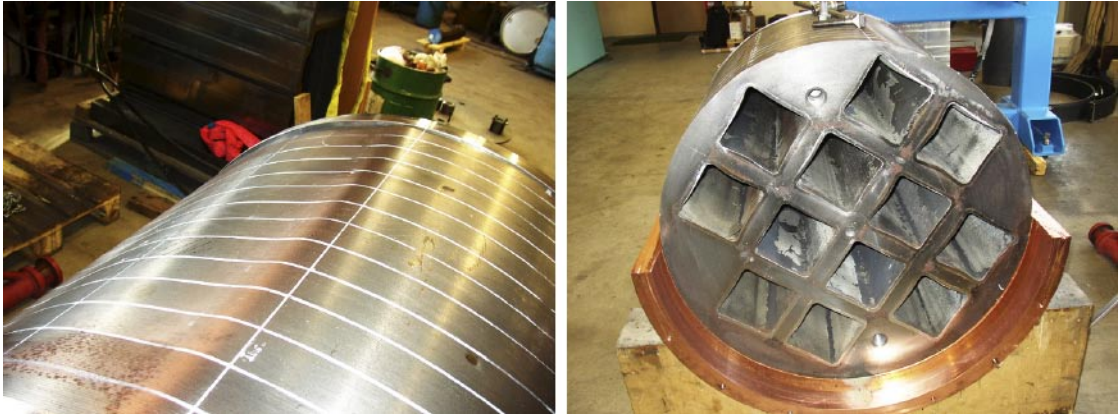
Den relativt korta längden av provkroppen beror på att någon större isostatpress ej kunnat hittas. En hållfasthetsberäkning som gjorts visade emellertid att den relativt korta längden på denna provkapsel inte väsentligt förändrar kollapslasten jämfört med en kapsel med full längd. Kapseln belastades i ett antal steg upp till 135 MPa. Kapseln hade då deformerats ca 20 mm, figur 3-16 men kopparhöljet var fortfarande tätt. Figur 3-17 visar deformationen av segjärnsinsatsen.

Resultaten från den första insatsen i projektet utvärderas för närvarande både när det gäller provdata från utförd materialprovning och tryckprovet. Resultaten kommer att redovisas separat.

Man kan dock konstatera att det utförda tryckprovet indikerar en betydande överstyrka hos segjärnsinsatserna. Detta styrker resonemanget i avsnitt 3.2 att kraven på materialet kan modifieras.



Figur 3-16. Provkapseln efter att ha varit utsatt för ett isostatiskt tryck på 135 MPa. Kopparhöljet har lokalt deformerats ca 20 mm. Kapseln var dock fortfarande tät.



Figur 3-17, A och B. Bilderna visar hur insatsen lokalt har tryckts in något. Figur B visar även att stålprofilerna som bildar kanalerna för bränsleelementen har deformerats.

4 Resultat från provtillverkning av kopparkomponenter

4.1 Tillverkning av kopparrör

De båda tidigare lägesrapporterna, /2/ och /3/, innehåller en relativt detaljerad beskrivning av metoder för tillverkning av rör till kopparkapslar. Ytterligare en metod, smide av rör, har nu tillkommit. Följande metoder är idag aktuella:

- Extrudering.
- Dornpressning.
- Smide.

Gemensamt för dessa tre metoder är att rören tillverkas heldragna, dvs utan längsgående svetsfogar. Sedan 1998 har alla rör tillverkats heldragna. Kraven på tillverkade kopparkomponenter finns i den tekniska specifikationen KTS 002, bilaga 3. Utgångsmaterialet är i alla tre fallen cylindriska koppargöt.

4.1.1 Tillverkning av göt för sömlösa kopparrör

Sedan senaste lägesrapporten har SKB i samarbete med Posiva tillverkat 12 stycken koppargöt hos Outokumpu. Tillverkning har skett enligt en upprättad kvalitetsplan. Materialkraven, krav på dokumentation samt leveransbestämmelser är definierade i KTS001, bilaga 2.

Tillverkningen kan beskrivas som en halvkontinuerlig gjutning med tillverkning av ett göt i sänder. Detta innebär att varje göt måste kapas i toppen så att rester av defekter som alltid bildas i toppen av ett göt tas bort. Eftersom provtillverkningen av rör för 50 mm vägg tjocklek i vissa fall har visat på svårigheter att åstadkomma rör med tillräcklig längd har genomgående så mycket som möjligt av göten använts. Det finns tekniska begränsningar i anläggningen vilket innebär att man inte kan tillverka göt större än ca 14 ton. Idag anser man att det krävs ca 13,5 tons göt för att tillverka rör med integrerad botten genom dornpressning. Materialutbytet vid såväl göttillverkning och dornpressning kan dock sannolikt optimeras. (Vid rörtillverkning genom extrusion och smidning krävs mindre än 12 tons koppargöt).

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 göt reduceras,
- kontroll av fosfor-innehåll,
- ytkvalitet på göt är godkänt.

Efter gjutning kapas de första tillverkade 10–30 cm bort av götet då processen inte är stabil och kemisk sammansättning inte innehålls.

Ett av göten har delats diametralt till två cylinderhalvor. En yta har slipats och etsats. Lärdom har tagits av stelningsfrontens utseende och sprickbildning.



Figur 4-1. Kristallstruktur i ett delat koppargöt.

Den kemiska analysen enligt leveranscertifikat för göt som använts för tillverkning av de rör som redovisas i denna rapport har sammanställts i tabell 4-1.

Tabell 4-1. Kemisk analys av göt som använts för rör nr, i ppm.

Element	Krav enl. KTS 001, rev 4 (ppm)	T25 Göt	T26 Göt	T27 Göt	T30 Göt	T31 Göt	T32 Göt	T33 Göt	T34 Göt	T35 Göt	T36 Göt	T37 Göt
		189-3-1	63-2-1	64-2-1	150-3-1	152-3-1	133-1	82-2	Posiva	64-3-1	65-3-1	351-2-1
		Tilliv 1998										
P	30-70	35-49	44-66	41-66	31,1-35,7	35,7-44,5	40-42	42-60	54-56	41-66	41-66	37-51
Ag	<25	10-13	12,3-12,5	12,3-12,5	11-12	11-12	11	13	13,9-14,3	12,3-12,5	12,3-12,5	10,6-25
As	<5	<2	1,04-1,10	1,04-1,10	1,27-1,35	1,32-1,38	1,36-1,43	1,26-1,32	1,2	1,04-1,10	1,04-1,10	0,092-1,3
Bi	<1	<3,0	0,19-0,21	0,19-0,21	0,4	0,4	0,3	0,3	0,42-0,46	0,19-0,21	0,19-0,21	0,41-0,5
Cd	<1	<2,0	<0,003	<0,003	<0,0	<0,0	<0,05	<0,05	<0,01	<0,003	<0,003	<0,004
Fe	<10	<3,0	1,1-1,3	1,1-1,3	0,4-0,7	0,4-0,7	0,8-0,9	0,4-1,8	0,7-0,9	1,1-1,3	1,1-1,3	0,5-0,8
H	<0,6	-	0,40-0,43	0,40-0,43	0,4-0,52	0,34-0,47	0,1-0,4	0,24-0,52	0,15-0,28	0,4-0,43	0,40-0,43	0,31-0,35
Mg	<1	<0,5			<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,1			<0,08
Mn	<0,5	<1	0	0	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,1	0	0	<0,2
Ni	<10	<2	0,4-0,5	0,4-0,5	0,4-0,7	0,3-1,0	0,3-0,4	0,3-0,4	0,8-0,9	0	0,4-0,5	1,5-1,7
O	<5	-	1,8-4,8	1,8-4,8	2,3-5,3	2,5-5,6	3,0-5,7	2,9-5,8	2-2,5	1,8-4,8	1,8-4,8	3,5-5,3
Pb	<5	<7	0,31-0,34	0,31-0,34	0,69-0,81	0,79-0,8	0,65-0,72	0,53-0,65	0,37-0,44	0,31-0,34	0,31-0,34	1-1,7
S	<8	5-8	5,7-6,2	5,7-6,2	6,2-7,0	5,9-6,1	5,8-6,5	5,7-5,9	6,2-6,8	5,7-6,2	5,7-6,2	5,5-5,9
Sn	<2	<1	0,076-0,112	0,076-0,112	0,2-0,22	0,24-0,28	0,33-0,34	0,15-0,16	0,2-0,22	0,076-0,112	0,076-0,112	0,61-0,64
Te	<2	<7	0,25-0,26	0,25-0,26	0,54-0,6	0,46-0,51	0,35-0,42	0,27-0,30	0,39-0,42	0,25-0,26	0,25-0,26	0,51-0,67
Zn	<1	<7,0	0-0,02	0,00-0,02	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,2	0,00-0,02	0-0,02	0,3-0,5

4.1.2 Extrudering av kopparrör

Fem rör har tillverkats genom extrusion sedan den föregående lägesrapporten. Det genomförda doktorandarbetet vid KTH, /14/, har gett en ökad kunskap om villkoren för att styra parametrarna vid varmformningen så att önskad struktur erhålles. Av de nya rören var T 25 ytterligare en provtillverkning av ett rör avsett för 40 mm vägg tjocklek efter färdigbearbetning. Övriga rör T 26, T 27, och T 31 avsåg rör med 50 mm vägg tjocklek. Tabell 4-2 visar en sammanställning av erhållen struktur och mekaniska egenskaper för dessa rör. Formningstemperaturen vid extrudering är ca 700 °C.

Tabell 4-2. Mekaniska egenskaper och erhållen struktur i extruderade rör.

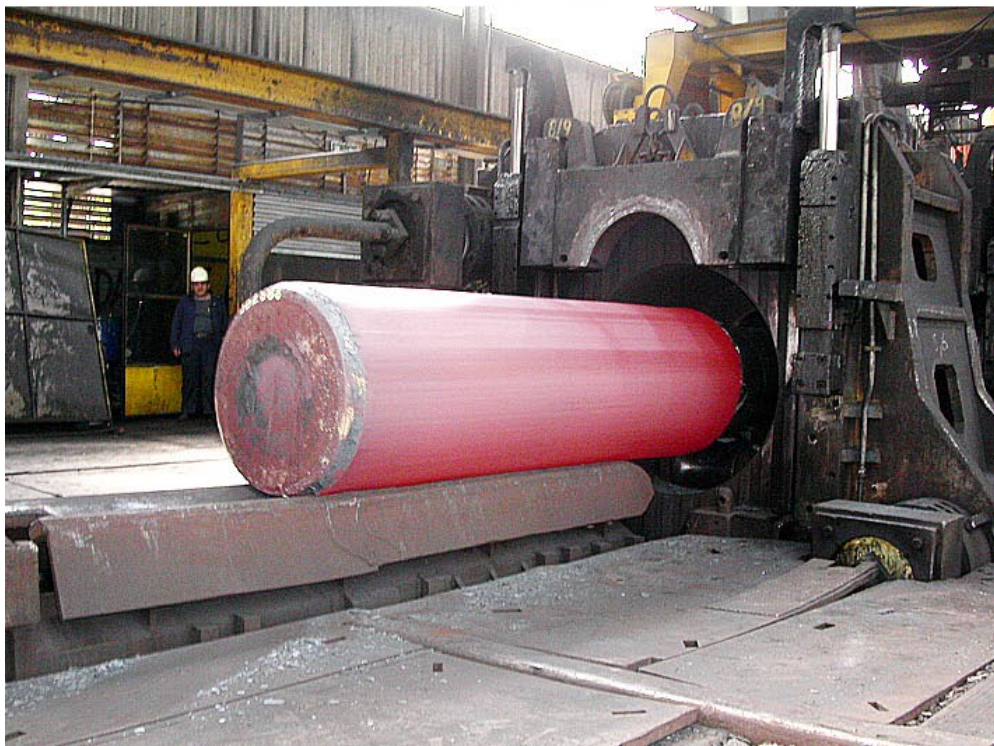
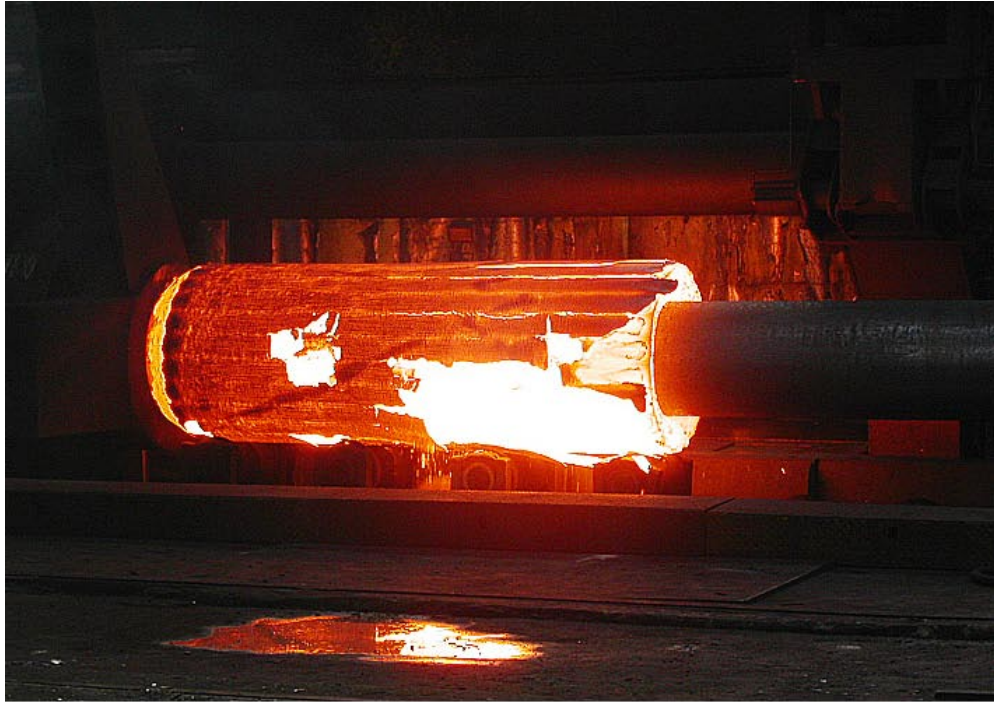
Rör nr	Sträckgräns $R_{p0,2}$ (MPa)	Brottgräns R_m (MPa)	Förlängning A (%) Krav >40 %	Hårdhet (BHN)	Medel-kornstorlek (μm) Krav <360 μm
T 25	84	226	62,5	38,6–41,9	32–90
T 26	63	221	63,5	38,6–41,9	32–90
T 27	69	224	62,0	35,7–38,6	32–90
T 31	69	216	63,0	39,0–52,5	64–127

Man kan konstatera att erhållen struktur och mekaniska egenskaper är godkända och kan styras genom kontroll av tillverkningsparametrarna Extrudering är därmed en metod som kan användas vid en serietillverkning av kopparrör. I det fortsatta arbetet skall metoderna för kvalitetskontroll bli a OFP med ultraljud, se kapitel 6 och dimensionsmätning att utvecklas. Förutom detta behöver tekniken för riktning förbättras liksom rutiner för att undvika hanteringsskador. Inget av detta bör innebära några avgörande svårigheter.

4.1.3 Dornpressning

Datorsimulering av dornpressning i syfte att tillverka kopparrör med integrerad botten har utförts av Outokumpu Poricopper och Vallourec & Mannesmann Tubes. Simuleringarna har gjort det möjligt att studera deformationsgraden vid de olika stegen under varmformningen. Resultaten har använts för att utforma de verktyg som används så att varmbearbetningen av botten blir tillräcklig. Två rör, T 34 och T 36 har tillverkats med integrerad botten och ytterligare ett rör är för närvarande under tillverkning.

Resultaten för rör T 34 har sammanställts i en särskild rapport, /13/.

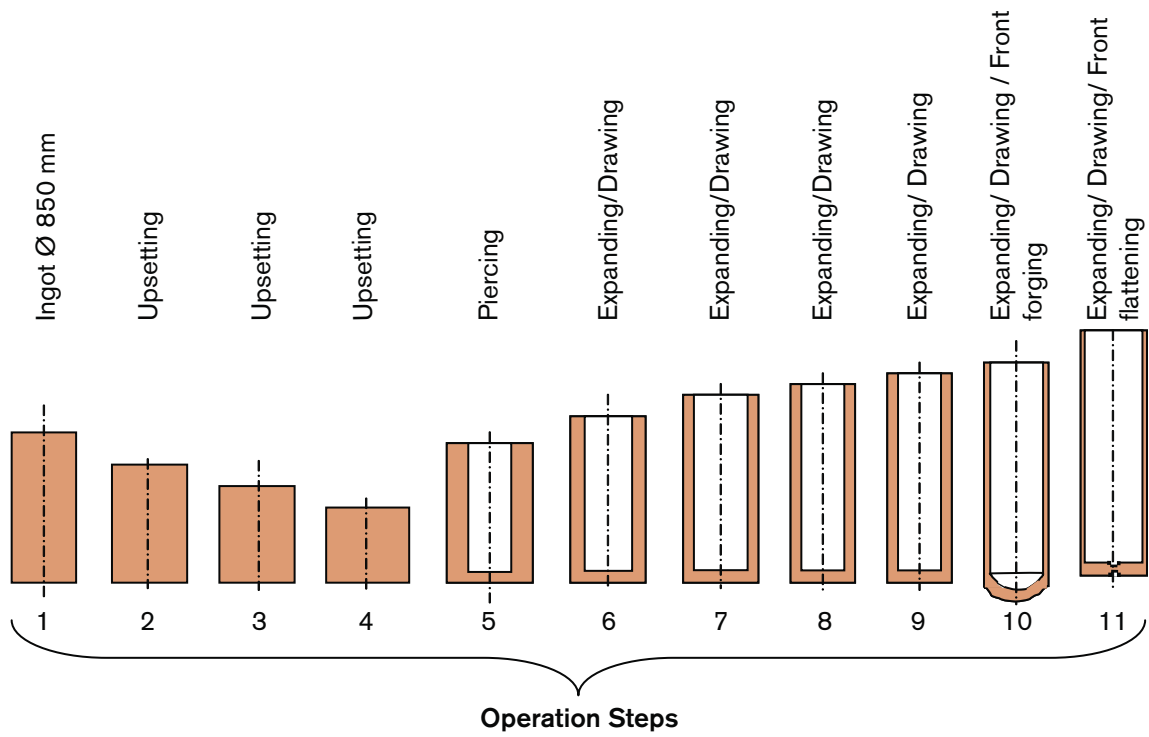


Figur 4-2. Vid dornpressning formas kopparröret genom en serie av successiva expansionssteg och dragningar till önskade mått. Den övre bilden visar en expansion och den undre en dragning som förlänger röret.



Figur 4-3. A och B. Rör T 34 med integrerad botten efter maskinbearbetning in- och utvändigt. Se även referens /13/.

