

R-05-70

Utveckling av gjutna insatser i segjärn

Claes-Göran Andersson, Svensk Kärnbränslehantering AB

December 2005

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-05-70

Utveckling av gjutna insatser i segjärn

Claes-Göran Andersson, Svensk Kärnbränslehantering AB

December 2005

Sammanfattning

De gjutna insatserna i segjärn med kanaler för bränsleelementen skall i djupförvaret även tjänstgöra som den tryckbärande komponenten inuti kopparkapslarna. För att visa att tillverkade insatser uppfyller detta krav har SKB tillsammans med flera andra organisationer genomfört ett omfattande arbete. Projektet ”Probabilistisk analys av kapselhållfasthet” har nu avslutats och redovisats i ett antal särskilda rapporter. Denna rapport innehåller en sammanfattning av resultaten. Analyserna i det projektet baserades på en stor mängd materialdata och hållfasthetsberäkningar med finita elementmetoder. Denna kunskap har nu kunnat användas till en bättre specifikation av materialkrav än de tidigare preliminära kraven som inte var anpassade till ett gjutgods av denna storlek. Resultaten av hållfasthetsberäkningarna har även medfört mer precisa geometriska krav på den svetsade kassett av stålrör som gjuts in i insatsen. Dessa ändringar redovisas och motiveras i rapporten.

Parallellt med detta har arbetet med att förbättra gjuteritekniken fortsatt i samarbete med gjuteriföretag och branschorganisationen Svenska Gjuteriföreningen. Under 2005 har SKB inlett ett särskilt samarbete med Metso Foundries Karlstad AB med detta syfte. Olika åtgärder har där medfört tydliga förbättringar av materialegenskaperna i nya gjutningar av BWR-insatser.

Innan år 2005 hade endast en PWR-insats gjutits. Inom ramen för samarbetet med Metso har nu nya provgjutningar av PWR-insatser inletts. Under hösten 2005 göts två nya PWR-insatser. Man kan så här långt konstatera att materialet i dessa uppfyller kraven på hållfasthetsegenskaper. Erhållna värden är ändå lägre än motsvarande värden i de nya BWR-insatserna. Detta kommer att kunna förbättras i kommande gjutningar.

Innehåll

1	Inledning	7
2	Probabilistisk analys av kapselhållfasthet.BWR-insatserna I 24, I 25 och I 26	9
2.1	Sammanfattning av projektet	9
2.2	Betydelsen av olika hörnradier och excentricitet hos kassetten	10
2.3	Verifierande tryckprov	10
3	Materialstruktur och mekaniska egenskaper	15
3.1	Allmänt	15
3.2	Analys och slutsatser av utförd materialprovning	15
3.3	Jämförelse mellan mekaniska egenskaper i gjutna insatser och i vidgjutna provstavsämnen	18
4	Gjuteritekniska åtgärder för jämnare materialkvalitet och resultat av nya gjutningar av BWR-insatser	19
5	Provtillverkning av PWR-insatser	23
6	Aktuella tekniska specifikationer	25
7	Referenser	27
	Bilaga 1	29
	Bilaga 2	41
	Bilaga 3	47

1 Inledning

Utvecklingen av tillverkningsteknik för kopparkapslar med gjutna insatser, under den senaste tioårsperioden, har beskrivits i flera tidigare rapporter /1–3/.

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 45 MPa (tidigare angavs 44 MPa) under istidsförhållanden. Det gjutjärn som SKB valt som material i insatser är ett väl beprövat ferritiskt segjärn, EN-GJS-400-15U i SS-EN 1563. Det är ett standardmaterial vid många gjuterier och används i både större och mindre komponenter än SKB:s insatser. En relativt grundlig presentation av detta material återfinns i referenserna /2/ och /3/.

De mekaniska egenskaperna testas genom dragprovning med provstavar som när det gäller gjutgoods kan tas ut på principiellt olika sätt. Vi skall i detta sammanhang skilja på vidgjutna provstavar och på provstavar som tillverkats direkt från en del av den gjutna detaljen. Vidgjutna provstavar åstadkommes i regel vid formsättningen med anpassade håligheter i formväggen som ger en provkropp direkt sammanhängande med gjutgodset som kan sågas bort utan att den färdiga komponenten skadas. De vidgjutna provkropparna stelnar och svalnar alltså tillsammans med insatsen och avsikten är att de därför skall få en struktur och därmed egenskaper som motsvarar godset i insatsen. Detta stämmer ofta relativt bra vid tillverkning av mindre och förhållandevis tunnväggiga detaljer. Med tyngre tjockväggigt gjutgoods som SKB:s insatser måste man räkna med en betydande skillnad jämfört med resultaten av prover som tagits direkt ur den gjutna komponenten. Detta har också verifierats av utförd provning av gjutna insatser.