Resultatet av utförd materialundersökning på rör T 34 visade att i toppen av röret var kornstorleken maximalt 120 μm liksom i botten periferi. Centrumdelen av botten hade inte fått en tillräcklig genombearbetning. Kornstorleken där varierade upp till ca 1 mm stora korn. Hela röret utom botten uppfyllde kornstorlekskravet $\leq 360 \mu\text{m}$. Efter ytterligare datorsimuleringar gjordes ytterligare modifieringar för att åstadkomma en bättre bearbetning av botten centrum under de sista stegen i varmformningen, se figur 4-4 och 4-5. Detta tillämpades på rör T 36 som kom att pressas före T 35.

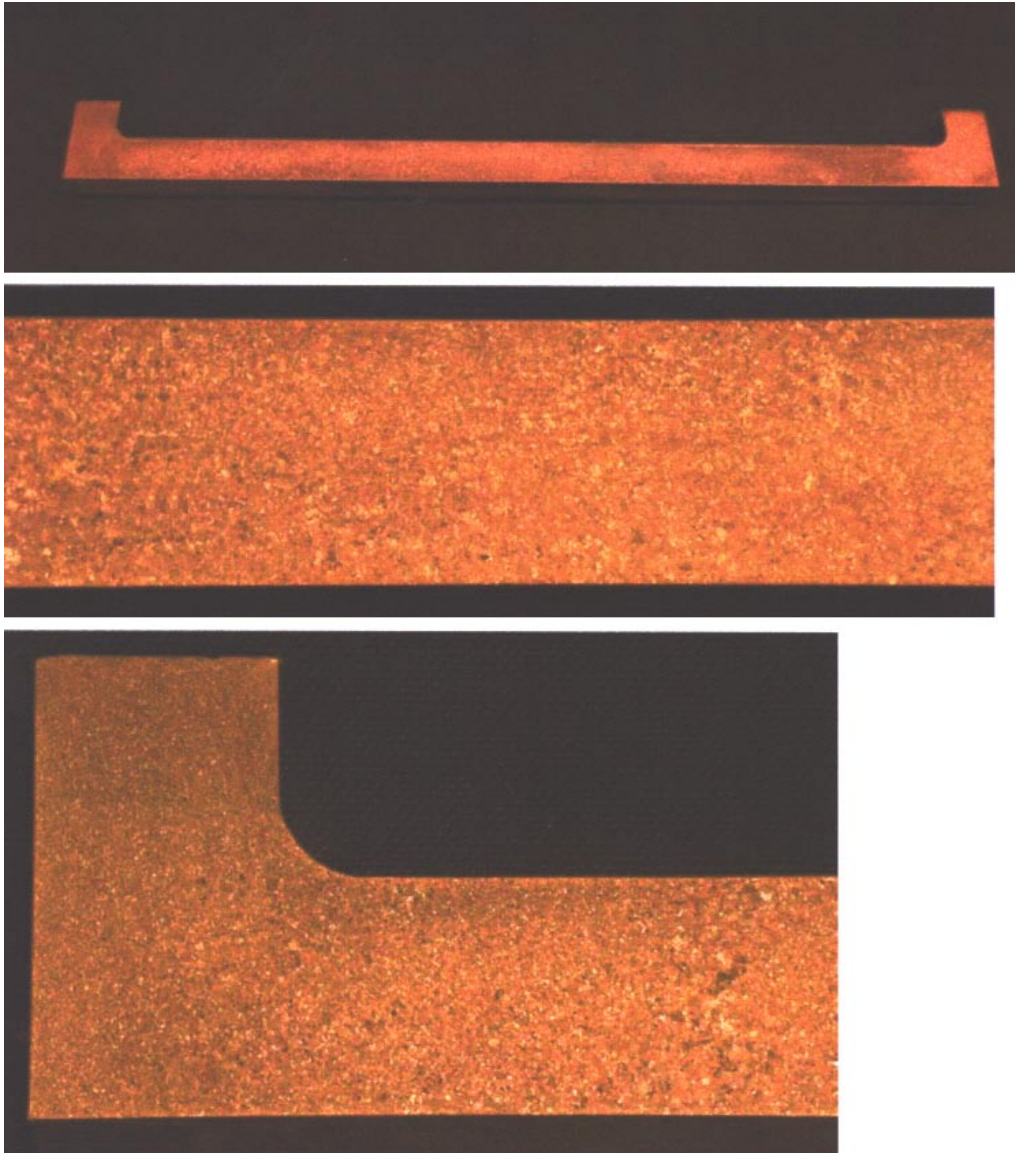


Figur 4-4. Operationssteg för ytterligare bearbetning av den integrerade botten.



Figur 4-5. Rör T 36 efter tillverkning enligt figur 4-4.

Den metallografiska undersökningen av botten hos rör T 36 visade att kornstorleken i botten centrum var 350 μm . Man kunde samtidigt konstatera att variationen i kornstorlek i botten var relativt stor, se figur 4-6. Inga defekter kunde observeras i snittet genom botten. Resultatet indikerar att dornpressning av rör med integrerad botten kan ge tillräckligt bra resultat för att kunna tillämpas. Rör T 35 kommer att bli ytterligare ett steg i utvecklingen. Men även om dornpressning med integrerad botten inte kommer att vara en framkomlig väg kommer dornpressning ändå att kunna användas som en metod för tillverkning av kopparrör, öppna i båda ändar tillsammans med extrudering och eventuellt även smide.

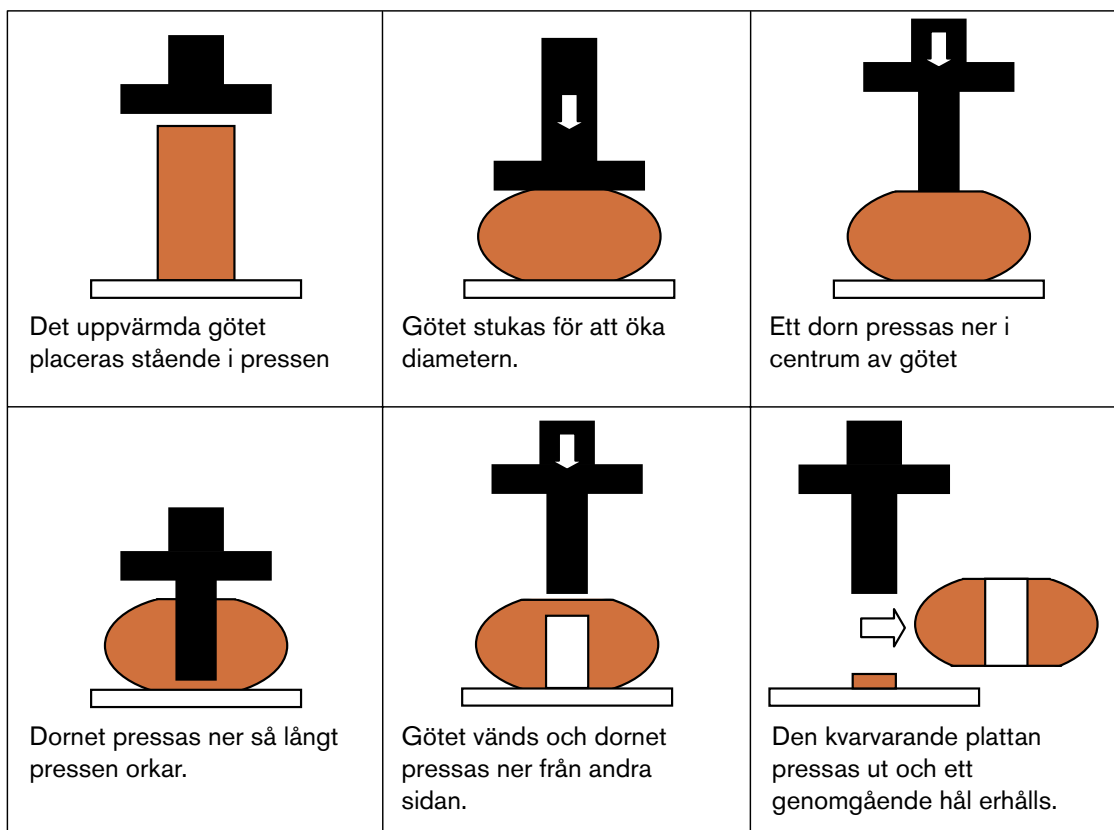


Figur 4-6. Strukturen i ett diametralt utskuret tvärsnitt genom botten av rör T 36.

4.1.4 Smide

En ny metod att tillverka sömlösa rör som har börjat undersökas är smidning och viss provtillverkning har utförts. Provtillverkningen har gjorts på Scana Steel Björneborg som normalt gör tungt friformssmide i stål. Hela processen utförs i en press med 4500 ton presskraft.

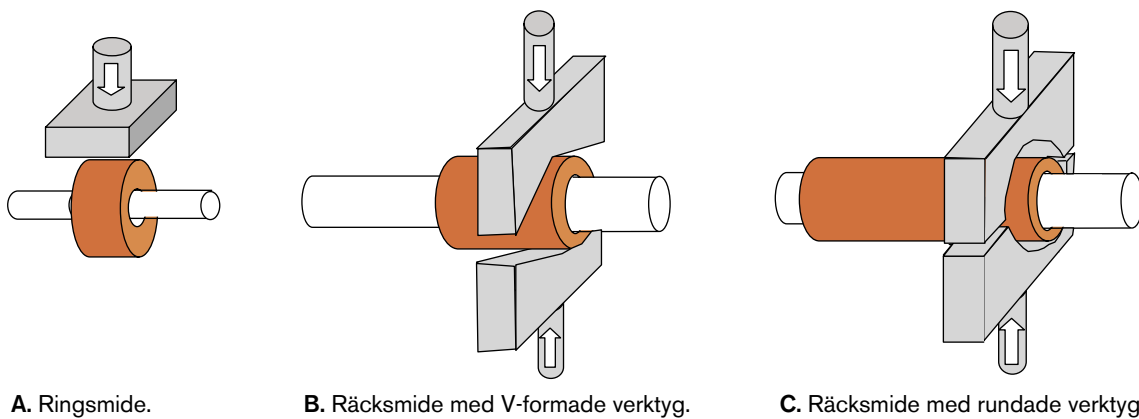
Processen börjar med att götet värms och placeras stående i pressen. Götet trycks sedan samman för att få en större diameter, ca 1100mm. Därefter pressas en dorn ner i centrum för att skapa ett hål igenom götet (piercing). Se figur 4-7. Dornen pressas ned så långt det går och därefter vänds götet. Dornen pressas ned från götets andra sida och en liten platta av överskottsmaterial trycks bort. Plattan som trycks bort är ungefär 60 mm tjock och väger ca 80 kg. Efter denna operation har ett hålrat ämne erhållits som placeras i ugnen för att värmas på nytt.



Figur 4-7.

Det hålade götet träs på en horisontellt liggande dorn och utsätts sedan för så kallat ringsmide. Ringsmidet går till så att man pressar vertikalt och använder dornen som mothåll. Detta görs för att öka innerdiametern och få en jämn vägg tjocklek. När en tillräcklig innerdiameter har uppnåtts träns kopparringen upp på en grövre dorn som har en diameter motsvarande den färdigsmidda kopparcyklinderns innerdiameter. Denna dorn förvärms till ca 400 °C. Nästa steg är räcksmede, vilket går till så att man trycker från båda håll mot dornen. Syftet med detta är att få kopparcyklindern att växa på längden. I början används ett V-format verktyg tills man har uppnått en ytterdiameter som passar in i det rundade verktyget som används i det sista steget. Hur ring- och räcksmedes processerna går till illustreras i figur 4-7 A–C. Under ringsmidnings och räcksmidningsprocessen sker ett antal mellanliggande värmningar.

I figur 4-9 visas det sista räcksmidningssteget i verkligheten. På bilden ser man röret sitta på dornen som används för att få rätt innerdiameter. Man kan också se de rundade verktygen som omsluter röret.



Figur 4-8 A–C. Skiss på smidning efter hålning av götet.



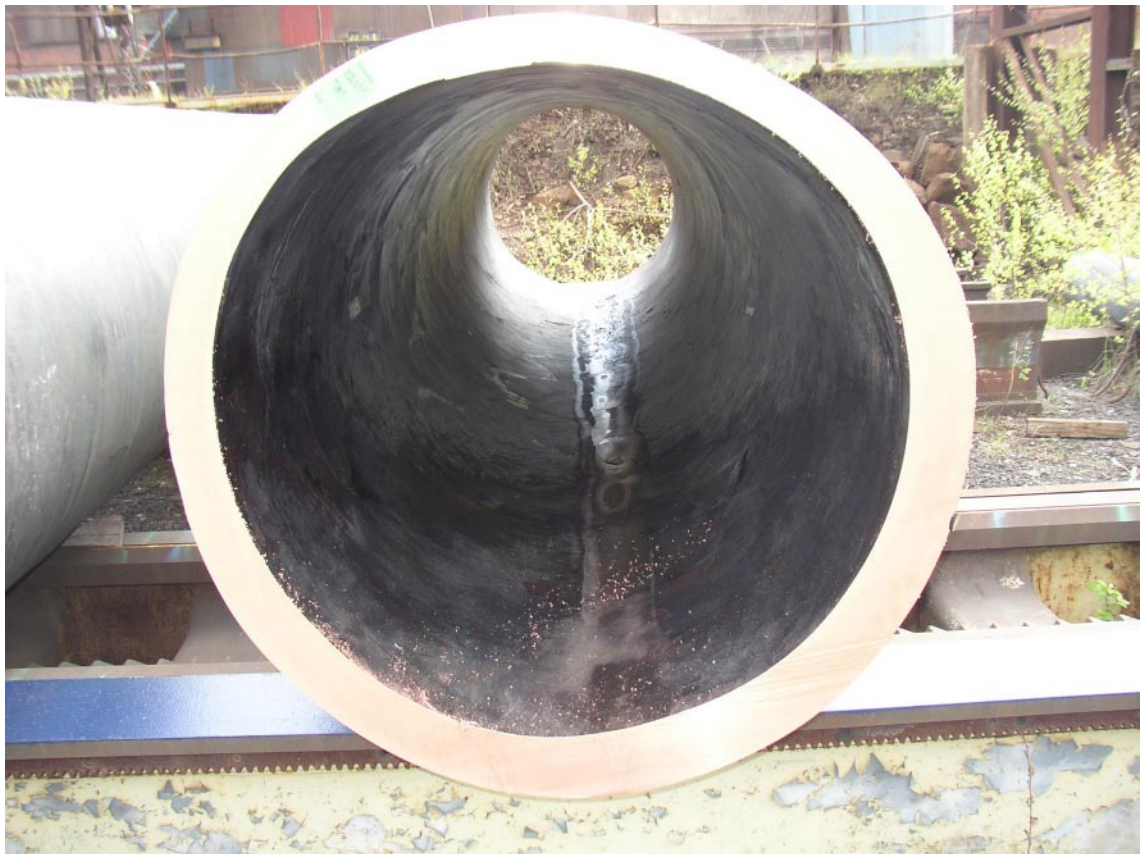
Figur 4-9. Slutliga räcksmidningsoperationen i det rundade verktyget.

Ett rör har tillverkats genom smide och det har beteckningen T33.

I ena änden av det använda götet fanns tydliga centrumsprickor. Sidan med centrumsprickor placerades nedåt vid piercingoperationen för att eventuella defekter skulle pressas ut ur materialet och bli kvar i den platta som pressas bort.

I det första steget användes ett tillgängligt V-format verktyg ej anpassat för den aktuella rördimensionen. Detta verktyg gjorde så att materialet flöt till en viss del i tvärriktningen istället för i längdriktningen som det var tänkt. För att få tillräcklig längd och en bra diameter på röret användes ett verktyg, som var specialtillverkat för smidningen av kopparrör, i ett sista steg. Detta verktyg var nära formen av den färdiga kopparcylintern och visade sig styra materialflödet bättre i längdriktningen.

Mätning efter smidning visade att innerdiametern hade blivit något för stor samt att innerdiametern var större i ändarna av röret än i mitten. En annan sak som upptäcktes var att det blev en relativt stor skillnad i väggtjocklek runt om röret, se figur 4-10.



Figur 4-10. Bild på sågat rör.

Den höga deformationsgraden i smidesprocessen i kombination med den måttliga smidestemperaturen ger förutsättningar för en relativt finkornig struktur. På T 33 togs kornstorleksprover i båda ändar av röret. Det visade sig att kornstorlekskraven uppfylldes med god marginal. Kornstorleken uppmättes till intervallet 64–127 μm .

Maskinbearbetning av innerdiametern på röret T33 utfördes i arborrverk hos KIMAB.

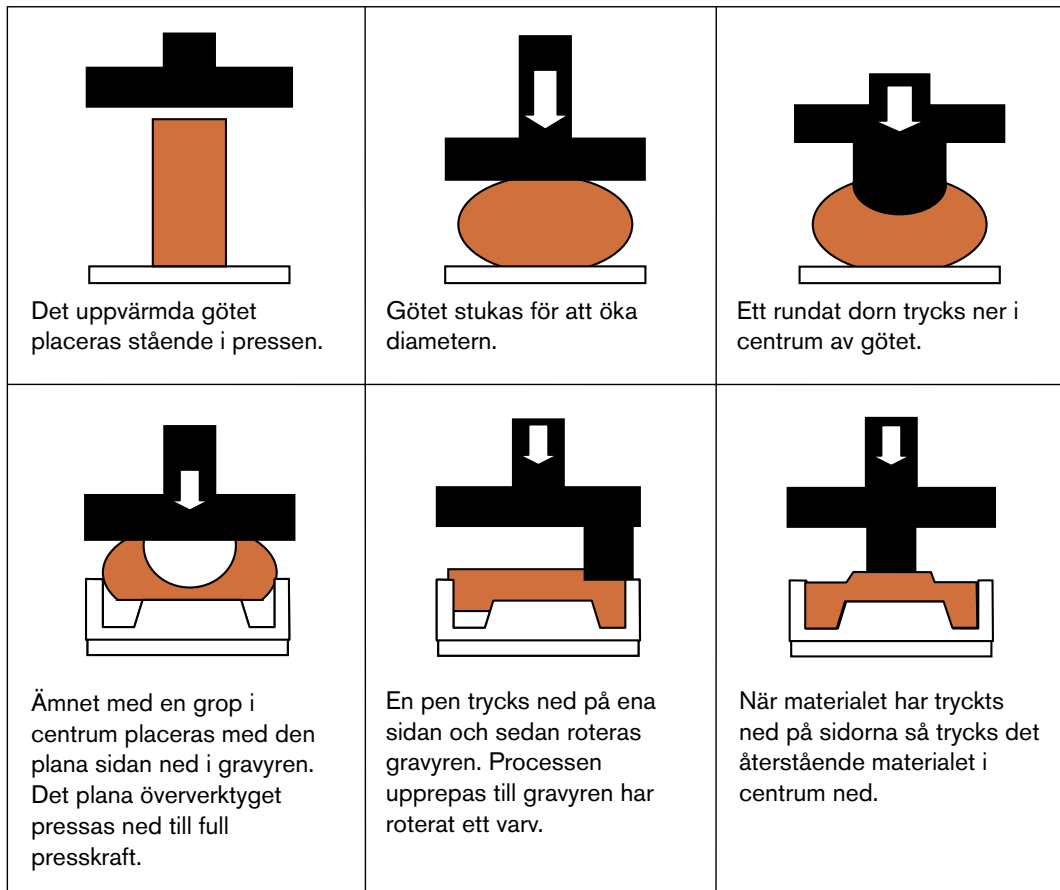
Röret hade en ovalitet i ena änden som medförde att innerdiametermättet för ett rör med vägg tjockleken 50 mm, vilket är 952 mm, inte kunde uppfyllas. Av det skälet bearbetades den invändiga diametern till 970 mm, vilket ger ett rör med vägg tjockleken 40 mm.

Försöken visar att smidning är en framkomlig väg för tillverkning av sömlösa kopparrör. Eftersom materialet fortfarande till viss del flyter i tvärriktningen istället för i längdriktningen så krävs vidare utveckling av verktyg och smidesteknik för att uppnå rätt dimensioner på röret.

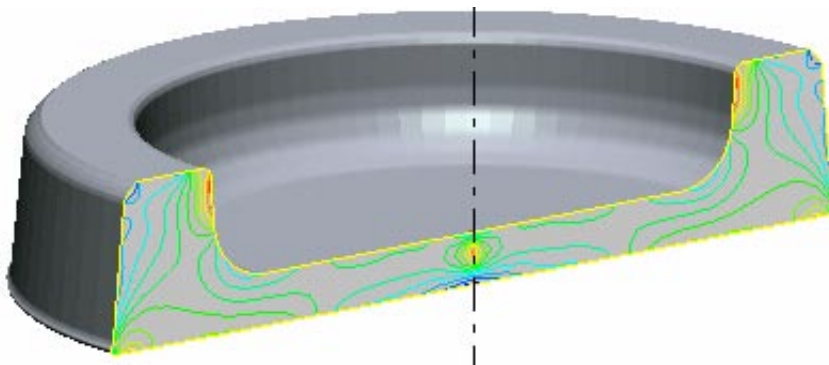
4.2 Tillverkning av lock och botten i koppar

Utgångsmaterialet som används vid smidning av lock och botten är ett cylindriskt göt med en diameter på 500 mm och en längd på 660 mm. Processen börjar med att göten värms till ca 675 °C och därefter stukas i pressen för att öka diametern. Nästa steg är att ett rundat dorn placeras i centrum av götet och trycks ned. Man har nu ett ämne som har en stor grop i mitten. Detta ämne värms i ugnen och placeras sedan med den plana sidan nedåt i en gravyr. Ämnet trycks ned i gravyren med ett plant öververktyg tills full presskraft uppnåtts. Sedan byts öververktyget ut mot en så kallad pen. Penen är ca 400 mm bred och 2 m lång och används för att få större kraft per ytenhet. I början smider man med penen i ena kanten av gravyren och sedan roteras gravyren. När man har gjort detta ett varv placerar man penen i centrum och roterar tills allt material har tryckts ned i gravyren.

Smidningsprocessen har simulerats med avseende på töjningar och materialflöden. Detta har gjorts på KTH, referens /14/. Eftersom töjningen på materialet har stor betydelse för kornstorleken så kan man dra en slutsats hur kornstorleksfördelningen ser ut genom att studera töjningen under smidesprocessen. Resultaten visar att töjningen är bra över så gott som hela locket och det tyder i sin tur på att kornstorlekskraven skulle uppfyllas i hela locket. Figur 4-12 visar en bild från resultatet av simuleringen. Resultatet av arbetet vid KTH har kunnat användas för optimering av smidesverktygen.



Figur 4-11. Schematisk bild av processen för locksmide.



Figur 4-12. Bild från simuleringen av locksmidesprocessen.

19 stycken lock avsedda för EBW och 20 stycken lock avsedda för FSW har tillverkats på Scana Steel Björneborg AB. För tillverkningen användes göt som levererats av Norddeutsche Affinerie AG. Göten är kontinuerligt gjutna och har en vikt på ca 1100 kg. Den kemiska sammansättningen på göten finns angiven i tabell 4-3.

Tabell 4-3. Kemisk analys av göt för kopparlock.

Element	Krav enligt KTS001 (ppm)	TX50–TX68 (ppm)	TX69–TX73 (ppm)	TX74–TX88 (ppm)
P	30–70	40–50	40–45	40–45
O	<5	3	1–3	2
S	<8	6–7	7	6–7
Ag	<25	12	12	12
As	<5	1	1	1
Fe	<10	2	2	2
Sb	<4	1–2	2	1–2
Te	<2	<1	<1	<1
Pb	<5	<1	<1	<1
Bi	<1	<1	<1	<1
Cd	<1	<1	<1	<1
Mn	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
Ni	<10	2	2	2
Sn	<2	<0,5	<0,5	<0,5
Zn	<1	<1	<1	<1

Skillnaden mellan FSW- och EBW-locken är att FSW har en högre fläns för att det ska finnas rum för att parkera hålet vid svetsningen. På grund av den högre flänsen så behövs det en djupare gravyr som i sin tur gör det svårare att få en bra formfyllnad. Vid smidningen av de första FSW locken så gick det inte att få ytan helt renbearbetad på grund av att formfyllnaden inte var tillräckligt bra i de övre hörnen. Tillverknings- metoden för lock har dock utvecklats och formfyllnaden är nu bra.

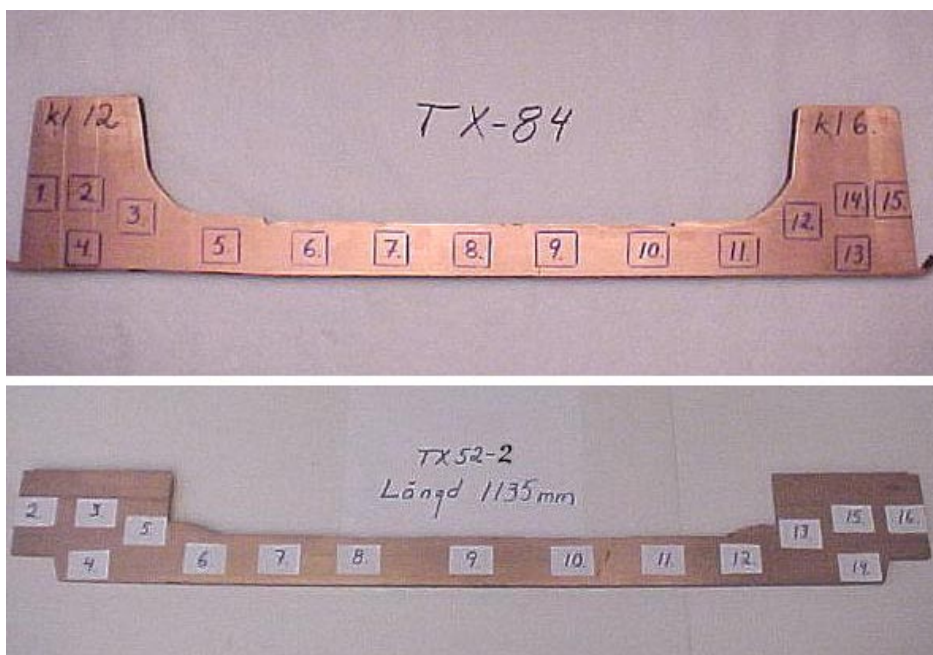


Figur 4-13 A och B. Foton av ett färdigsmitt lockämne (A), och ett lock nr TX 76, efter maskinbearbetning (B).

Ett EBW lock och ett FSW lock har sågats isär och kornstorleken har undersökts över tvärsnittet. Kornstorleksundersökningen gjordes av Bodycote CMK. Resultatet visar att kornstorlekskraven uppfylls med god marginal. I FSW locken varierar kornstorleken mellan 90 och 127 μm medan kornstorleken i EBW locken är något större, se tabell 4-4. Figur 4-14 visar lägen för de uttagna mikroproverna.

Tabell 4-4. Uppmätt kornstorlek i smidda lock.

Prov nr (För placering se figur 4-14)	Kornstorlek TX84		TX52	
	ASTM	μm	ASTM	μm
1	4	90		
2	4	90	3-4	127-90
3	4	90	5	64
4	4-5	90-64	1-2	254-180
5	5	64	3	127
6	4	90	3-4	127-90
7	4	90	4	90
8	4	90	4	90
9	4	90	4	90
10	4	90	3	127
11	3	127	3	127
12	3	127	3-4	127-90
13	4	90	3-4	127-90
14	4	90	4	90
15	3-4	127-90	3	127
16			1-2	254-180



Figur 4-14. Var kornstorleksproverna är tagna någonstans.

Även dragprov har gjorts på 3 stycken lock för att säkerställa att kraven på förlängningsvärdena som anges i KTS 002, bilaga 3, uppfylls. Dragproverna utfördes av Bodycote CMK. I tabell 4-5 visas förlängningsvärdena för de tre locken och dessa uppfyller kraven.

Tabell 4-5. Resultat av dragprovning av provstavar tillverkade ur smidda lock

Lockämne nr	R _{p0,2} MPa	R _m MPa	A ₅ % (krav >40 %)
TX79	81	214	50
TX82	96	216	54
TX88	89	217	56

Smidet av ämnen för lock och bottenar har utvecklats till en väl fungerande metod. I det fortsatta arbetet kommer tekniken för oförstörande provning att utvecklas, se kapitel 6.

5 Utveckling av FSW

Den föregående lägesrapporten, /3/ innehöll en relativt ingående redogörelse för utvecklingsprojektet Friction Stir Welding (FSW) av koppar i samarbete med TWI. Detta grundläggande projekt bedrevs mellan åren 1997 fram till och med 2002. En sammanfattande rapport över projektarbetet på TWI har sammanställts. /15/. Arbetet resulterade bl a i tre patent. /16–18/.

Den fortsatta utvecklingen efter detta bedrivs på SKB:s Kapsellaboratorium i Oskarshamn med den fullskalemaskin som installerats där.

6 Oförstörande provning

6.1 Översikt

Oförstörande provning (OFP) används ofta för att säkerställa att en komponent uppfyller vissa acceptanskrav speciellt då komponenten har en kritisk funktion. Oförstörande provning kan också användas för att kontrollera att en viss tillverkningsmetod fungerar som den ska. Då en detalj provas efter tillverkning kan detta ge en indikation på att något under tillverkningen har gått fel eller att vissa tillverkningsparametrar behöver ändras. Dessa är bara några av de tillämpningar som olika OFP-metoder kan användas till.

För SKB handlar användandet av olika OFP-metoder till stora delar om att verifiera att tillverkningsprocesser fungerar som de ska och att kapselns integritet säkras. Det som tidigare har studerats inom tillverkningstekniken och OFP har varit att se vilka möjligheter de olika tillverkarna har att utföra önskad provning. Därför har det fokuserats på att ta reda på de metoder som används samt utvärdera dessa. Till viss del har vissa försök utförts med metoder som är relativt nya och anpassade för de olika detaljerna. Det pågår också utveckling av olika metoder för att se om det finns möjlighet att modifiera och förändra dessa så att de är mer anpassade för kapseln.

För denna studie har några av kapselns detaljer fokuserats. Orsaken till detta har varit bland annat att detaljerna har ansetts mer eller mindre anpassade för SKBs ändamål. Detaljerna är specialtillverkade och kan inte härledas till någon form av seriemässig tillverkning hos tidigare serier från olika leverantörer.

De detaljer som har studerats utifrån ett oförstörande provningsperspektiv har varit:

- koppar cylindern,
- koppar locket/botten,
- insatsen.

Det finns relativt ringa OFP-erfarenhet av kopparprodukter med denna storlek. Även insatsen i segjärn innebär en komplexitet genom sin speciella konstruktion. En fortlöpande erfarenhetsuppbyggnad både beträffande tillverkningsparametrar och provningar som utförs är viktigt i det fortsatta arbetet. Tillverkningsprocesserna och oförstörande provningsmetoder skall utvecklas till en tillförlitlighet som skall säkerställa att tillräcklig säkerhet erhålls för slutförvaret.

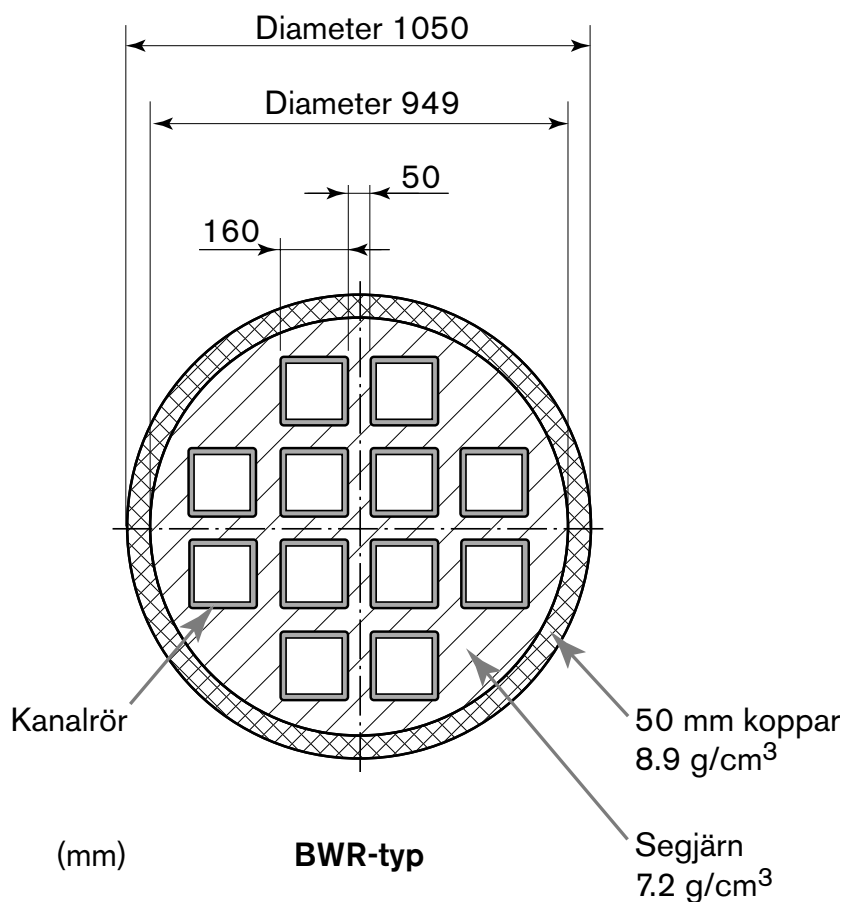
För vissa detaljer, t ex stållock och bultar, finns det möjlighet att inhandla dessa mot certifikat. Vidare är detta mer eller mindre standardprodukter och anses därför inte som så intressanta utifrån diskussionen ovan.

6.2 Oförstörande provning av gjutna insatser

6.2.1 Provningsförutsättningar, insatsen

Insatsen består av två olika delar: kanalrören och den gjutna delen. Detta inverkar en del på provningen samtidigt som geometrin försvårar en fullständig provning med endast en provningsmetodik. Områdena mellan kanalrören är besvärliga att prova med någon oförstörande provningsmetod.

För denna del av konstruktionen finns det flera begräsningar utifrån dess geometri. Provning av de yttre områdena kan utföras med t ex ultraljud. Dock kan inte samma metod användas för att prova områdena mellan kanalerna. Figuren nedan visar en skiss över ett tvärsnitt genom kapseln.



Figur 6-1. Skiss över ett tvärsnitt genom kapseln.

Noterbart utifrån skissen i figur 6-1 är ett antal svårigheter för olika OFP-metoder:

1. Möjligheten att erhålla en reflektion från någon bakomvarande (botteneko) gränssyta är begränsad eller obefintlig inom vissa positioner (ultraljud).
2. Det finns begränsad eller ingen bindning mellan kanalrör och segjärn, vilket inte möjliggör provning inifrån kanalrören (ultraljud).
3. Området mellan kanalerna är svårt att prova då det finns många begränsande hinder t ex kanalrör (ultraljud).
4. Godstjockleken gör att det blir svårt att penetrera med andra metoder (t ex röntgen).
5. Storleken på objektet kan innebära vissa problem (ca Ø900–1000 mm).
6. Gränssytorna mellan segjärn och plåt är inte perfekta utan relativt oregelbundna.

Beroende på hur vissa defekter är orienterade i segjärnet kan det vara svårt att detektera dem. I vissa fall har t ex stora porositeter sådan geometri att de reflekterar bort ultraljudet helt. Vid ett sådant fall blir det svårt eller omöjligt att detektera dessa om det inte finns ett botteneko att analysera. Vanligtvis kan en sådan defekt indikeras genom en botteneko-reduktion. I dessa fall bör andra metoder utvärderas (t ex Phased Array och TOFD) utifrån deras möjligheter att detektera dessa typer av fel.

Ett geometriskt förhållande som är relativt fördelaktigt är cylinderformen. Den formen innebär att det finns stora möjligheter att utnyttja rotationssymetrin vid ett eventuellt automatiserat provningsförfarande.

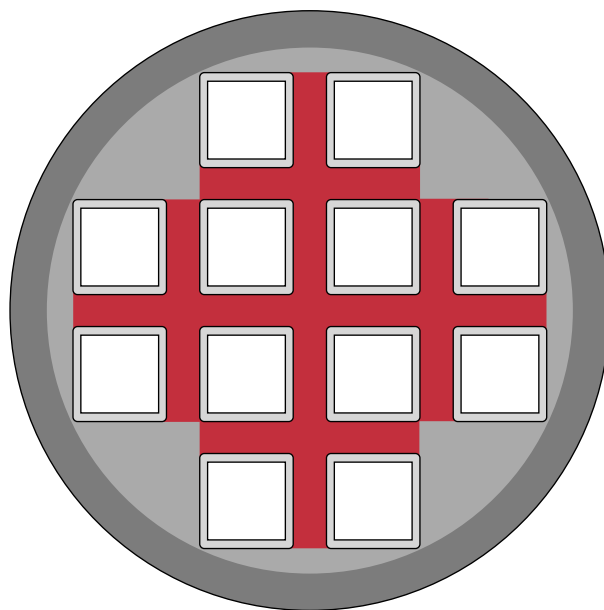
Ytterligare en sak som bör nämnas är att kanalrören svetsas samman vid tillverkningen med stagplåtar. Då bindningen mellan plåt och segjärn är begränsad kommer även detta innebära en begränsning av provbarheten.

En referens kropp för insatsen är inte framtagen. Denna kommer att anpassas efter de acceptanskriterier som blir aktuella samt även anpassad för respektive metod (transmission, puls-eko).