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 gjutgoods med olika dimensioner. SKB:s insatser representerar ett betydligt grövre gjutgoods 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 och tidigare utförda hållfasthetsberäkningar satte SKB preliminära materialkrav i de första versionerna av den tekniska specifikationen KTS 011.

Preliminära materialkrav 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. 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 egentligen 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. Det visade sig

också vara svårt att uppnå dessa värden med provstavar som tagits ur själva insatsen. I synnerhet har förlängningsvärden i många fall varit låga och även uppvisat en stor spridning /3/.

För att analysera insatsernas hållfasthet vid designtrycket 44 MPa initierade SKB under 2003 ett omfattande projekt tillsammans med flera andra organisationer. Detta projekt har nu avslutats. Syftet har varit att med ett probabilistiskt angreppssätt bedöma insatsernas hållfasthet i djupförvaret. De använda insatserna har tagits ur SKB:s provtillverkning och de har uppvisat de variationer i materialegenskaper som beskrivits ovan.

Erhållna resultat har gett en avsevärt säkrare kunskap om de påkänningar som insatserna kommer att utsättas för och insatsernas tålighet mot tryckbelastningen i djupförvaret. Sammantaget har detta kunnat användas som ett underlag för något modifierade krav som säkerställer insatsernas funktion. Parallellt med detta har arbetet med att förbättra gjuteritekniken fortsatt i samarbete med gjuteriföretagen och branschorganisationen Svenska Gjuteriföreningen. Resultaten kommer även att ligga till grund för fastställande av relevanta acceptanskriterier för insatserna. Detta arbete har påbörjats och kommer att redovisas separat.

Syftet med denna rapport är att sammanfatta det utförda arbetet och att ge en översikt och motiveringar för de ändringar i tekniska specifikationer och ritningskrav som gjorts som en följd av detta.

2 Probabilistisk analys av kapselhållfasthet. BWR-insatserna I 24, I 25 och I 26

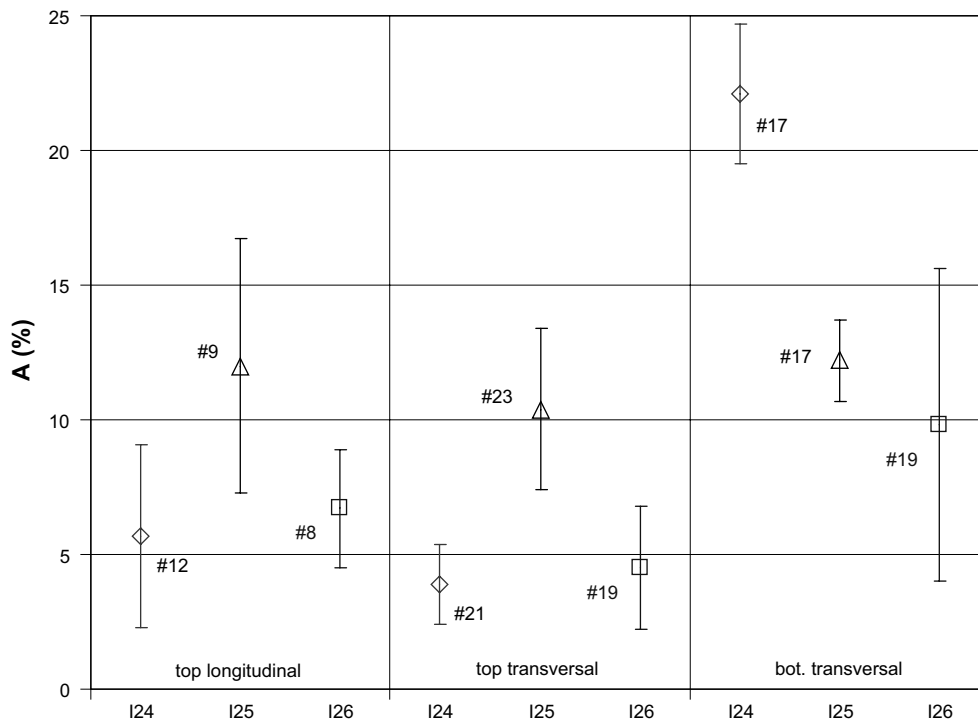
2.1 Sammanfattning av projektet

Detta relativt omfattande projekt som pågått sedan år 2003 har nu avslutats. Som framhölls i både referens /2/ och /3/, visade resultaten av traditionell dragprovning med provstavar tagna ur olika lägen i en insats på en relativt stor spridning. Åtskilliga värden, i synnerhet brottförlängning, låg under det som specificerats. I djupförvaret kommer kapseln till övervägande del att vara utsatt för tryckspänningar. Tidigare analyser hade dock visat att med ökande belastning kommer dragspänningar lokalt att uppträda vid bränslekanalerna i insatsen. Frågeställningen blev därför huruvida låga hållfasthetsvärden vid dragprovning kunde innebära en oacceptabel brottsannolikhet för kapslar i slutförvaret.

För att utreda detta initierade SKB i samarbete med JRC (Joint Research Centre) i Petten i Holland och flera andra organisationer projektet ”Probabilistisk analys av kapselhållfasthet”. Förutom att belysa sannolikheten för brott i slutförvaret var även målsättningen att få ett underlag för acceptanskriterier beträffande materialegenskaper och geometriska toleranser. Tre insatser I 24, I 25 och I 26, tillverkade under 2003 vid tre olika svenska gjuterier och enligt då gällande kvalitetskrav användes i projektet. Ett speciellt statistiskt provprogram upprättades och ett stort antal provstavar tillverkades från olika lägen i insatserna. Alla provstavar och även hela skivor ur insatserna röntgades för att bestämma storlek och fördelning av defekter i materialet. Hållfasthetsegenskaperna utvärderades genom konventionell dragprovning men även genom kompressionsprovning och brottseghetsprovning. Därefter genomfördes en fraktografisk analys av brottytor och mikrostrukturen undersöktes med metallografi. Detta gav ytterligare information om defektfördelningen i materialet. Parallellt genomfördes analyser av spännings- och töjningstillstånd i insatser vid olika tryckbelastningar med finita elementmetoder. Den stora mängden data har sedan använts i den probabilistiska analys som genomförts.

Resultaten från detta projekt har utförligt redovisats i tre olika rapporter, referens /4/, /5/ och /6/. Slutsatserna kan sammanfattas med följande punkter:

- Vid designtrycket på 44 MPa är sannolikheten för haveri obetydlig ($\sim 2 \times 10^{-9}$).
- Spänningarna i insatsen som förorsakas av ett yttre tryck är i huvudsak tryckspänningar. Områden med dragspänningar blir mycket begränsade förutsatt att kraven på kassetten hörnradier och excentricitet innehålls.
- Sannolikheten för brott genom tillväxt av sprickor i områden med dragspänningar dominerar vid yttre tryck under 44 MPa. Vid högre tryck dominerar lokal plastisk kollaps.
- Analysen av plastisk kollaps omfattar endast initieringsskedet. En total kollaps av insatsen kräver ett avsevärt högre tryck.
- Resultaten har visat att kassetten excentricitet i insatsen och profilrörens hörnradier har en inverkan på brottsannolikheten. Störst inverkan har excentriciteten. Resultaten indikerar att den maximalt tillåtna excentriciteten bör vara 5 mm.
- Resultaten av utförd dragprovning av provstavar från de tre insatserna gav en stor spridning, i synnerhet för förlängningsvärden, se figur 2-1. Låg förlängning har i första hand korrelerats till förekomst av slag och områden med icke nodulär grafit. När produktionstekniken förbättrats kommer sannolikheten för haveri att ytterligare reduceras.



Figur 2-1. Diagrammet visar medelvärden av brottförlängning vid dragprovning av material ur insatserna I 24, I 25 och I 26. Provstavar har tillverkats av material från såväl topp som botten av insatserna. Då gällande krav var 11 % i förlängning. Spridningen visas som standardavvikelse och siffrorna anger antalet provstavar.