6.2.2 Utförd provning, insatsen

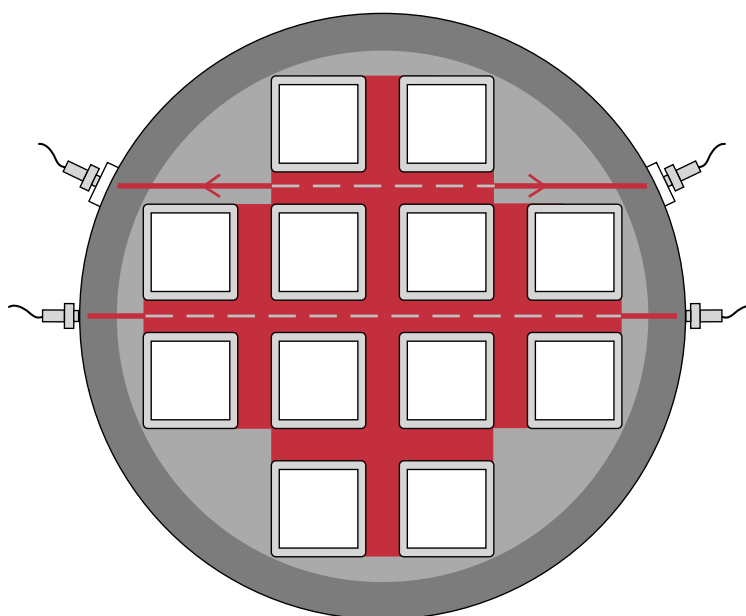
Ett antal insatser är provade, dock inte fullständigt. I detta fall har några olika metoder används för att prova olika delar av insatsen. Figur 6-2 nedan visar en möjlig uppdelning av provningen.

Ultraljudprovning har uteslutande använts. Utifrån bilden ovan kan noteras att ytområdena provades med dubbelkristallsökare (2 MHz) medan områden med tjockare gods provades med enkelkristallsökare (1 MHz). Områdena mellan kanalerna har provats med en försöksmetod där transmission av ultraljud används. Alltså kommer ultraljudet att transmittas mellan kanalen och registreras på motsatta sidan i de fall då det inte finns defekter. Nedan visas hur transmissionen utnyttjas (figur 6-3)



- Dubbelkristallsökare, Puls-Eko
- Enkelkristallsökare, Puls-Eko
- Enkelkristallsökare, Transmission

Figur 6-2. Provningsuppdelning av insatsen.



- Ljudväg
- Enkelkristallsökare, Transmission

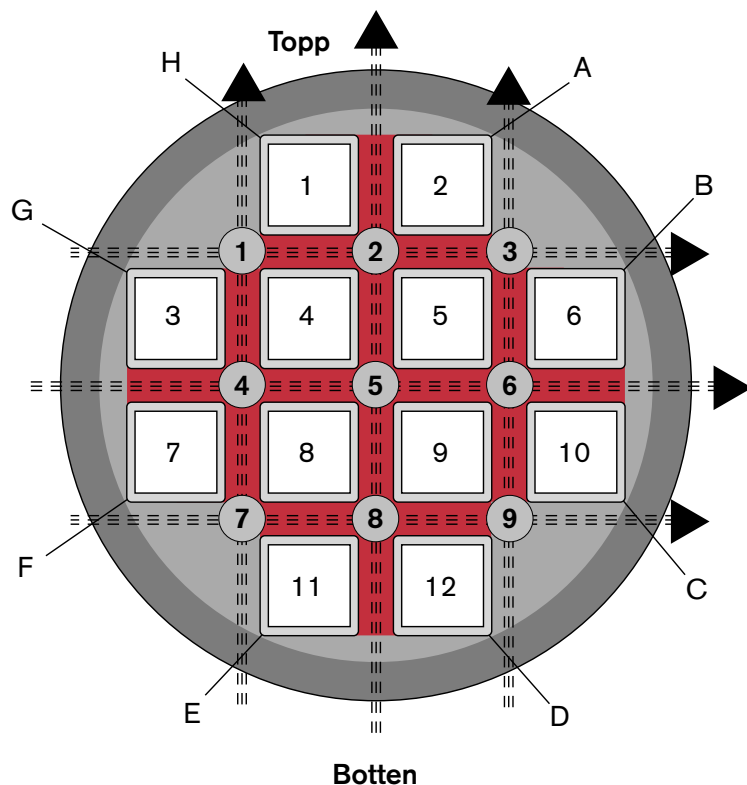
Figur 6-3. Transmissionsprovning av insatsen.

De preliminära resultaten har visat att denna metod har möjlighet att indikera relativt små defekter. Dock har inte detekterbarheten utprovats för att se hur väl metoden fungerar. Detta bör göras för de flesta av metoderna som nämnts i denna rapport.

För att prova området mellan de yttre kanalerna har kilar tillverkats för att se till att ultraljudet överförs till objektet samt i slutänden kan registreras av sökaren. Resultatet av dessa provningar visar på några olika saker:

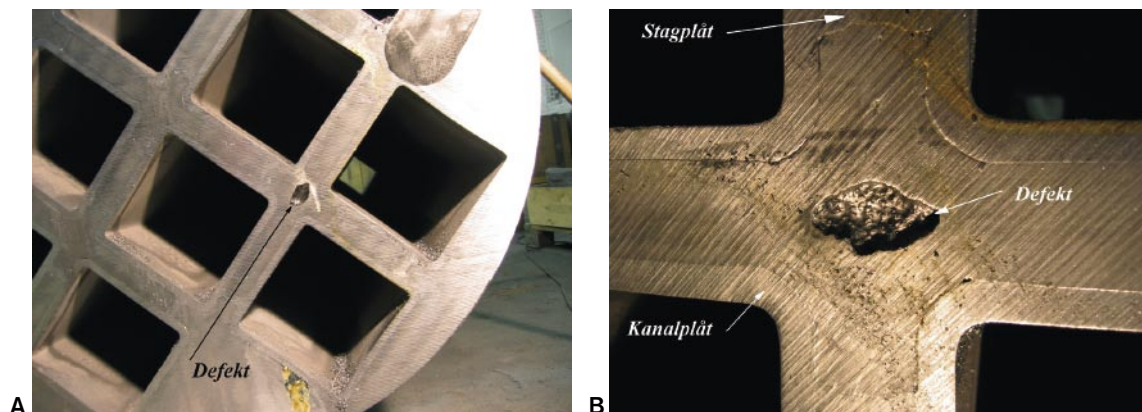
1. Metoden kan detektera mindre porsamlingar samt större defekter.
2. Metoden indikerar även de stagplåtar som används vid monteringen av kanlrören (kan till viss del ses som en preliminär och grov detekterbarhet på ca 60 mm).
3. Metoden kan kompletteras med puls-eko om en indikation behöver studeras ytterligare.
4. Metoden verkar också ha möjlighet att indikera större materialförändringar i insatsen.
5. Metoden bör ha relativt goda möjligheter att mekaniseras.

Om provning utförs genom alla kanallägen kan resultaten sammanställas och ge en bättre bild över var eventuella indikationer kan finnas i det aktuella snittet (se figur 6-4 nedan). Detta kan sedan utnyttjas i kombination med kompletterade provning med puls-eko. Från de olika individuella transmissionsprovningarna blir det möjligt att erhålla en bild över hela snitten genom den positionen på insatsen. Samtidigt finns möjligheten att relativt väl se en eventuell indikations utbredning.



Figur 6-4. Sammanlänkade provningar.

Ett exempel på en defekt som har varit möjlig att detektera med transmissionsmetoden visas i figuren nedan. Defektens utbredning är ungefär 50x30 mm.



Figur 6-5. Exempel på defekt som detekterats.

6.2.3 Möjligheter och begränsningar i nuvarande teknik, insatsen

Metoden att med ultraljud (puls-eko) prova de yttre områdena kan innebära vissa problem då det inte i alla positioner finns möjlighet att analysera förändringar i bottenkot. Därför bör fortsatta studier inriktas på att se vilka begränsningar det innebär samt vilka eventuella åtgärder som kan behöva utföras för att åtgärda detta.

Puls-eko har använts, med gott resultat, för att se kanalrörens position i insatsen efter gjutning. Vidare har det även varit möjligt att på ett grovt sätt uppskatta den bindning som förekommer mellan kanalrör samt segjärn.

Vid tillverkningen används distansplåtar mellan kanalrören för att förhindra rörelser av dessa vid gjutningen. Distansplåtarna ger upphov till gränsytor i insatsen som gör det svårt att prova de snitt där dessa finns. Positionen för plåtarna har visat sig relativt enkelt att ta fram vid provningen med både transmission och puls-eko.

Mekanisering- samt automatiseringsmöjligheterna för dessa metoder är stora då behovet i första hand endast handlar om olika riggningsystem. Vid de första studierna av detekteringsmöjligheter och utprovningarna har det visat sig att metoderna i detta stycket har goda möjligheter att användas. Viss reservation för provningen med puls-eko bör noteras enligt diskussionen ovan.

6.3 Oförstörande provning av kopparkomponenter

Två olika kopparkomponenter används till den tilltänkta kapselkonstruktionen: lock/botten och cylinder. För lock och botten har vissa inledande försök utförts dock ingen direkt standardiserad eller metodspecifik provning. Vissa försök har utförts med att mäta ljuddämpning i kopparen med hjälp av ultraljud. Försöken visade på att det finns möjligheter att med ultraljud bestämma materialparametrar.

För cylinderns del har det utförts mer provningar. Tillverkarna av cylindrar har själva utfört provningen och resultaten rapporterats in till SKB. Tekniken för att prova detaljen har varierat kraftigt hos de olika tillverkarna. Följande kapitel kommer att behandla förutsättningarna, utförd provning samt möjligheter och begränsningar med nuvarande tekniker.

6.3.1 Provningsförutsättningar, kopparkomponenter

Geometrierna för dessa komponenter kan inte sägas vara så begränsande eller hämmande för provning. Normalt sett brukar ultraljud användas för att detektera volymetriska defekter i liknande detaljer av stål. Någon annan provningsmetod kan kompletteras med om ytan anses speciellt viktig utifrån acceptanskriterierna. Utifrån de geometrier som är givna finns det goda möjligheter att med olika OFP-metoder säkerställa att vissa defekter är möjliga att detektera. För information om aktuella geometrier hänvisas till SKB:s ritningsunderlag.

Kopparkomponenter med aktuell väggtjocklek är relativt okänt från ett OFP-perspektiv och detta behöver undersökas och karaktäriseras. Vidare kommer de detekteringskrav som finns kräva att en viss karaktärisering av fel är möjlig. Karaktäriseringen av vissa typer av defekter kan kräva att utrustning mer eller mindre anpassas. I vissa fall kan det bli frågan om att modifiera utrustning så att de får nya funktioner.

Med tanke på det som sagts tidigare blir det intressant att erhålla information om vilka typer av defekter som kan tänkas uppkomma vid de olika tillverkningsmetoderna. Denna information, och de detekteringskrav som finns för att uppfylla framtida acceptanskriterier, kommer sedan att ge information om vilken typ av provning och omfattning av provning som är nödvändig. I dagsläget har de metoder som använts valts utifrån den kunskap som råder gällande andra detaljer från respektive tillverkare samt den nuvarande provningsverksamhet som finns.

Det tekniskt intressanta är karakteriseringen av eventuella defekter. Möjligheten att detektera defekter kräver i vissa fall inga större tekniska förändringar eller avancerade system. Dock kan det bli betydligt svårare om en defekt detekteras och måste karakteriseras och storleksutvärderas. Inga detekteringskrav eller acceptanskriterier är klara utan arbete på att ta fram dem pågår.

Olika typer av referensfel kommer att användas i de referensroppar som först blir aktuella:

1. Flatbottenhål, FBH.
2. Cylinderborrhål, CBH.
3. Spår.

Storleken på dessa fel kommer slutligen att bestämmas av acceptanskriterierna. Den referensropp som planeras att tillverkas för provning av kopparcylindern kommer att ha följande uppsättning av referensfel (i dagsläget):

1. FBH; \varnothing 2, \varnothing 4, \varnothing 8 och \varnothing 12 mm på olika djup i materialet.
2. CBH; \varnothing 4 och \varnothing 8 mm på olika djup i materialet.
3. Spår med djup av: 0.5, 1, 1.5 och 2.5 mm från både yttersida och insida.

Samma typ av fel blir aktuella för den referensropp som skall användas för provning av lock och botten. Dock blir inte spåren användbara för den preliminära provningsmetod som är tänkt att användas för dessa detaljer.

6.3.2 Utförd provning, kopparkomponenter

För lock och botten har ingen provningsmetodik använts. Den provning som har utförts har varit begränsad och inriktad mot speciella fall. Mätningar av ljuddämpning och jämförelse av resultatet mot kornstorlek har utförts. Dessa mätningar gjordes på lock och har visat att ljuddämpningen kan ge en tillfredsställande representation av kornstorleken.

Kopparcylindrarna har provats hos respektive tillverkare. I dagsläget är det dessa tillverkare som har någon form av mekaniserad/automatiserad provningsmetodik:

1. Wyman Gordon Ltd (W-G)
2. Vallourec & Mannesmann Tubes (V&M)

Metoden som används vid dessa tillverkare liknar varandra. Ultraljud används som metod och provning sker i olika riktningar (radiellt och axiellt). Då inte W-G har någon möjlighet att bearbeta de extruderade cylindrarna resulterar detta i att det inte finns någon möjlighet att prova i axiell led. Alltså är de extruderade cylindrarna från W-G endast provade i cylinderns radiella led. Vidare bör nämnas att provningen utförs med en gap-metod, där en vattenspalt används som kopplingsmedie mellan ultraljudsökare och provobjekt. Detta gäller för provningen hos W-G och hos V&M. Resultatet av provningarna påvisar inga indikationer.

Provningen som har utförts vid V&M är mer utförlig. I detta fall sker provning på en bearbetad yta. Det finns då möjlighet att med olika riktningar på ultraljudet prova cylindern. Fördelen med att prova i olika riktningar blir att fler typer av defekter är möjliga att indikera. För utförligare information om befintlig provningsverksamhet hänvisas till /19/.

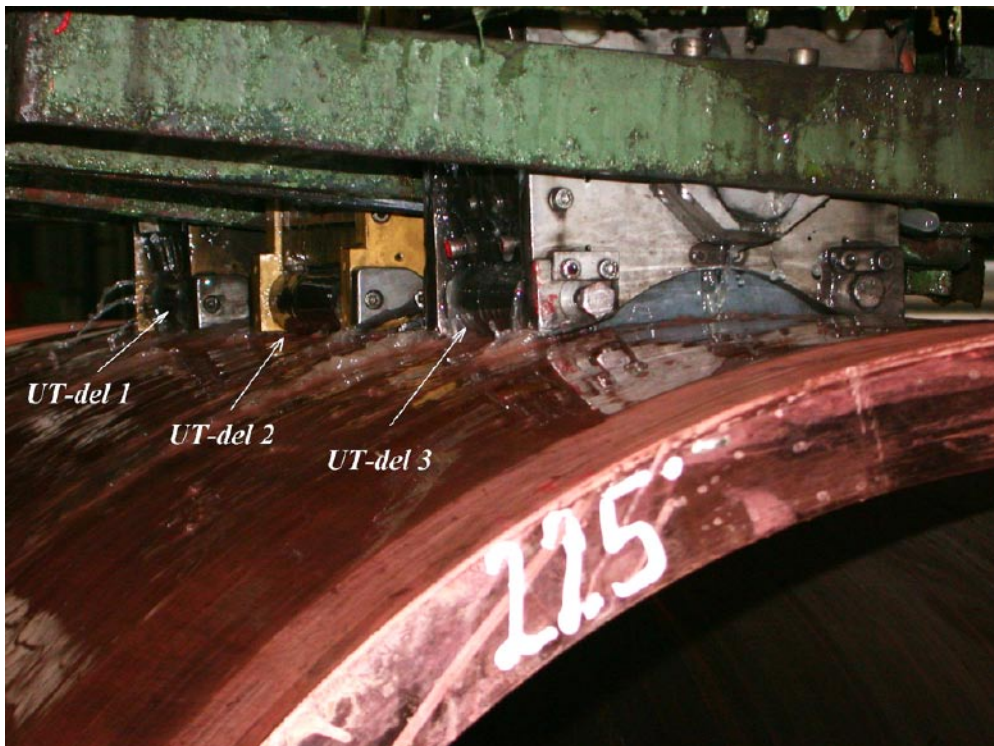
6.3.3 Möjligheter och begränsningar i nuvarande teknik, kopparkomponenter

Enbart provning i radiell led innebär att ett flertal defekttyper inte blir möjliga att detektera. Därför kan klart sägas att en provning i endast en led inte är tillräcklig. Provningen hos W-G kan därför ses som otillräcklig om den inte kompletteras. Hos V&M utförs provning i olika riktningar. Detta innebär att det finns möjlighet att detektera fler möjliga defekter. Vidare så används en referens kropp hos V&M. De referensfel (\varnothing 4 mm FBH och spår 0,6–1,2 mm djupa) som finns i den är möjliga att indikera med befintlig teknik. Denna inställning gjordes dock i ett statiskt tillstånd och inte när referensringen roterade.

Figuren nedan visar på den uppställning som användes vid provning hos V&M.



Figur 6-6. Provningsuppställning vid Vallourec & Mannesmann Tubes.



Figur 6-7. Ultraljud i olika riktningar.

I figuren ovan visas de olika ultraljud delar som användes. Dessa delar använde olika riktningar på ultraljudet. Del 1 scannade med ultraljudet i radiell led (normalt mot ytan) och med 5 MHz som sökarfrekvens. Del 1 och 2 scannade axiellt (45° i stål) i olika riktningar med en sökarfrekvens på 1 MHz. Den axiella (transversellt och longitudinellt) avsökningen skedde i 4 olika riktningar.

Provningsmetoden som användes hos V&M innebär att de flesta utbredningsriktningar på defekter är möjliga att detektera. Referensringen visar också på ett grovt sätt metodens detekterbarhet (0,6 mm djupa spår och Ø4 mm FBH).

Begränsningarna med denna metod är dock att det endast är möjligt att detektera defekter. Det finns inga möjligheter att storleksutvärdera och karakterisera eventuella indikationer. Diskussioner har också förts med V&M om möjligheten att implementera en Time Of Flight Diffraction (TOFD) metod. Dock skulle detta innebära stora investeringar för tillverkaren.

För att ha möjlighet att detektera fel i olika riktningar och samtidigt ha möjligheten att storleksutvärdera och karakterisera dem krävs viss metodutveckling. Phased Array och TOFD är exempel på metoder som har möjlighet till detta. Med tanke på att Phased Array används på Kapsellabbet har vissa studier inletts för att se om denna metod har framtidsmöjligheter även för kopparcylindern.

I dagsläget finns det igen metod som är automatiserad och som provar eventuella integrerade bottenar. Denna provning utförs manuellt med normalsökare. Erfarenheter från den provning som har utförts är att defekter mestadels upptäckts i bottendelen. Samma referens kropp användes vid den manuella provningen samt den automatiserade och detta visar på att det finns indikationer överstigande Ø4 mm FBH. Det bör också påpekas att en manuell provning med normalsökare innebär begränsningar i detekterbarhet.