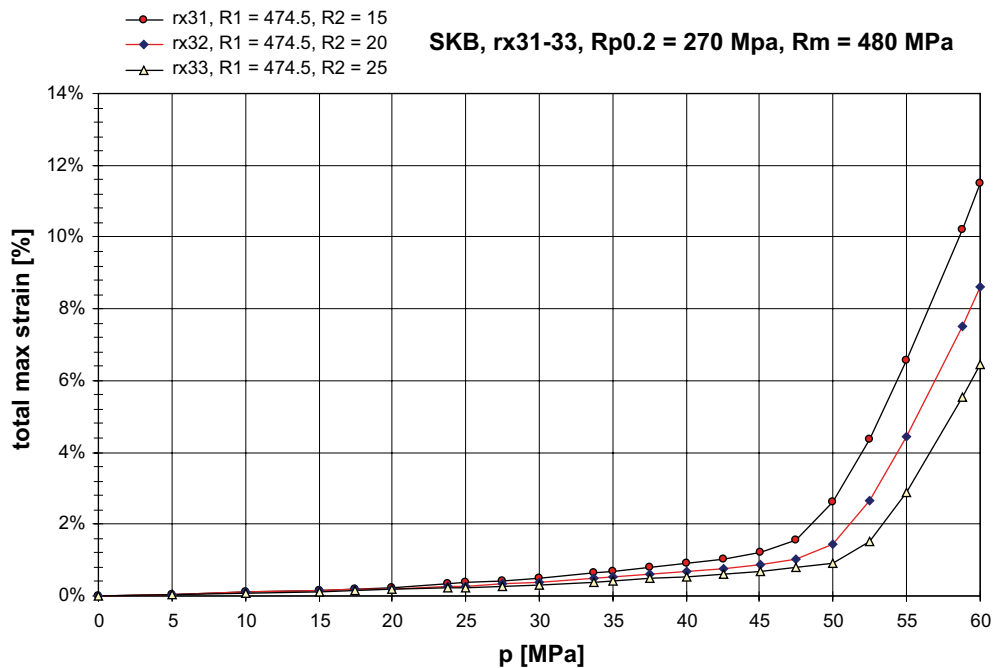
2.2 Betydelsen av olika hörnradier och excentricitet hos kassetten

Ett stort antal finita elementanalyser har utförts inom ramen för projektet probabilistisk analys /4/. Vid tryckbelastning kommer insatsen till övervägande del att vara utsatt för tryckspänningar utom i mindre områden nära bränslekanalerna där dragspänningar uppkommer. Området med dragspänningar ökar med ökat tryck och om kanalernas (dvs profilrörens) hörnradier minskar. Exempelen i figur 2-2 och 2-3 visas hur maximal töjning i detta område beror av profilrörens hörnradie och kassetten excentricitet.

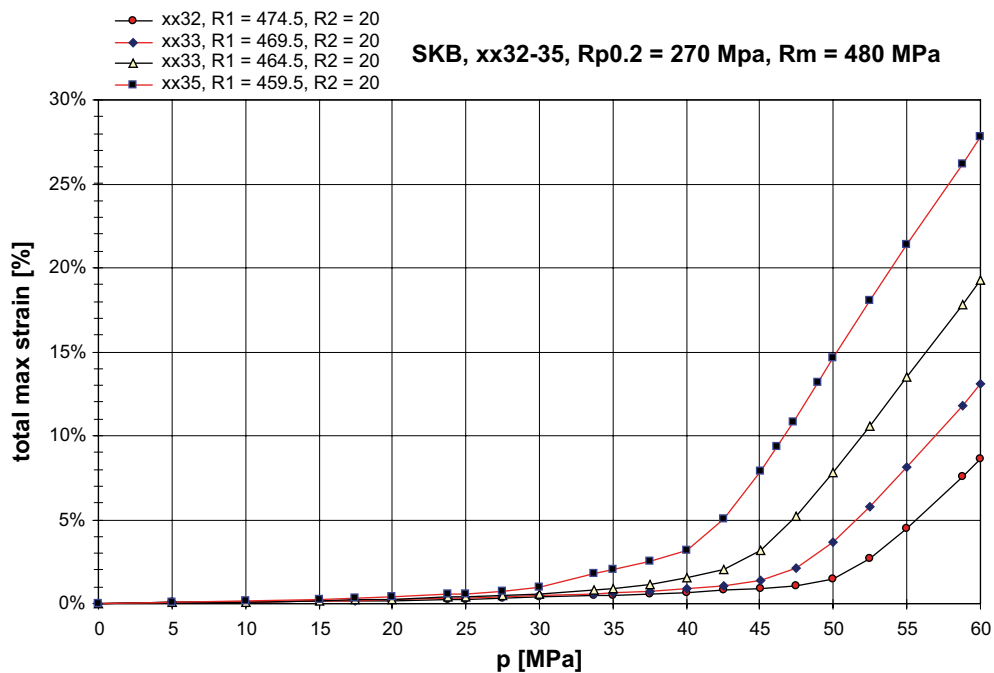
- Dessa resultat har medfört att kravet på hörnradie nu satts till 15–25 mm och att excentriciteten av kassetten måste vara begränsad till ± 5 mm.

2.3 Verifierande tryckprov

Parallellt med det statistiska programmet med materialprovning och därmed förknippad probabilistisk analys genomfördes även två verifierande tryckprov i en kallisostatpress. En av anledningarna till beslutet att genomföra dessa prov var farhågan att sannolikheten för förekomst av defekter i materialet kan förväntas öka med materialvolymen. Detta skulle kunna leda till en lägre brotthållfasthet för en stor komponent. Från insatserna I 26 och I 24 kapades ca 700 mm långa längder men med fulla diametrar. Båda ändar av insatserna täcktes av fastskruvade stållock och placerades sedan i ett 50 mm tjockt kopparrör med lock och bottnar i koppar. Provkropparna motsvarade alltså fränsett längden en riktig koppar-kapsel. Vikten av provkapslarna kom att uppgå till ca 5 ton. Den relativt korta längden



Figur 2-2. Maximal töjning som funktion av trycket för olika värden på hörnradierna 15, 20 och 25 mm. Kassetten är i detta fall korrekt centrerad.



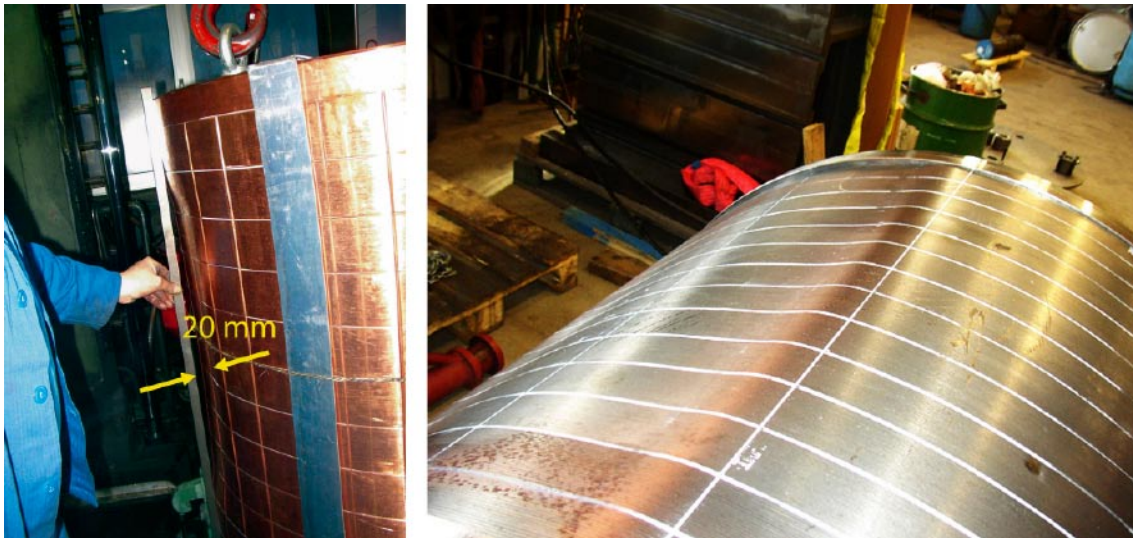
Figur 2-3. Maximal töjning som funktion av trycket för olika värden på kassetten's excentricitet. (0, 5, 10 och 15 mm). Diagrammet styrker kravet på högst 5 mm tillåten excentricitet.

av provkropparna beror på att någon större isostatpress inte kunnat hittas. En hållfasthetsberäkning som gjorts visar emellertid att den relativt korta längden inte väsentligt förändrar kollapslasten jämfört med en kapsel med full längd /5/.

Detaljerad dokumentation av provföremålen, tryckprovningen och undersökning av insatserna efter den genomförda provningen finns i referenserna /3/, /5/ och /7/.