6.4 Framtida handlingslinjer

Erfarenhetsuppbyggnad och successiv metodutveckling planeras att ske under 2004–2005. I detta arbete ingår att utföra provning på flera objekt samt att göra planerade detekteringsprov på de olika detaljerna.

Preliminära OFP-procedurer planeras att fastläggas under 2005. Som ett led i detta arbete kommer lämpliga referens kroppar att tas fram.

Fortsatt erfarenhetsuppbyggnad och utvärdering av tillförlitlighet kommer att ske under 2006–2007. Arbetet kommer att ske i nära samarbete med Kapsellaboratoriet.

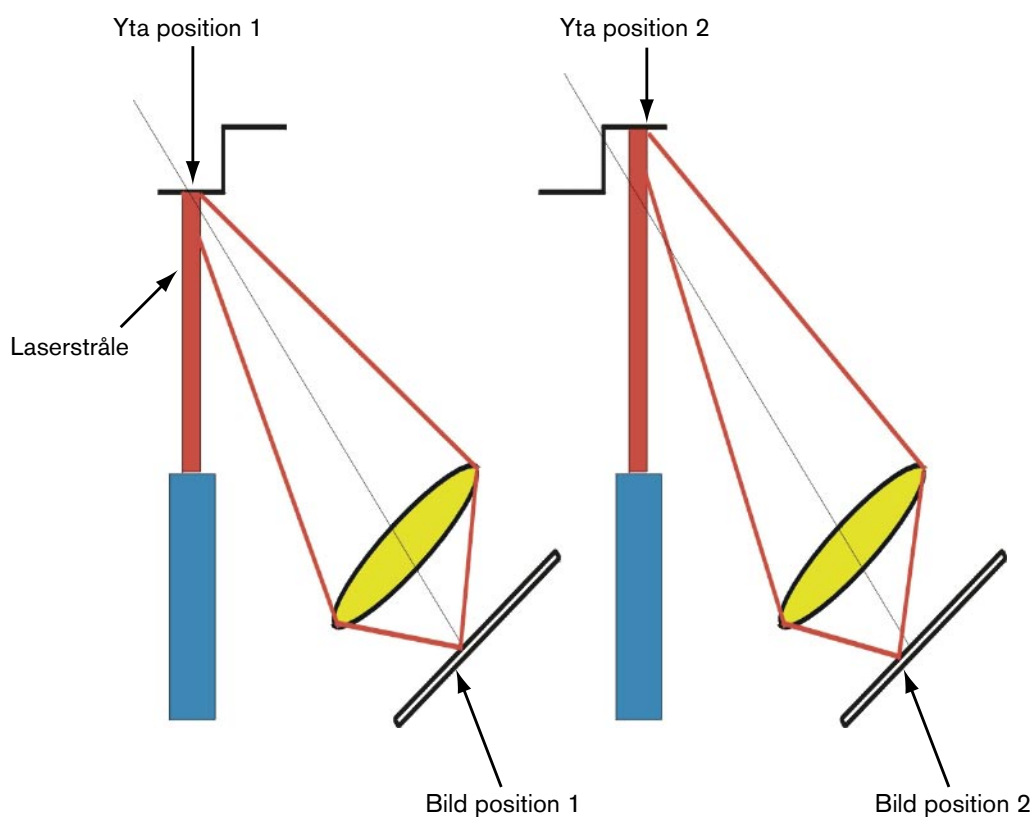
Fortsatta undersökningar av möjligheterna att med ultraljud bestämma materialparametrar både hos koppar och segjärn. I koppar är kornstorleken av intresse och i segjärn nodulariteten hos grafiten.

Inom projektet probabilistisk analys av kapselhållfasthet framkommer flera olika defekttyper. Dessa kommer att studeras närmare med OFP samt att de kommer att katalogiseras. Vidare studier av möjliga defekttyper planeras samt fortsatt informationsutbyte med kapsellaboratoriet.

6.5 Laserutrustning för dimensionsmätning av kopparrör

För att förbättra tillverkningen av kopparrör och bättre kunna styra processen har en mätutrustning tagits fram i samarbete med KTH. Utrustningen bygger på laserteknik och kan mäta rundhet, raket och innerdiameter på rören.

Principen bakom mätutrustningen kallas populärt för Lasertriangulering. Den bygger på att en laserstråle lyser upp en punkt på ytan som skall mätas. Denna punkt sprider ljuset på grund av ytans ojämnheter. Med ett "kmerasystem," som sitter på ett väldefinierat avstånd vid sidan av ljuskällan, registreras positionen av den lysande punkten. Inom kamerans skärpedjupsområde kan man få en god avbildning, där varje läge i kamerans bildplan motsvarar ett givet avstånd mellan laserljuskällan och ytan som skall mätas. Förenklat kan man därför säga att avståndet till ytan översätts till en sidoförflyttning i bildplanet (se figuren nedan).



Figur 6-8. Principen för uppmätning av ett kopparrör med laser.

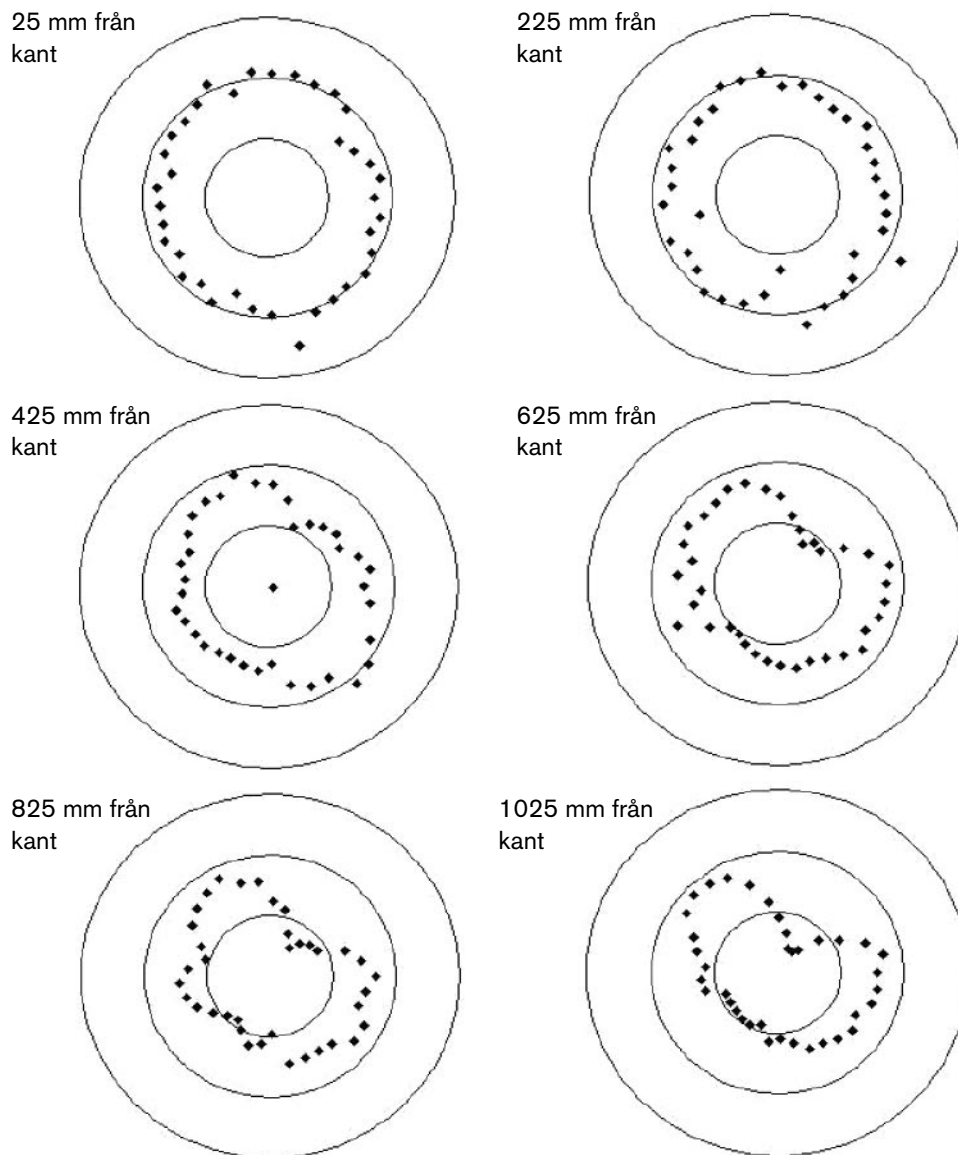
Genom att förflytta lasermät huvudet (innehållande laser och ”kamera”) i sidled kan man registrera höjdförändringar i ytan. I vårt fall roteras lasermät huvudet runt en centrumaxel i den cylindriska kopparkapsel som skall mätas, och man får en radiemätning som funktion av vridningsvinkel som resultat.

Mätutrustningen är uppbyggd av en rundstång som fixeras i centrum av röret med ett stöd på varje sida, se figur 6-9.

Laserhuvudet får sedan löpa på rundstången och registrera radiemått på olika längder och vid olika vinklar. Mätresultaten bearbetas sedan med hjälp av en programvara och rundhets och rakhetsavvikelser kan åskådliggöras. Av mätningar som är gjorda framgår att mätmetoden fungerar utomordentligt bra och repeterbarheten är ungefär $\pm 0,4$ mm. Figur 6-10 visar exempel på mätvärden gjorda på ett kopparrör.



Figur 6-9. Invändig uppmätning av radien i ett kopparrör.



Figur 6-10. Exempel på mätvärden vid kontroll av ett kopparrör. Figurerna visar avvikelser från nominell radie (mellancirkeln). Avståndet mellan cirklarna motsvarar 0,75 mm, de motsvarar ritningstoleransen 1,5 mm på radien.

7 Kvalitetsstyrning

Arbetet med utveckling av kvalitetssystemet för kapseltillverkning som beskrevs i referens /3/ har fortsatt. Detta är en del av SKB:s övergripande kvalitetssystem och är certifierat enligt ISO 9001 och ISO 14001. De styrande dokumenten för kapseltillverkning är sammanställda i Handbok – Kapseltillverkning samt i en separat pärm: ”Ritningar, specifikationer och rutiner.” Förutom en översikt över aktuella tillverkningsritningar innehåller denna pärm tekniska specifikationer, rutinbeskrivningar och blanketter för olika ändamål. Det aktuella innehållet i Handbok – Kapseltillverkning framgår av bilaga 8. I bilaga 9 finns en förteckning över aktuella rutiner. Rutiner och tekniska specifikationer är skrivna på engelska för att kunna användas av utländska leverantörer.

Ett antal tekniska specifikationer har hänvisats till tidigare i denna rapport. De tekniska specifikationerna innehåller bl a materialkrav samt krav på provning, eventuell maskinbearbetning, dokumentation samt vissa leveransbestämmelser. En förteckning över samtliga tekniska specifikationer finns som bilaga 1. I bilaga 2–7 har följande tekniska specifikationer medtagits i denna rapport:

Bilaga nr	Teknisk specifikation	Titel
2	KTS 001	Copper Ingots and Billets for Canister Components
3	KTS 002	Copper Components for Canisters
4	KTS 011	Nodular Cast Iron EN 1563 Insert
5	KTS 012	Steel Lid for Canister Inserts
6	KTS 021	Steel Section Cassette
7	KTS 022	Profiles for Steel Section Cassette

Kvalitetssystemet för kapseltillverkning utvecklas kontinuerligt. Erfarenheterna från provtillverkning, kvalitetsrevisioner hos leverantörer och resultat från utvecklingsprojekt vid institut och högskolor tas tillvara och nödvändiga ändringar införs i nya utgåvor av de styrande dokumenten.

Ett viktigt pågående arbete är att fastställa acceptanskriterier för kapselns alla delar inklusive förekommande svetsar. Dessa kriterier skall specificeras för såväl ytliga defekter som diskontinuiteter inuti materialet. Fastlagda acceptanskriterier måste kunna verifieras med oförstörande provning. Det pågående arbetet avseende lämplig utrustning och metodik har redovisats separat i kapitel 6 i denna rapport.

Aktuella tillverkningsprocesser samt kontroll- och provningsförfaranden ska kvalificeras. Detta arbete har påbörjats och kommer att bedrivas under de närmaste åren.

8 Framtida serieproduktion. Kapselabrik

Den framtida serietillverkningen av kapslar för inkapslingsanläggningen kommer enligt SKB:s planer att ske i en speciell kapselabrik byggd och utrustad för detta ändamål. Både i referens /2/ och /3/ refererades till preliminära analyser av en sådan anläggning. Ingen ytterligare utredning har gjorts efter referens /3/. Fabriken planeras för maskinell färdigbearbetning av samtliga kapselkomponenter, eventuell svetsning av bottenar på kopparrören, oförstörande provning och sammansättning till kompletta tomma kapslar för leverans till inkapslingsanläggningen. Ämnen till alla komponenter kommer att levereras till fabriken från olika underleverantörer.

I en kommande förnyad utredning kommer erfarenheter från provtillverkningen av alla kapseldelar att tas tillvara. Arbetet med att utreda och fastlägga acceptanskriterier och provningsmetoder kommer att innebära att anpassad utrustning för oförstörande provning och övrig kvalitetskontroll kan specificeras mera exakt. En fördjupad utredning av lämplig maskinell utrustning och provningsutrustning kommer att göras i samarbete med potentiella leverantörer. Detta kommer att ge möjlighet till en mer exakt analys av fabriken layout och investeringskostnader.

Om utvecklingen av FSW visar att tekniken skall användas vid kapseltillverkning kommer konsekvenserna av detta att utredas och vägas in i fabrikslayout och investeringskostnader. För att få en fullständig bild av potentiella osäkerheter kommer en riskanalys av verksamheten i den planerade kapselabriken att genomföras.

Ett led i det pågående arbetet med utveckling av kvalitetssystemet för kapseltillverkning är att finna det nödvändiga nätverket av lämpliga underleverantörer och att skapa en långsiktig och affärsmässig relation med dessa. I samband med pågående provtillverkning kommer en kontinuerlig bedömning av aktuella leverantörer att fortsätta genom regelbundna kvalitetsrevisioner samt analys av prissättning, leveranssäkerhet och sannolik framtida utveckling. Detta arbete är viktigt för att säkerställa leveranser av ämnesmaterial och tjänster till den framtida kapselabriken.

En utredning med avseende på miljöpåverkan vid kapseltillverkning har påbörjats.

9 Fortsatt arbete

Arbetet med utveckling av tillverkningsteknik och kvalitetssäkring kommer att fortsätta de närmaste åren. SKI har framfört att SKB innan tidpunkten för tillståndsansökan måste ha visat att metoder för tillverkning och kontroll verkligen finns tillgängliga och är lämpliga för serietillverkning. Detta innebär att ett tillräckligt stort antal kapslar ska ha tillverkats och kontrollerats och kunnat visas uppfylla ställda krav.

Redovisningen av utfört arbete i denna rapport visar att det finns tillgängliga tillverkningsmetoder för alla kapseldelar. Resultaten hittills visar även att dessa metoder med hög grad av sannolikhet kan utvecklas och få acceptans för användning i en serieproduktion. I rapporten har, i de flesta avsnitt, konkreta frågeställningar redovisats inom olika områden, där ytterligare utvecklingsarbete krävs både i form av utredningar och praktiska prov. Vidare nämns i rapporten ett antal pågående forsknings- och utvecklingsprojekt vid institut och högskolor. För att ge en överskådlig sammanställning av viktigt fortsatt arbete under de närmaste åren har nedanstående punktlista sammanställts.

Gjutna insatser med stållock

- Utvecklingsprojektet med probabilistisk analys kommer att slutföras under 2004. Resultaten kommer att ligga till grund för fastställande av acceptanskriterier och med preciserade materialkrav som säkerställer att insatserna uppfyller konstruktionskraven.
- Ytterligare insatser för BWR-element kommer att gjutas och utvärderas mot ställda krav. Vissa insatser kommer att styckas för speciellt grundliga materialundersökningar. I samband med fortsatt provtillverkning kommer tekniska specifikationer och tillverkningsritningar för profilrör och för den svetsade kassetten att utvecklas vidare.
- Endast en insats för PWR-element har hittills tillverkats. Några insatser för PWR-element kommer att tillverkas och utvärderas på motsvarande sätt som insatser i BWR-utförande.
- SKB kommer att stödja och delta i ett doktorandarbete med titeln "Förbättrad grafitstruktur i tjockväggigt segjärns gjutgods", vid Ingenjörshögskolan i Jönköping och Svenska Gjuteriföreningen.
- Tekniken och rutinerna för gjutning, grovbearbetning, kontroll och leverans av insatser kommer att vidareutvecklas i samarbete med gjuteriföretagen.
- Metodik och utrustning för oförstörande provning med ultraljud som kontrollmetod kommer att utvecklas. Förutom detektering av diskontinuiteter i godset som porositeter och slag, kommer möjligheterna att med ultraljud kontrollera nodulariteten hos grafiten i segjärnet att studeras.
- Stållock till insatser kommer att tillverkas för att täcka behovet vid tillverkning av kompletta kapslar. Målsättningen med det fortsatta arbetet är att vidareutveckla konstruktionen med tillhörande materialspecifikation och kriterier för kvalitetssäkring

Kopparrör med lock och botten

- Fortsatt tillverkning av sömlösa kopparrör och ämnen för lock och botten kommer att ske för att verifiera och ytterligare optimera verktyg, processparametrar, kontrollmetoder och tekniska specifikationer.
- Sömlösa kopparrör kommer att tillverkas med de tre metoderna extrudering, dornpressning och smide.
- Utvecklingsarbetet med tillverkning av kopparrör med integrerad botten genom dornpressning kommer att fortsätta.
- Tillverkning kommer att utföras för i första hand 50 mm vägg tjocklek men även i begränsad omfattning för 40 mm i syfte att vinna erfarenhet och få underlag för ett eventuellt senare beslut om en ändring.
- I det fortsatta arbetet med rörtillverkning kommer successivt för- och nackdelar med de olika metoderna att jämföras. Sannolikt kommer fler än en av dessa metoder att kunna användas för kommande serietillverkning.
- Utvecklingen av lasertechnik för dimensionsmätning av kopparrör kommer att fortsätta.
- Metodik och utrustning för oförstörande provning med ultraljud som kontrollmetod kommer att utvecklas. Förutom detektering av diskontinuiteter i godset, kommer möjligheterna att med ultraljud kontrollera kornstorleken i de tillverkade kopparkomponenterna att provas.