Den första provkroppen, som tillverkades av en del från insats I 26, belastades stegvis till 130 MPa. Insatsen hade då delvis plasticerats ca 20 mm, figur 2-4a och b men provkapseln var fortfarande tät.

Vid det andra tryckprovet användes en del av insatsen I 24. Även denna belastades stegvis med successivt ökande tryck och uppmätning av eventuell deformation. Efter tryckbelastning med 100 MPa noterades att kapseln börjat deformeras 4,5 mm på radien. Vid 130 MPa hade deformationen av kapseln ökat till som mest 11,5 mm men kapseln var fortfarande tät. Vid den fortsatta provningen kollapsade kapseln plötsligt vid 139 MPa med inträngning av vattnet i tryckkammaren som följde. Deformationen av kapseln var också stor, se figur 2-5a och b.



Figur 2-4a och b. Deformationen av provkapseln efter belastning till 130 MPa.



Figur 2-5a och b. Provkapsel nr 2 efter kollaps vid tryckbelastningen 139 MPa.

Man kan konstatera att båda proven visade på en hållfasthet långt över designtrycket 45 MPa. I avsnitt 2.2 ovan har betydelsen av kassettrörens hörnradier och kassetterns centrering i insatsen diskuterats. Efter tillverkningen av insatsen I 26 visade det sig att kassetten hade en excentricitet på ca 12 mm. Som en följd av detta varierade vägg tjockleken mellan hörnen av profilrören och insatsens periferi mellan 22 och 44 mm, figur 2-6.

Det är värt att notera att den del av insatsen I 26 som användes för tryckprovet avsiktligt valdes för att den innehöll de områden där de största diskontinuiteterna detekterades vid ultraljudprovning av hela insatsen. Efter tryckprovningen genomfördes en relativt grundlig materialundersökning /5/ och /6/. Av speciellt intresse var att undersöka om diskontinuiteter i områden med dragspänningar blivit större som en följd av provningen. Resultaten visade att vissa defekter vuxit upp till 10 mm men att inga hade trängt ut till periferin. Detta är också i god överensstämmelse med FEM-analysen där en slutsats var att sprickor sannolikt inte tränger genom områden med tryckspänningar.

Ytterligare en kommentar kan göras beträffande de provade delarna från insatserna I 26 och I 24. I avsnitt 2.2 diskuteras även betydelsen av profilrörens hörnradier. I insats I 26 var hörnradien i intervallet 20–25 mm medan hörnraderna i I 24 var 10–15 mm.

Den provade delen av insats I 24 togs dessutom från den del av insatsen som hade minst indikationer vid ultraljudprovningen av hela insatsen.



Figur 2-6. Tvärsnitt av insatsen I 26 med variationer i vägg tjocklek beroende av kassetterns förskjutning från centrum.

3 Materialstruktur och mekaniska egenskaper

3.1 Allmänt

Som beskrivits redan i inledningen av denna rapport satte SKB i början av utvecklingsarbetet med gjutna insatser preliminära materialkrav. Dessa var baserade på data i standarden SS-EN 1563 för det aktuella segjärnet. Som beskrivits i inledningen var detta egentligen krav på vidgjutna provstavar i klenare gjutgods än SKB:s insatser och egentligen inte fullt relevanta för vad man kunde förvänta sig i de gjutna insatserna för provstavar uttagna var som helst i godset. Som framgått ovan har detta också besannats i flera insatser speciellt beträffande erhållna förlängningsvärden vid dragprovning.

Preliminära materialkrav 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. Grafitform I–III skall inte förekomma.

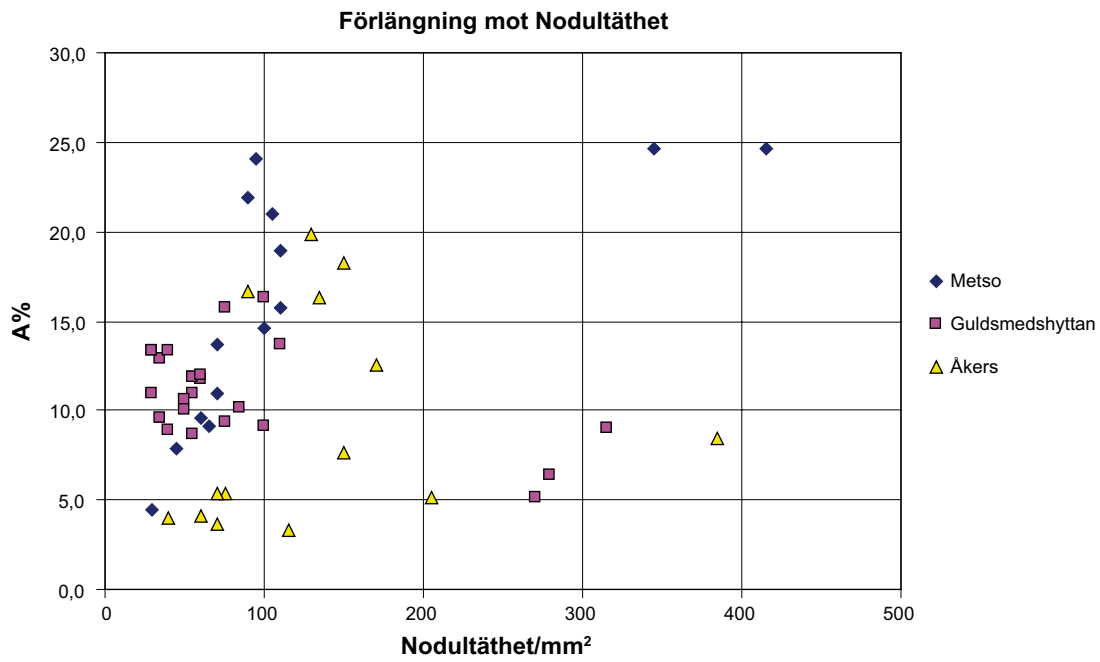
Nodultäthet: min 100 grafitnoder/mm² (Uppmätt vid 100x förstoring).

Vi skall i detta kapitel se hur resultaten från den omfattande materialprovning som utförts bl a för att ge data till den probabilistiska analysen av kapselhållfasthet även gett underlag för att bättre kunna specificera materialkraven för insatserna. Detta har gjorts med beaktande av slutsatserna om kapslarnas hållfasthet i den probabilistiska analysen och den utförda tryckprovningen som beskrivits ovan.

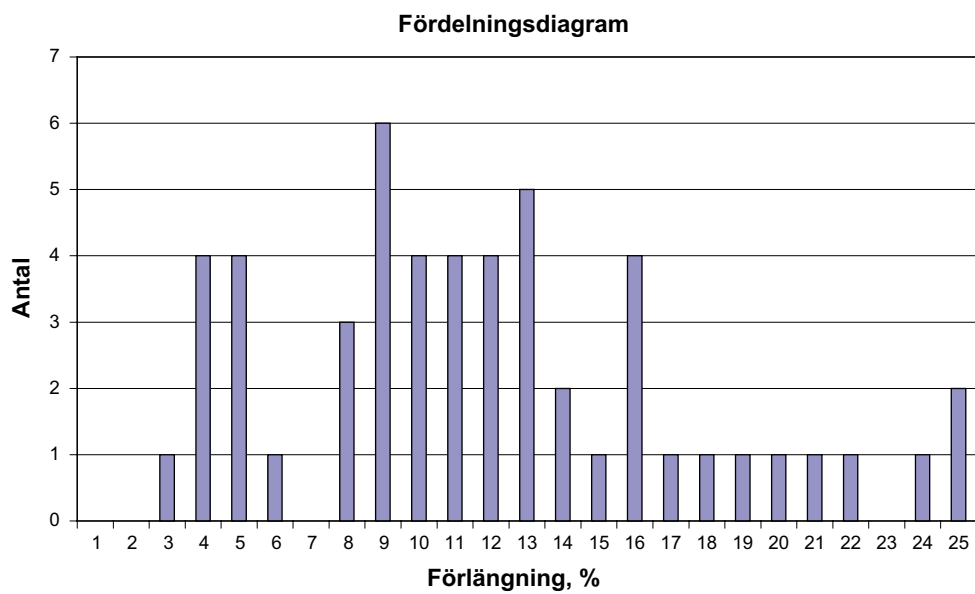
3.2 Analys och slutsatser av utförd materialprovning

Resultaten av utförd materialprovning och den probabilistiska analysen har visat att *de specificerade kraven på sträckgräns och brottgräns inte skall ändras*. Figur 4-2 i nästa kapitel är exempel som visar att alla prover som tagits ur botten av insatserna uppfyller dessa krav. Efter den utveckling av gjuteritekniken som beskrivs i kapitel 4 uppfylls kraven även med prover tagna ur toppen av insatsen. (I 48 och I 49 i figur 4-1). När det gäller förlängning och nodultäthet så har dessa krav analyserats i samarbete med berörda gjuterier och Svenska Gjuteriföreningen. I figur 3-1 och 3-2 har resultatet av undersökningar av 52 st dragprovstavar från insatserna I 24, I 25 och I 26 lagts in i diagram. Arbetet är utfört vid Svenska Gjuteriföreningen.