Oförstörande provning

- Erfarenhetsuppbyggnad och successiv metodutveckling planeras att ske under 2004–2005.
- Preliminära OFP-rutiner kommer enligt planerna att fastläggas under 2005. Som ett led i detta arbete kommer lämpliga referensproppar att tas fram.
- Parallellt med metodutvecklingen kommer även möjligheterna att automatisera provningen att studeras. Detaljernas storlek gör att en automatiserad provning är att föredra. Även metodernas detekteringsmöjligheter bör studeras i ett automatiserat fall. Vidare bör även mycket data över provningarna insamlas för att ge möjlighet till statistiska beräkningar.
- Fortsatt erfarenhetsuppbyggnad och utvärdering av tillförlitlighet planeras under perioden 2006–2007. Arbetet kommer att ske i nära samarbete med Kapsellaboratoriet.
- Inom en del av projektet kommer försök att med oförstörande provningsmetoder karakterisera olika materialparametrar. Detta syftar till att i första hand göra det möjligt att bestämma nodulariteten hos segjärnet och kornstorleken hos kopparen.
- Inom projektet avseende probabilistisk analys av insatsens hållfasthet undersöks förekomsten av olika defekttyper i segjärn. Dessa kommer att katalogiseras utifrån ett OFP-perspektiv.
- Vidare studier av möjliga defekttyper som kan uppstå vid de olika tillverkningsprocesserna i såväl koppar som segjärn planeras.

Kvalitetssäkring

- Arbetet med kapseltillverkning bedrivs enligt kraven i ISO 9001 och 14001. Verksamheten beskrivs detaljerat i den befintliga handboken för kapseltillverkning med tillhörande tillverkningsritningar, tekniska specifikationer och rutinbeskrivningar. Kvalitetssystemet utvecklas kontinuerligt och tillhörande handlingar revideras vid behov.
- Ett viktigt område är att fastställa acceptanskriterier för kapselns alla delar inklusive förekommande svetsar. Sådana kriterier är materialkrav och acceptansgränser för såväl ytliga defekter som defekter inuti materialet. En konsekvensanalys ska genomföras som visar vad som händer om det finns fler eller större defekter än vad acceptanskriterierna anger.
- Aktuella tillverkningsprocesser samt kontroll- och provningsförfaranden ska kvalificeras. Detta arbete kommer att systematiseras och bedrivs under de närmaste åren.

Kapselabrik

- Erfarenheter från provtillverkningen av alla kapseldelar kommer att tas tillvara och påverka den fortsatta utvecklingen av fabriken. Arbetet med att utreda och fastlägga acceptanskriterier och provningsmetoder kommer att innebära att anpassad utrustning för oförstörande provning och övrig kvalitetskontroll kan specificeras mera exakt. En fördjupad utredning av anpassad maskinell utrustning och provningsutrustning i samarbete med potentiella leverantörer kommer att göras. Detta kommer att ge möjlighet till en mer exakt analys av fabriken layout och investeringskostnader.
- Om utvecklingen av FSW visar att tekniken kan bli aktuell för kapseltillverkning kommer konsekvenserna av detta att utredas och vägas in i fabrikslayout och investeringskostnader.
- Den pågående utredningen med avseende på miljöpåverkan vid kapseltillverkning kommer att slutföras.
- Ett led i det pågående arbetet med utveckling av kvalitetssystemet för kapseltillverkning är att finna det nödvändiga nätverket av lämpliga underleverantörer och att skapa en långsiktig och affärsmässig relation med dessa. I samband med pågående provtillverkning kommer en kontinuerlig bedömning av aktuella leverantörer att fortsätta genom regelbundna kvalitetsrevisioner samt analys av prissättning, leveranssäkerhet och sannolik framtida utveckling.
- För att få en fullständig bild av potentiella osäkerheter kommer en riskanalys av verksamheten i den planerade kapselabriken att genomföras.

10 Referenser

1. **SKB FUD-program, 2001.** Program för forskning, utveckling och demonstration av metoder för hantering och slutförvaring av kärnavfall. Svensk Kärnbränslehantering AB.
2. **Andersson C-G, 1998.** Provtillverkning av kopparkapslar med gjutna insatser. Lägesrapport augusti 1998. SKB R-98-09. Svensk Kärnbränslehantering AB.
3. **Andersson C-G, 2001.** Utveckling av tillverkningsteknik för kopparkapslar med gjutna insatser. Lägesrapport i augusti 2001. SKB R-01-39. Svensk Kärnbränslehantering AB.
4. **Andersson C-G, Werme L.** Fabrication and testing of copper canisters for long term isolation of spent nuclear fuel, recent developments. Föredrag vid "Copper 2003", 30 November – 3 December 2003, Santiago, Chile.
5. **Werme L.** Konstruktionsförutsättningar för kapsel för använt kärnbränsle. SKB R-98-08. Svensk Kärnbränslehantering AB.
6. **SKB.** Övergripande konstruktionsförutsättningar för djupförvaret i KBS-3-systemet. SKB R-02-44. Svensk Kärnbränslehantering AB.
7. **SKB, 1999.** Djupförvar för använt kärnbränsle. SR-97 – Säkerheten efter förslutning. Huvudrapport Sammanfattning. Svensk Kärnbränslehantering AB.
8. **King F et al.** Copper corrosion under expected conditions in a deep geologic repository. SKB TR-01-23. Svensk Kärnbränslehantering AB.
9. **Andersson H et al.** Influence of phosphorous and sulphur as well as grain size on creep in pure copper. SKB TR-99-39. Svensk Kärnbränslehantering AB.
10. **Yao X, Sandström R.** Study of creep behaviour in P-doped copper with slow strain rate tensile tests. SKB TR-00-09. Svensk Kärnbränslehantering AB.
11. **Andersson H, Seitisleam F.** Creep testing of thick-wall copper electron beam welds and friction stir welds To be published at MRS Conference, San Fransisco.
12. **Hamberg K, Björkegren L-E, Sun Z X.** Chunkygrafit i segjärn – En litteraturgenomgång. Rapport nr 030930. Svenska Gjuteriföreningen.
13. **Koivula J, Pihlainen H, 2003.** Further Development of the structure and Fabrication of the Final Disposal Canister. Test Fabrication of a Seamless Overpack with an Integrated Bottom by Pierce and Draw Process. Posiva Working Report 2003-49, October 2003
14. **Ssemakula H, 2004.** Manufacturing of heavy rings and large copper canisters by plastic deformation. Doctoral Thesis, KTH Stockholm, January 2004.
15. **Andrews R A.** Friction Stir Welding – An Alternative Method for Sealing Nuclear Waste Storage Canisters. SKB Technical Report TR-04-16. Svensk Kärnbränslehantering AB.
16. **Europapatent nr 1073538, 1999.** Corrosion Resistant Enclosure and Methods for its Manufacture.
17. **Svenskt patent nr 520928, 2003.** Verktyg för friktionsomrörningssvetsning.

18. **Svenskt patent nr 522075, 2004.** Förfarande för friktionsomrörningssvetsning.
19. **Moberg B, Ronneteg U, 2002.** Inkapslingsteknik. Lägesrapport 2002 Oförstörande provning. SKB R-03-31. Svensk Kärnbränslehantering AB.

Förteckning över SKB:s Tekniska specifikationer


**Inkapslingsteknik –
Kapseltillverkning**

Sida nr 1 (1)

Förteckning över SKB Tekniska specifikationer

Rev nr 4
 Giltig från 2003-03-13
 Granskad av *Jens Weine*
 Godkänd av *Class-Gunn Anderson*

Docqa reg.nr 3425-2572

Förteckning över SKB Tekniska specifikationer

Nummer	Rubrik	Rev
KTS001	Copper Ingots and Billets for Canister Components	4
KTS002	Copper Components for Canisters	1
KTS003	Welding Procedure Specification for Copper Base	0
KTS011	Nodular Cast Iron EN 1563 Insert	3
KTS012	Steel Lid for Canister	1
KTS021	Steel Section Cassette	3
KTS022	Profiles for Steel Section Cassette	1
KTS031	Assembly of Canister in the Trial Stage of Manufacture	0

Teknisk specifikation KTS 001 ”Copper Ingots and billets for Canister Components”



Docqa reg. nr 3425-2572

Technical Specification No KTS001

Copper Ingots and Billets for Canister Components

Table of Contents

1	Purpose
2	Technical requirements
3	Inspection and testing
4	Supplier's documentation
5	Retention of test samples
6	Document control



Technical Specification No KTS001

Revision No 4
Valid from 13 Mar 2003
Prepared by *Marika Westman*
Reviewed by *Jens Wenn*
Approved by *Class-Gunn Anderson*

**Copper Ingots and Billets
for Canister Components**

Docqa reg. nr 3425-2572

KTS001 Copper Ingots and Billets for Canister Components

1 Purpose

Copper ingots and billets are used for production of copper components to canisters¹. This technical specification, KTS001, defines technical requirements and documentation procedures for copper ingots, including continuously cast billets, for this purpose.

2 Technical requirements

2.1 Material specification

The material for copper canisters shall fulfil the specification in EN 1976:1988² for the grades Cu-OFE (Table 2) or Cu-OF1 (Table 3) with the following additional requirements: O < 5 ppm, P 30–70 ppm, H < 0,6 ppm, S < 8 ppm.

2.2 Chemical composition

Table 1. Requirements and comments concerning various properties

Property	Specification	Comments
Weldability	O < 5 ppm	Higher levels give a reduced weldability.
Ductility	H < 0,6 ppm	Higher levels give reduced mechanical properties. (Hydrogen embrittlement).
Tensile strength, ductility	S < 8 ppm	Higher levels give reduced mechanical properties caused by non-dissolved sulphur which will be concentrated to grain boundaries.
Creep ductility	P 30–70 ppm	A phosphorus content of this order reduces the influence of sulphur impurities, increases creep ductility, increases recrystallisation temperature and has a minor influence on the weldability.

Note: The P content in Table 1 is required for the canister application. It is substantially higher than in the standard referred to in Table 2 on the next page.

1 SKB Technical Specification KTS002, Copper components for canisters
2 EN 1976:1988, Copper and copper alloys – Cast unwrought copper products

Technical Specification No KTS001

Revision No 4
Valid from 13 Mar 2003
Prepared by M Westman
Reviewed by L Werme
Approved by C-G Andersson

**Copper Ingots and Billets
for Canister Components**

Docqa reg. nr 3425-2572

Table 2. EN 1976 Cu-OFE composition (UNS C10100³)

Element	Cu %	Ag ppm ^{b)}	As →	Fe	S	Sb	Se	Te	Pb
	99,99 ^{a)}	25	5	10	15	4	3	2	5
	P	Bi	Cd	Mn	Hg	Ni	O	Sn	Zn
	ppm ^{b)} →								
	3	1	1	0,5	1	10	5	2	1

Table 3. EN 1976 Cu-OF1 composition

Element	Cu (rem.)	Ag ppm	As →	Fe	S	Sb	Se	Te	Pb
		25 ^{b)}	5 ^{c)}	10 ^{d)}	15 ^{b)}	4 ^{b)}	2 ^{e)}	2 ^{f)}	5 ^{b)}

- a) Including Ag
- b) Maximum content
- c) $\Sigma \text{As} + \text{Cd} + \text{Cr} + \text{Mn} + \text{Sb} \leq 15 \text{ ppm}$
- d) $\Sigma \text{Co} + \text{Fe} + \text{Ni} + \text{Si} + \text{Sn} + \text{Zn} \leq 20 \text{ ppm}$
- e) $\Sigma \text{Bi} + \text{Se} + \text{Te} \leq 3 \text{ ppm}$
- f) $\Sigma \text{Se} + \text{Te} \leq 3,0 \text{ ppm}$

2.3 Size and tolerances

Delivery weight, size and surface condition of ingots and continuously cast billets shall be as stated in the SKB order.

2.4 Macroscopic discontinuities

Experience is being collected to determine permissible types and extent of discontinuities.

2.5 Identification marking

Each copper ingot or continuously cast billet shall be marked with the producer's cast number and any additional requirements in the SKB order. The top end of each ingot intended for tubes shall be marked TOP. No marking is needed on the bottom end.

3 UNS C10100 according to Application Datasheet, Standard Designation for Wrought Alloys, www.copper.org



Technical Specification No KTS001

Revision No 4
Valid from 13 Mar 2003
Prepared by M Westman
Reviewed by L Werme
Approved by C-G Andersson

**Copper Ingots and Billets
for Canister Components**

Docqa reg. nr 3425-2572

2.6 Sampling

Sampling for chemical analysis and any other testing shall be described in a sketch.

Ingots

Samples shall be taken from representative material of cut-off ends.

Continuously cast billets

The manufacturer's normal sampling method shall be applied. Additional samples for P test shall be taken at least from the start and final ends of a casting intended for forged blanks, unless other sampling is agreed with SKB.

3 Inspection and testing

3.1 Chemical analysis

The analysis shall be performed in accordance with industry practice by an accredited laboratory or by a laboratory meeting at least ISO 9002:1994⁴ requirements.

Laboratory reference material shall be traceable to accredited sources and its identity and use for the analysis shall be recorded.

3.2 Visual inspection

The manufacturer shall inspect the ingots and billets visually for surface defects, for example cracks or flaws, particularly at the centre of the ingot end surfaces. The result shall be recorded. Further inspection as specified in the SKB order.

4 Supplier's documentation

4.1 Certification of copper ingots and cast billets

The copper ingot/billet manufacturer shall issue a certificate according to EN 10204 3.1.B⁵ or declaration of conformity according to EN 1655 Type C or Type D⁶, stating as a minimum:

- the manufacturer's name and address,
- date of issue,
- SKB order and specification numbers,

4 ISO 9002:1994, Quality systems – Model for quality assurance in production, installation and servicing
5 EN 10204:1995, Metallic products – Types of inspection documents
6 EN 1655:1997, Copper and copper alloys – Declaration of conformity



Technical Specification No KTS001

Revision No 4
Valid from 13 Mar 2003
Prepared by M Westman
Reviewed by L Werme
Approved by C-G Andersson

**Copper Ingots and Billets
for Canister Components**

Docqa reg. nr 3425-2572

- heat or cast number,
- copper ingot or billet dimensions and weight,
- applicable standard,
- chemical composition,
- result of visual inspection,
- illustrated description or sketch of sampling of solid material,
- a declaration that the material has been produced in accordance with the manufacturer's own current quality system, accepted by SKB,
- any other requirement specified in the SKB order.

4.2 Submission of documents and information

The certificate according to 4.1 and request for delivery permit⁷ shall be sent to SKB by mail or telefax for authorization prior to dispatching the copper ingot or billet for hot working.

The manufacturer shall, without delay, give complete information to SKB on all observations and other circumstances in connection with the production, which may influence the design and properties of the copper canister. SKB shall have the right to use this information without any restriction.

4.3 Retention of documentation

QA Co-ordinator Canister Manufacturing Technique, QASK, is responsible for the retention of documentation according to sections 2, 3 and 4, described in a separate procedure⁸.

The manufacturer shall retain the documentation according to sections 2.6 and 3.1 for (presently) at least 10 years under suitable security. If any records are stored on electronic/magnetic media the readability shall be ensured for this time period.

5 Retention of test samples

The manufacturer shall retain samples for determination of the chemical composition for (presently) minimum 10 years under suitable conditions. The identification of samples shall be maintained. SKB shall be contacted prior to subsequent discarding of any test samples.

6 Document control

QASK is responsible for document control, including distribution, of this technical specification⁹.

7 SKB Form KTF07-07 or KFT07-08 or similar

8 SKB Procedure KT1002, Retention of quality documents and records

9 SKB Procedure KT1001, Establishing and control of SKB procedures and technical specifications

Teknisk specifikation KTS 002 ”Copper Components for Canisters”



**Encapsulation Technology –
Canister Manufacturing Technique**

Page 1 (7)
Rev No 1

Docqa reg. No 3425-2572

Technical Specification No KTS002 Copper Components for Canisters

Table of Contents

- 1 Purpose**
- 2 Technical requirements**
- 3 Hot forming process**
- 4 Machining**
- 5 Inspection and testing**
- 6 Manufacturer’s documentation**
- 7 Retention of test samples**
- 8 Document control**



Technical Specification No KTS002

Revision No 1
Valid from 13 Mar 2003
Prepared by *Marika Westman*
Reviewed by *Jens Weine*
Approved by *Ulla-Göran Andersson*

Copper Components for Canisters

Docqa reg. No 3425-2572

KTS002 Copper Components for Canisters

1 Purpose

Copper blanks for lids or bases are manufactured by forging, and seamless copper tubes are produced by the pierce and draw process, extrusion or forging. This technical specification, KTS002, defines technical requirements and documentation routines for those components.

Note: An alternative tube manufacturing process includes roll forming and longitudinal welding of copper plate. When applicable, details of the process will be specified separately.

2 Technical requirements

2.1 Material specification

The starting copper billet and ingot material for hot working to components for canisters shall fulfil requirements in a separate specification ¹.

2.2 Grain size and mechanical properties

Forged copper blanks and seamless copper tubes shall have a grain size less than the limit specified in Table 1, see next page. The grain size is to be determined according to EN ISO 2624 ², using the comparison, intercept or planimetric procedure.

Note: The standard grain size chart for the comparison method showing the structure for 0,120 mm (120 µm) average grain diameter at 75x magnification can be used for 360 µm grain size at 25x magnification.

Note: The grain size specified in Table 1 generally refers to the maximum average grain size as determined according to EN ISO 2624. However, in some instances the structure of hot worked copper will comprise relatively few large grains in a matrix of fine grains. In such cases the maximum size refers to individual grains as seen in a prepared sample surface. Experience is being collected to determine acceptance limits regarding this type of structure.

2.3 Macroscopic discontinuities

Experience is being collected to determine acceptance criteria for internal and surface defects of copper blanks and tubes. See also 5.1.

1 SKB Technical Specification KTS001, Copper ingots and billets for canister components
2 EN ISO 2624:1995, Copper and copper alloys – Estimation of average grain size

Technical Specification No KTS002

Revision No 1
Valid from 13 Mar 2003
Prepared by M Westman
Reviewed by L Werme
Approved by C-G Andersson

Copper Components for Canisters

Docqa reg. No 3425-2572

Table 1. Requirements and comments concerning grain size and mechanical properties in hot formed material.

Property	Specification	Comments
Microstructure in forged copper blanks	Grain size < 360 μm	This grain size gives a resolution at ultrasonic testing comparable to X-ray testing of 50 mm thick copper.
Microstructure in seamless copper tubes	Grain size < 360 μm	Same comment as above.
Ductility	Elongation > 40% RT–100°C	The canister will be deformed 4% in final repository.
Creep ductility	Elongation at creep-rupture > 10% RT–100°C	Same comment as above.

2.4 Size and tolerances

Forged copper blank for base or lid

Nominal weight, size, shape and surface condition according to the SKB order and applicable drawing.

Seamless copper tube

Length, diameter, wall thickness, surface condition and tolerances according to the SKB order and applicable drawing.

2.5 Identification marking

Each forged copper blank or copper tube shall be marked in accordance with requirements in the SKB order and applicable procedure³.

3 Hot forming process

The hot forming process shall be performed in such a manner that the specified properties of the delivered product are met. The process shall be controlled and documented by the manufacturer of copper blanks or tubes to the extent necessary for ensuring reproducibility. It shall be ensured that appropriate, identified tools or equipment are selected and used. This shall be suitably documented.

3 SKB Procedure KT0705, Identification of canister components and assembled canisters



Technical Specification No KTS002

Revision No 1
Valid from 13 Mar 2003
Prepared by M Westman
Reviewed by L Werme
Approved by C-G Andersson

Copper Components for Canisters

Docqa reg. No 3425-2572

Note: If an accepted ingot shows minor line cracks, pores or other inhomogeneities in one end surface, that end shall be the base end when upset forging and piercing is applied.

4 Machining

4.1 Copper lid

Machining of each blank for copper lids shall be performed in accordance with applicable SKB drawings, normally in two steps, pre-machining to a rough shape and final machining to the end shape.

4.2 Copper base

Machining of each blank for copper bases shall be performed in accordance with applicable SKB drawings normally in two steps, pre-machining to a rough shape and machining to the shape necessary for welding.

Final machining shall be carried out after welding of the base to the copper tube in accordance with applicable SKB drawings.

4.3 Copper tube

Machining of all surfaces of each copper tube shall be performed after hot forming to size and shape as stated in applicable SKB drawings. When welding of base to the tube is applied (such as for extruded or forged tube), the final machining of the top end shall be performed after the base-to-tube welding, since the tube length may be affected by the welding.

5 Inspection and testing

5.1 Visual inspection and non-destructive testing

The copper blank or tube shall be inspected visually and by 100% non-destructive testing. Experience is being collected to determine methods to be applied, sizes and shapes of reference defects, which will be stated in separate procedures. Result of the examination shall be recorded.

Qualification of NDT including methods, procedures and personnel for this purpose is described in a separate procedure⁴.

4 SKB Procedure KT0605, Qualification process for NDT of canister components



Technical Specification No KTS002

Revision No 1
Valid from 13 Mar 2003
Prepared by M Westman
Reviewed by L Werme
Approved by C-G Andersson

Copper Components for Canisters

Docqa reg. No 3425-2572

5.2 Sampling for determination of mechanical properties and structure

All sampling is to be described in the quality plan in agreement with SKB⁵.

5.3 Mechanical properties

Test pieces for tensile testing (Rp 0,2; Rm; A 50 mm) preferably according to EN 1563:1997⁶, shall be taken from tubes and from blanks for lids and bases as specified by SKB.

Tensile testing shall be performed in accordance with EN 10002-1⁷ by an accredited laboratory or by a laboratory meeting at least ISO 9002:1994⁸ requirements. Test records shall be retained.

5.4 Structure

Specimens for grain size/structure inspection shall be taken from each blank for lid or base and tube. The structure shall be documented by photos at approximately 25x magnification.

Blank for lid or base

Grain size/structure shall be determined close to the surface or rim and also, when specified in the SKB order, in the centre of the material. The centre part refers to the surface of the blank centre.

Tube

Grain size/structure shall be determined at both tube ends close to the envelope surface and also in the centre of the material, unless otherwise specified in the SKB order.

Experience is being collected regarding the possibility to determine the copper grain size from ultrasonic parameters.

5.5 Photographic documentation

The production sequence shall be photographically documented when required by SKB. The extent is to be agreed with SKB from case to case.

5 Requirements on sampling, including sample positions, may be added in a later revision of this document.
6 EN 1563:1997, Founding – Spheroidal graphite cast iron
7 EN 10002-1:2001 – Metallic materials – Tensile testing
8 ISO 9002:1994, Quality systems – Model for quality assurance in production, installation and servicing



Technical Specification No KTS002

Revision No 1
Valid from 13 Mar 2003
Prepared by M Westman
Reviewed by L Werme
Approved by C-G Andersson

Copper Components for Canisters

Docqa reg. No 3425-2572

6 Manufacturer's documentation

6.1 Material certificate

The copper blank or copper tube manufacturer shall issue a certificate according to EN 10204 3.1.B⁹, or declaration of conformity according to EN 1655 Type C or D¹⁰, stating or including as a minimum:

- the manufacturer's name and address,
- date of issue,
- SKB order number,
- applicable SKB drawing and specification numbers, including revisions,
- original heat or cast number,
- lot number and/or number of the blank or tube,
- dimensions of the blank or tube,
- results of non-destructive testing,
- results of tensile testing when applicable, and determination of grain size and structure,
- illustrated description of sampling⁵,
- a declaration that the component has been produced in accordance with the company's own current quality system,
- any other requirement specified in the SKB order.

6.2 Submission of documents and information

The certification according to 6.1 and request for delivery permit¹¹ shall be sent to SKB for authorization prior to delivery of the blank or tube.

The supplier shall, without delay, give complete information to SKB on all observations and other circumstances in connection with the production, which may influence the design and properties of the components and/or the copper canister. SKB shall have the right to use this information without any restriction.

6.3 Retention of documentation

QASK is responsible for the retention of documentation according to sections 5 and 6, described in a separate procedure¹².

The manufacturer shall retain the documentation according to sections 5 and 6 for (presently) at least 10 years under suitable security. If any records are stored on electronic/magnetic media the readability shall be ensured for this time period.

9 EN 10204:1995, Metallic products – Types of inspection documents
10 EN 1655:1997, Copper and copper alloys – Declaration of conformity
11 SKB Form KTF07-07 or KTF07-08 or similar
12 SKB Procedure KT1002, Retention of quality documents and records



Technical Specification No KTS002

Revision No 1
Valid from 13 Mar 2003
Prepared by M Westman
Reviewed by L Werme
Approved by C-G Andersson

Copper Components for Canisters

Docqa reg. No 3425-2572

7 Retention of test samples

The manufacturer shall retain samples for determination of microstructure and, when applicable, tensile properties for (presently) minimum 10 years under suitable conditions. The identification of samples shall be maintained. SKB shall be contacted prior to subsequent discarding of any test samples.

8 Document control

QA Co-ordinator Canister Manufacturing Technique is responsible for document control, including distribution, of this technical specification¹³.

13 SKB Procedure KT1001, Establishing and control of SKB procedures and technical specifications

Teknisk specifikation KTS 011 ”Nodular Cast Iron EN 1563 Insert”



Docqa reg. nr 3425-2572

Technical Specification No KTS011

Nodular Cast Iron EN 1563 Insert

Table of Contents

1	Purpose
2	Technical requirements
3	Steel section cassette
4	Casting
5	Machining and weld repair
6	Inspection and testing
7	Final machining
8	Transport and storage protection
9	Manufacturer’s documentation
10	Retention of test samples
11	Document control



Technical Specification No KTS011

Revision No 3

Valid from 13 Mar 2003

Prepared by *Marika Westman*

Reviewed by *Jens Weene*

Approved by *Clas-Göran Andersson*

Nodular Cast Iron EN 1563 Insert

Docqa reg. nr 3425-2572

KTS011 Nodular Cast Iron EN 1563 Insert

1 Purpose

Cast iron inserts are essential canisters components. This technical specification, KTS011, defines the technical requirements and documentation for nodular cast iron inserts.

2 Technical requirements

2.1 Material specification

The material for nodular cast iron inserts shall fulfil the requirements in EN 1563¹ grade EN-GJS-400-15U (Number EN-JS1072, SS 07 17-00) regarding mechanical properties. The specified mechanical properties for dimension $60 < t \leq 200$ mm (R_m min 370 N/mm², $R_{p0.2}$ min 240 N/mm², A min 11%) shall apply for specimens from any position of the casting.

The chemical composition given as information in SS 14 07 17² may be adjusted, if necessary. Experience is being collected to determine if any change of the specification is required.

2.2 Microstructure

At all positions of the casting, the microstructure shall correspond, to a minimum of 80%, to forms V and VI in EN ISO 945³. The nodule count shall be minimum 100 nodules/mm² determined at 100x magnification.

The microstructure shall nowhere be as illustrated by forms I – III.

2.3 Macroscopic discontinuities

Experience is being collected to determine permissible types and extent of discontinuities such as non-metallic and other types of inclusions, cold flows, gas porosities, shrinkage cavities and shrinkage cracks.

2.4 Size and shape

Size and shape of inserts shall be as stated in drawings according to applicable SKB order. See 6.3 for corresponding inspection requirements.

1 EN 1563:1997, Founding – Spheroidal graphite cast iron

2 SS 14 07 17:1981, Segjärn – SS-gjutjärn 0717 (Spheroidal graphite iron)

3 EN ISO 945:1994, Cast iron – Designation of microstructure



Technical Specification No KTS011

Revision No 3
Valid from 13 Mar 2003
Prepared by M Westman
Reviewed by L Werme
Approved by C-G Andersson

Nodular Cast Iron EN 1563 Insert

Docqa reg. nr 3425-2572

2.5 Identification marking

Each cast insert shall be marked in accordance with requirements in the SKB order and applicable procedure⁴. This identification shall be maintained throughout the manufacture, including the machining stages.

3 Steel section cassette⁵

The cassette hollow sections shall be shot blasted inside and outside to remove oxide and shall be stored under dry conditions to prevent rusting. The shot blasting shall be done as closely in time as possible prior to casting. The steel section cassette shall be filled with a suitable filler to prevent distortion during casting.

4 Casting

The casting process shall be controlled to ensure an acceptable structure. This shall include recording of melting parameters such as tapping temperature, temperature for Mg addition and inoculation, time elapsed between Mg addition and pouring, pouring temperature and time. This shall be described in an internal work instruction, available at the melt shop.

Samples for chemical analysis shall be taken after Mg treatment in accordance with normal practice.

5 Machining and weld repair

5.1 Cutting of ends and test disk

Cutting of insert ends, including any test disk, shall be performed by suitable means, e.g. bandsaw cutting. It is recognised that cooling liquids have to be used, efforts shall be taken, however, to minimise exposure of insert surfaces, in particular the top end of cassette sections to water or any other liquid.

5.2 Rough machining and cleaning from filler medium, e.g. sand

Cleaning the channel surfaces from remainder of the filler medium, e.g. sintered sand particles can be performed by adding tumbling media in the channels during the rough turning operation. Afterwards the channels shall be properly cleaned from dust etc.

Rough machining of the insert circumference and the recess for steel lid shall be done without any cooling liquid.

4 SKB Procedure KT0705, Identification of canister components and assembled canisters
5 SKB Technical Specification KTS021, Steel section cassette



Technical Specification No KTS011

Revision No 3
Valid from 13 Mar 2003
Prepared by M Westman
Reviewed by L Werme
Approved by C-G Andersson

Nodular Cast Iron EN 1563 Insert

Docqa reg. nr 3425-2572

5.3 Weld repair

Weld repair of defects on the insert circumference is currently permissible but is expected to lead to the following restrictions for an individual insert:

- any defect area maximum xx cm²
- total defect area maximum xx dm²
- any defect depth maximum xx mm
- welding filler metal = xx

(xx = data to be developed)

Any repair welding larger than xx cm² is to be recorded indicating size and also length and circumferential position from a reference mark.

A Welding Procedure Specification shall be developed and applied for repair welding.

Until sufficient experience of weld repairs have been accumulated the manufacturer shall request concession from SKB prior to performing any repair⁶.

6 Inspection and testing

6.1 Chemical analysis

The analysis shall be performed in accordance with industry practice by an accredited laboratory or by a laboratory meeting at least ISO 9002⁸ requirements. Laboratory reference material shall be traceable to accredited sources and its identity and use for the analysis shall be recorded.

6.2 Tensile testing and microstructure evaluation

Sampling

Test pieces for tensile and hardness testing and for microstructure examination shall be taken as specified in the SKB order. A sketch of the actual sample size and position(s) shall be provided.

Tensile testing

Tensile testing shall be performed in accordance with EN 10002-1⁷ by an accredited laboratory or by a laboratory meeting at least ISO 9002⁸ requirements. Test records shall be retained. Requirements for mechanical properties shall be as specified in 2.1.

6 SKB Procedure KT1102, Request for concession
7 EN 10002-1:2001, Metallic materials – Tensile testing
8 ISO 9002:1994, Quality systems – Model for quality assurance in production, installation and servicing



Technical Specification No KTS011

Revision No 3
Valid from 13 Mar 2003
Prepared by M Westman
Reviewed by L Werme
Approved by C-G Andersson

Nodular Cast Iron EN 1563 Insert

Docqa reg. nr 3425-2572

Hardness testing

Hardness testing – HB according to EN ISO 6506-1⁹, preferably using 10 mm ball – shall be performed on the test pieces from cast-on samples and the result shall be recorded.

Microstructure

Microstructure evaluation shall also be performed on the test pieces from cast-on samples. The structure shall be documented in micrographs at 100x magnification.

6.3 Size and shape inspection

The casting shall be measured to check its conformity with the specified size.

For BWR fuel canister inserts with cassettes made from square sections (VKR) 180 x 180 x 10 mm (outer size x thickness) the straightness of the channels shall be sufficient to permit a 152 x 152 mm square profile test-gauge in accordance with applicable SKB drawing to freely move down the entire channel.

In case the 152 x 152 mm test-gauge does not pass down the entire channel

- 1) the distance that the test-gauge can be freely moved down is to be measured for various diminishing sizes from 152 x 152 mm,
- 2) to verify the largest size that will pass the entire channel.

The result shall be documented on a separate form¹⁰.

For PWR fuel canister inserts with cassettes sections 250 x 250 x 10 mm the corresponding test-gauge size is 224 x 224 mm. Corresponding testing and recording shall be performed.

Maximum permissible excentricity of the machined insert is to be determined later on. The excentricity will be defined as the distance between centre of the cassette and the centre of the casting at the same height, measured as well at the bottom end as at the top end of the insert. The methods of measurement and the results are to be recorded.

9 EN ISO 6506-1:1999, Metallic materials – Brinell hardness test – Part 1: Test method
10 SKB Forms KTS001F-1, KTS001F-2, KTS001F-3 or similar



Technical Specification No KTS011

Revision No 3
Valid from 13 Mar 2003
Prepared by M Westman
Reviewed by L Werme
Approved by C-G Andersson

Nodular Cast Iron EN 1563 Insert

Docqa reg. nr 3425-2572

6.4 Non-destructive testing

The casting shall be 100% tested from the outside with regard to inner discontinuities such as non-metallic inclusions and other inhomogeneities. Experience is being collected to determine suitable NDT method as well as size and shape of reference defect and acceptance criteria, which will be stated in a separate procedure or in the SKB order. Qualification of NDT including methods, procedures and personnel for this purpose is described in a separate procedure¹¹.

The structure is to be checked using measurement of ultrasonic damping and speed of sound to collect experience of the possibility to determine the homogeneity.

7 Final machining

Final machining shall be done in accordance with applicable SKB drawing. The machining shall be done in the dry condition, i.e. without any cooling liquid.

8 Transport and storage protection

To prevent exposure to snow, water, dust, dirt etc. during any outdoor transport and storage the insert and in particular the channel ends shall be suitably protected, e.g. by plastic cover. However, rust preventive liquids are not permitted. Long range transports shall be performed on covered trucks, lorries, railway trucks etc. See also a separate procedure¹².

9 Manufacturer's documentation

9.1 Photographic documentation

The production sequence shall be photographically documented when required by SKB. The extent is to be agreed with SKB from case to case.

9.2 Certification

A certificate according to EN 10204 3.1.B¹³ shall be issued by the manufacturer stating as a minimum:

- the manufacturer's name and address,
- SKB order number,
- SKB drawing number,
- insert number,

11 SKB Procedure KT0605, Qualification process for NDT of canister components

12 SKB Procedure KT0702, Handling, storage, packing and transport of canister components and assembled canisters

13 EN 10204:1995, Metallic products – Types of inspection documents



Technical Specification No KTS011

Revision No 3
Valid from 13 Mar 2003
Prepared by M Westman
Reviewed by L Werme
Approved by C-G Andersson

Nodular Cast Iron EN 1563 Insert

Docqa reg. nr 3425-2572

- casting date,
- cast or heat number,
- chemical composition,
- results of tensile testing, hardness testing and micro structure evaluation,
- result of size and shape inspection,
- result of non-destructive testing,
- a declaration that the material has been produced in accordance with the company's own current quality system, accepted by SKB.

9.3 Submission of documents and information

The documentation according to 5.3, 6 and 9.2 and request for delivery permit¹⁴ shall be sent to SKB for authorisation prior to delivery.

The supplier shall, without delay, give complete information to SKB on all observations and other circumstances in connection with the production which may influence the design and properties of the insert. SKB shall have the right to use this information without any restriction.

9.4 Retention of documentation

QA Co-ordinator Canister Manufacturing Technique, QASK, is responsible for the retention of documentation according to sections 5, 6 and 9 described in a separate procedure¹⁵.

The manufacturer shall retain the documentation according to sections 4, 5, 6 and 9 for (at present) at least 10 years under suitable security. If any records are stored on electronic/magnetic media the readability shall be ensured for this time period.

10 Retention of test samples

The casting producer shall retain samples for determination of chemical composition, microstructure and tensile properties for (at present) minimum 10 years under suitable conditions. The identification of samples shall be maintained. SKB shall be contacted prior to subsequent discarding of any test samples.

11 Document control

QASK is responsible for document control, including distribution, of this technical specification¹⁶.

14 SKB Form KTF07-07 or KTF07-08 or similar

15 SKB Procedure KT1002, Retention of quality documents and records

16 SKB Procedure KT1001, Establishing and control of SKB procedures and technical specifications

Teknisk specifikation KTS 012 ”Steel Lid for Canister Inserts”



Docqa reg. nr 3425-2572

Technical Specification No KTS012

Steel Lid for Canister

Table of Contents

- 1 Purpose**
- 2 Technical requirements**
- 3 Inspection and testing**
- 4 Manufacturer’s documentation**
- 5 Document control**



Technical Specification No KTS012

Revision No 1
Valid from 13 Mar 2003
Prepared by *Marika Westman*
Reviewed by *Jens Weene*
Approved by *Ulla-Göran Andersson*

Steel Lid for Canister

Docqa reg. No 3425-2572

KTS012 Steel Lid for Canister

1 Purpose

Steel lids for canister inserts are produced from steel plates. This technical specification, KTS012 defines technical requirements and documentation routines applicable to such steel lids.

2 Technical requirements

2.1 Material specification

Plate according to EN 10025 S355J2G3, SS 14 21 72¹, or similar grade with at least the same tensile strength and ductility, in the as hot rolled or normalised condition shall be used. Chemical composition and tensile strength shall meet requirements defined in the standard.

2.2 Size and tolerances

Shape, diameter, thickness and surface finish shall meet requirements in applicable drawing as stated in the SKB order.

2.3 Macroscopic discontinuities

Experience is being collected to determine acceptance criteria regarding defects, which will be stated in a separate procedure or in the SKB order.

2.4 Identification marking

Each plate shall be given a unique marking as required in the SKB order and a separate procedure².

3 Inspection and testing

3.1 Size and shape, surface finish

Diameter, thickness and skewness etc. are to be determined in accordance with normal industry practice. The surface finish shall be visually inspected.

1 SS 14 21 72:1990, Structural steel – SS-steel 21 72
2 SKB Procedure KT0705, Identification of canister components



Technical Specification No KTS012

Revision No 1
Valid from 13 Mar 2003
Prepared by M Westman
Reviewed by L Werme
Approved by C-G Andersson

Steel Lid for Canister

Docqa reg. No 3425-2572

3.2 Non-destructive testing

The plate shall be controlled by non-destructive testing. Experience is being collected to determine suitable NDT method as well as size and shape of reference defect. Qualification of NDT including methods, procedures and personnel for this purpose is described in a separate procedure³.

3.3 Mechanical properties

No specific tensile testing (i.e. testing specimens from the current plate or from the lot of which the plate is a part) is required. The manufacturer shall, however, be able to show evidence that plate of the present size, manufactured under similar conditions, will meet the requirements specified in the standard⁴.

4 Manufacturer's documentation

4.1 Material certificate

The plate manufacturer shall issue a certificate according to EN 10204 2.2 or 3.1.B⁵, stating as a minimum:

- the manufacturer's name and address,
- date of issue,
- reference to applicable material/product standard,
- steel grade and execution,
- dimensions,
- for EN 10204 2.2 certificate in addition:
 - typical chemical composition; or
- for EN 10204 3.1.B certificate in addition:
 - original heat or cast number,
 - actual chemical composition of the heat or cast.

4.2 Lid manufacturer's documentation

The lid manufacturer shall issue documentation stating as a minimum

- SKB order number or applicable subcontractor's order number,
- SKB specification number,
- identification (number) of the lid,
- result of measurement of size and shape,
- results of non-destructive testing, if any,
- a declaration that the material has been produced in accordance with the manufacturer's own current quality system,
- any other requirement specified in the SKB order.

3 SKB Procedure KT0605, Qualification process for NDT of canister components

4 Requirements on specific testing, including sampling, may be added in a later revision of this document.

5 EN 10204:1995, Metallic materials – Types of inspection documents



Technical Specification No KTS012

Revision No 1
Valid from 13 Mar 2003
Prepared by M Westman
Reviewed by L Werme
Approved by C-G Andersson

Steel Lid for Canister

Docqa reg. No 3425-2572

4.3 Submission of documents and information

The material certificate according to 4.1 shall be sent to the lid manufacturer for check of compliance with standard.

The lid manufacturer shall send the documentation according to 4.1 and 4.2 and request for delivery permit⁶ to SKB for authorization prior to delivery of the lid.

The lid manufacturer shall, without delay, give complete information to SKB on all observations and other circumstances in connection with the production, which may influence the design of the canister components. SKB shall have the right to use this information without any restriction.

4.4 Retention of documentation

QA Co-ordinator Canister Manufacturing Technique, QASK, is responsible for the retention of documentation according to sections 4.1, and 4.3, described in a separate procedure⁷.

The manufacturer shall retain the documentation according to sections 4.1 and 4.2 for at least 10 years under suitable security. If any records are stored on electronic/magnetic media the readability shall be ensured for this time period.

5 Document control

QASK is responsible for document control, including distribution, of this technical specification⁸.

6 SKB Form KTF07-07 or KTF07-08 or similar

7 SKB Procedure KT1002, Retention of quality documents and records

8 SKB Procedure KT1001, Establishing and control of SKB procedures and technical specifications

Teknisk specifikation KTS 021 ”Steel Section Cassette”



Technical Specification No KTS021

Steel Section Cassette

Table of Contents

- 1 Purpose**
- 2 Technical requirements**
- 3 Production**
- 4 Inspection and testing**
- 5 Manufacturer’s documentation**
- 6 Document control**



Technical Specification No KTS021

Revision No 3
Valid from 13 Mar 2003
Prepared by *Marika Westman*
Reviewed by *Jens Weine*
Approved by *Ulla-Göran Andersson*

Steel Section Cassette

Docqa reg. No 3425-2572

KTS021 Steel Section Cassette

1 Purpose

Steel section cassettes are used in the production of cast iron canister inserts. This technical specification, KTS021, defines the technical requirements and documentation procedures applicable to the manufacture of steel section cassettes, intended for that purpose.

2 Technical requirements

2.1 Properties

The technical requirements, including steel grade, size and tolerances, of square hollow sections¹ and other steel parts for the manufacture of steel section cassette are given in a separate specification².

2.2 Identification

The completed cassette shall be traceable to the heat or cast of the square hollow sections. The identification method used is at the discretion of the party ordering the cassette. One possible identity marking method would be to use the number of the insert for which the cassette is intended, described in a separate procedure³.

2.3 Macroscopic discontinuities

No defects, such as cracks and incomplete welds, are permitted anywhere in the cassette leading to risk for penetration of nodular cast iron into the channels in the subsequent use. Any defects of such a type shall be repaired by welding and subsequently inspected by the manufacturer.

3 Production

3.1 Drawings

Drawings according to the applicable SKB order shall be used for the manufacture of cassettes.

1 Hot finished square structural hollow sections (Varmbearbetade konstruktionsrör)
2 SKB Technical Specification KTS022, Profiles for steel section cassette
3 SKB Procedure KT0705, Identification of canister components



Technical Specification No KTS021

Revision No 3
Valid from 13 Mar 2003
Prepared by M Westman
Reviewed by L Werme
Approved by C-G Andersson

Steel Section Cassette

Docqa reg. No 3425-2572

3.2 Manufacture of steel section cassette

The cassette shall be assembled by welding. The selection of welding method including welding consumables is at the discretion of the manufacturer but shall follow a welding procedure specification (WPS), issued by the manufacturer. Precautions shall be taken to prevent deformation of the sections as well as burning-through during the welding operation.

3.3 Treatment and preservation

The cassette hollow sections shall be shot blasted inside and outside to remove oxide and shall be stored under dry conditions to prevent rusting. This also applies to any transport or storage of the assembled cassette. The shot blasting shall be done as closely in time as possible prior to casting.

4 Inspection and testing

4.1 Size and shape inspection

The completed manufactured cassette shall be measured to check its conformity with the specified size and shape. For insert cassettes made from square sections (VKR) 180 x 180 x 10 mm (outer size x thickness) the straightness of the channels shall be sufficient to permit a 156 x 156 mm square profile test-gauge, manufactured according to the applicable SKB drawing, to freely move down the entire channel.

For cassettes made from 250 x 250 x 10 mm sections the corresponding square profile test-gauge shall be 226 x 226 mm.

Note: Square sections with a different wall thickness may also be tested for cassettes.

4.2 Inspection of welds

The complete, welded cassette shall be visually inspected for welding defects. Requirements, see 2.3.

5 Manufacturer's documentation

5.1 Steel section certificate

The cassette manufacturer shall request a certificate from the steel section supplier in accordance with a separate SKB specification².



Technical Specification No KTS021

Revision No 3
Valid from 13 Mar 2003
Prepared by M Westman
Reviewed by L Werme
Approved by C-G Andersson

Steel Section Cassette

Docqa reg. No 3425-2572

5.2 Photographic documentation

The cassette manufacture shall be photographically documented when required by SKB. The extent is to be agreed with SKB from case to case.

5.3 Other documentation

The cassette manufacturer shall issue a report describing

- result of size and straightness inspection,
- result of visual inspection of welds.

The result of size and straightness inspection shall be recorded on a separate form⁴.

5.4 Submission of documents and information

The party receiving the SKB order (foundry or cassette manufacturer) shall submit the documentation mentioned in 5.1, 5.2 and 5.3 to SKB.

The supplier shall also, without delay, give complete information to SKB and to the foundry concerned on all observations and other circumstances in connection with the production, which may influence the design or properties of the cassette. SKB shall have the right to use this information without any restriction.

5.5 Retention of documentation

QA Co-ordinator Canister Manufacturing Technique, QASK, is responsible for the retention of documentation according to section 5, described in a separate procedure⁵.

The manufacturer shall retain the documentation according to sections 5.1, 5.2 and 5.3 for (at present) at least 10 years under suitable security. If any records are stored on electronic/magnetic media the readability shall be ensured for this time period.

6 Document control

QASK is responsible for document control, including distribution, of this technical specification⁶.

4 SKB Forms KTS001F-1, KTS001F-2, KTS001F-3 or similar

5 SKB Procedure KT1002, Retention of quality documents and records

6 SKB Procedure KT1001, Establishing and control of SKB procedures and technical specifications

**Teknisk specifikation KTS 022 ”Profiles for Steel Section
Cassette”**



**Encapsulation Technology –
Canister Manufacturing Technique**

Page 1 (5)
Rev No 1

Docqa reg. nr 3425-2572

**Technical Specification No KTS022
Profiles for Steel Section Cassette**

Table of Contents

- 1 Purpose**
- 2 Technical requirements**
- 3 Inspection and testing of square hollow sections**
- 4 Inspection and testing of other steel parts**
- 5 Manufacturer’s documentation**
- 6 Document control**

Technical Specification No KTS022

Revision No 1
Valid from 13 Mar 2003

Profiles for Steel Section Cassette

Prepared by *Marika Westman*
Reviewed by *Jens Weene*
Approved by *Ulla-Göran Andersson*

Docqa reg. No 3425-2572

KTS022 Profiles for Steel Section Cassette

1 Purpose

Profiles according to this technical specification are intended for use in steel section cassettes. This technical specification, KTS022, defines technical requirements and documentation routines applicable to profiles and other steel parts for that propose.

2 Technical requirements

Profiles for steel sections cassettes are either hot or cold formed square hollow sections, designations VKR¹ and KKR² respectively. Seamless sections as well as welded sections can be used. In the latter case the weld bead shall be flush against the section inner wall, if necessary machined.

2.1 Material specification for VKR (RHS³) square hollow sections

The material for VKR (RHS) square hollow sections shall fulfil the requirements in EN 10015 S355J2H or SS 14 21 34-03 or -04⁴, concerning chemical composition and mechanical properties (Re_L, R_m, A₅).

For BWR fuel canisters 180 x 180 x 10 mm (outer size [H x B] x thickness [t]) VKR square hollow section size applies, and for PWR fuel canisters the corresponding size is 250 x 250 x 10 mm.

Size and shape tolerances, based on EN 10210-2⁵:

- H, B: 180 ±1,8 mm for BWR
250 ±2,5 mm for PWR
- t: 10 -1 +^{a)} mm
- squareness: 90° ± 1°
- flatness deviation: : 1,8 mm for BWR (across section, concavity/convexity)
: 2,5 mm for PWR - " -
- twist: max 2 mm +0,5 mm/m section length
- outer corner radius: 25 ±5 mm^{b)}
- length: +10 -0 mm
- straightness: 0,20% of total length
- mass ±6%^{c)}

a) The positive deviation is limited by the tolerance on mass.

b) Minimum radius added.

c) -6 +8% for seamless hollow sections

1 Hot finished square structural hollow sections (Varmbearbetade konstruktionsrör)
2 Cold formed welded structural hollow sections (Kallformade svetsade konstruktionsrör)
3 Rectangular hollow sections
4 SS 14 21 34:1993, Structural steel – Microalloyed steel – SS-steel 21 34
5 EN 10210-2:1998, Hot finished structural hollow sections of non-alloy and fine grain structural steels

Technical Specification No KTS022

Revision No 1
Valid from 13 Mar 2003
Prepared by M Westman
Reviewed by L Werme
Approved by C-G Andersson

Profiles for Steel Section Cassette

Docqa reg. No 3425-2572

2.2 Material specification for KKR¹ square hollow sections

The material for KKR square hollow sections shall fulfil the requirements in EN 10015 S355J2H or SS 14 21 34-03 or -04³, concerning chemical composition and mechanical properties (R_{eL} , R_m , A_5).

For BWR fuel canisters 180 x 180 x 10 mm (outer size [H x B] x thickness [t]) KKR square hollow section size applies, and for PWR fuel canisters the corresponding size is 250 x 250 x 10 mm.

Size and shape tolerances, based on EN 10219-2⁶:

- H, B: 180 ±1,4 mm for BWR
250 ±1,5 mm for PWR
- t: 10 ±0,5 mm
- squareness: 90° ±1°
- flatness deviation: ≤ 1,4 mm for BWR (across section, concavity/convexity)
≤ 2,0 mm for PWR (across section, concavity/convexity)
- twist: max 2 mm +0,5 mm/m section length
- outer corner radius: 25 ±5 mm
- length: +10 -0 mm
- straightness: 0,15% of total length

Note: Square hollow sections with a different wall thickness may also be tested for cassettes. Size and shape tolerances will in such cases be specified in the SKB order.

2.3 Material specification for plates and flat bars

The material for steel plates and flat bars shall fulfil the requirements in EN 10025 S235JRG2, SS 14 13 12⁷ or similar. The surface shall be free from contaminants such as rust and dirt.

Plate and bar sizes are specified on applicable SKB drawings.

2.4 Macroscopic discontinuities

No defects, such as cracks or incomplete welds in welded hollow sections, leading to risk for penetration of nodular cast iron in the subsequent use, are permitted.

6 EN 10219-2:1998, Cold formed welded structural hollow sections of non-alloy and fine grain steels
7 SS 14 13 12:1990, Structural steel – SS-steel 13 12



Technical Specification No KTS022

Revision No 1
Valid from 13 Mar 2003
Prepared by M Westman
Reviewed by L Werme
Approved by C-G Andersson

Profiles for Steel Section Cassette

Docqa reg. No 3425-2572

3 Inspection and testing of square hollow sections

3.1 Size and shape inspection, surface finish

Outer size, thickness, straightness and twist are to be checked for compliance with applicable standard. For square hollow sections (VKR or KKR) 180 x 180 x 10 mm (outer size x thickness) the shape and straightness of the sections shall be sufficient to permit a 156 x 156 mm square profile test-gauge, manufactured according to applicable SKB drawing, to freely move down the entire channel length. The result shall be recorded⁸. The surface finish shall be visually inspected.

For 250 x 250 x 10 mm sections the corresponding square profile test-gauge shall be 226 x 226 mm.

3.2 Inspection of welds

Welded hollow sections intended for cassettes shall be visually inspected for welding defects. Requirements, see 2.1 and 2.2.

3.3 Identification

The steel grade identity shall be ensured. However, no individual marking of the steel sections is required by SKB.

3.4 Mechanical properties

No specific tensile or impact testing (i.e. testing specimens from the current sections or from the lot of which the sections are a part) is required. The manufacturer shall, however, be able to show evidence that sections of the size in question, manufactured under similar conditions, will meet the requirements specified in the applicable standard⁹.

4 Inspection and testing of other steel parts

The steel grade identity of other steel parts intended for cassettes shall be ensured in accordance with industry practice. No additional SKB inspection and testing requirements presently apply.

8 SKB KTS001F-1

9 Requirements on specific testing, including sampling, may be added in a later revision of this document.



Technical Specification No KTS022

Revision No 1
Valid from 13 Mar 2003
Prepared by M Westman
Reviewed by L Werme
Approved by C-G Andersson

Profiles for Steel Section Cassette

Docqa reg. No 3425-2572

5 Manufacturer's documentation

5.1 Material certificate

The manufacturer of the sections shall issue a certificate according to EN 10204 2.2 or 3.1.B¹⁰, stating as a minimum:

- the manufacturer's name and address,
- date of issue,
- reference to applicable material/product standard,
- steel grade and execution,
- dimensions,
- for EN 10204 2.2 certificate in addition:
 - typical chemical composition; or
- for EN 10204 3.1.B certificate in addition:
 - original heat or cast number,
 - actual chemical composition.

5.2 Submission of documents and information

The material certificate according to 5.1 shall be sent to the cassette manufacturer for check of compliance with standard and purchase order.

The cassette manufacturer shall, without delay, give complete information to the applicable foundry or directly to SKB on all observations and other circumstances in connection with the production, which may influence the design or properties of the canister components. SKB shall have the right to use this information without any restriction.

5.3 Retention of documentation

QA Co-ordinator Canister Manufacturing Technique, QASK, is responsible for the retention of documentation according to section 5.1, described in a separate procedure¹¹.

The cassette manufacturer shall retain the documentation according to section 5.1 for (at present) at least 10 years under suitable security. If any records are stored on electronic/magnetic media the readability shall be ensured for this time period.

6 Document control

QASK is responsible for document control, including distribution, of this technical specification¹².

10 EN 10204:1995, Metallic materials – Types of inspection documents

11 SKB Procedure KT1002, Retention of quality documents and records

12 SKB Procedure KT1001, Establishing and control of SKB procedures and technical specifications

Kvalitetssystem – Kapseltillverkning. Handbokens innehållsförteckning



Inkapslingsteknik – Kapseltillverkning

Flik nr 1

Sida nr 1

Kapitel 1

Rev nr

6

Översikt

Giltig från

2004-04-02

Granskad av

Ulla-Göran Andersson

Godkänd av

John J. Z

Docqa reg.nr 3425-2559

Innehållsförteckning

Kapitel	Rubrik	Rev
1	Översikt	6
2	Policy, verksamhetsinriktning och mål	5
3	Organisation – Ansvar och befogenheter	4
4	Relation till Handbok för Avdelningen Teknik	4
5	Kvalitets- och miljöledningssystem	5
6	Utveckling av kapsel och kapseltillverkning	5
7	Styrning av kapseltillverkning	6
8	Styrning av vissa stödprocesser (inköp, mottagningskontroll m.m.)	5
9	Exempel på flödesschema för tillverkning av kapsel	4
10	Styrning och behandling av dokument och data	5
11	Behandling av avvikelser	5
12	Korrigerande och förebyggande åtgärder, ständiga förbättringar	6
13	Utbildning och kompetens	4
14	Speciella termer och förkortningar	5
15	Standarder	5
16	Korsreferenslistor	5
17	Förteckning över rutiner och tekniska specifikationer	6
18	Ordlista – Glossary	5
19	Sökregister	5

Kvalitetssystem – Kapseltillverkning. Förteckning över rutiner


**Inkapslingsteknik –
Kapseltillverkning**

Sida nr 1 (1)

Förteckning över Rutiner

Rev nr 5
 Giltig från 2003-03-13
 Granskad av *Marike Westman*
 Godkänd av *Claes-Göran Andersson*

Förteckning över Rutiner (Procedures)

Rutin	Rubrik	Rev
KT0501	Requirements for external quality auditing	5
KT0601	Techniques for quality analysis	3
KT0602	Qualification of manufacturing process	3
KT0603	Qualification of supplier/subcontractor (manufacturing)	3
KT0604	Qualification of supplier/subcontractor (inspection and metrological confirmation)	3
KT0605	Qualification process for NDT of canister components	Draft A
KT0701	Final inspection and testing	3
KT0702	Handling, storage, packing and transport of canister components and assembled canisters	3
KT0703	Delivery of canister components and assembled canisters – documentation	3
KT0704	Requirements on 1) quality plan, 2) manufacturing and inspection plan	4
KT0705	Identification of canister components and assembled canisters	4
KT0801	Control of inspection, measuring and test equipment	2
KT0803	Receiving and acceptance inspection	1
KT1001	Establishing and control of SKB procedures and technical specifications	3
KT1002	Retention of quality documents and records	4
KT1003	Handling of documents on canister components and assembled canisters from trial manufacture	4
KT1005	Handling of drawings for canister components and assembled canisters	2
KT1101	Control of nonconformities at SKB	2
KT1102	Request for concession	3
KT1103	Control of nonconformities at supplier	3