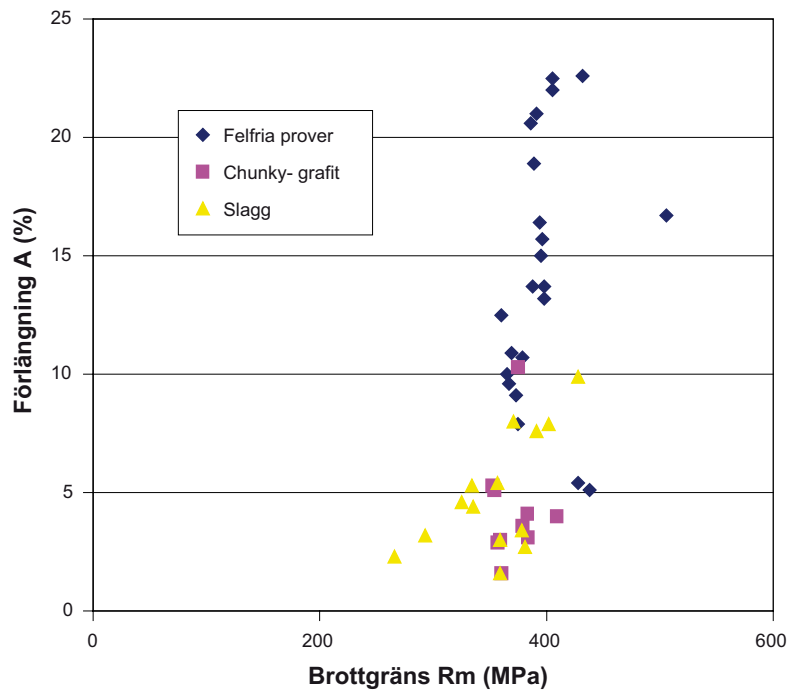
Som framgår av figur 3-1 har i många fall en bra förlängning erhållits trots låg nodultäthet. Många värden ligger i intervallet 9–13 % i förlängning trots en nodultäthet på ca 30–60 noder/mm². Med detta som bakgrund gjordes bedömningen att *nodultäthetskravet kunde tas bort helt och hållet*. De kvarstående kraven på nodularitet (min 80 % av grafiten skall vara form V och VI med tillägget att form I och II inte får förekomma) och brottförlängning räcker för att fånga upp eventuella negativa avvikelser i mikrostrukturen.



Figur 3-1. Uppmätt nodultäthet i dragprovstavar tagna ur insatserna I 24, I 25 och I 26. Många värden visar en förlängning på 9–13 % trots att nodultätheten är lägre än 100 noder/mm².



Figur 3-2. Fördelning av förlängningsvärden från 52 dragprovstavar tagna ur insatserna I 24, I 25 och I 26.



Figur 3-3. Uppmått förlängning som funktion av brottgränsen för provstavar som undersökts metallografiskt efter dragprovningen. Man ser ett tydligt samband mellan låga förlängningsvärden och förekomst av slagg eller chunkygrafit.

I figur 3-2 visas fördelningen av förlängningsvärdena från de 52 dragprovstavar. Låga förlängningsvärden kan nästan alltid förknippas med förekomst av slaggpartiklar i materialet eller icke nodulär grafrit s k chunkygrafit. Den slagg det här är frågan om, som reducerar förlängningsvärden vid dragprovning är små partiklar som kan finnas enskilt eller i form av stråk eller svärmar. Se även referens /3/. Detta förhållande belyses i figur 3-3 där man ser ett tydligt samband mellan låga förlängningsvärden och observerad närvaro av slaggpartiklar och chunkygrafit. Det har också visat sig att materialet i botten av insatserna regelmässigt är bättre än materialet överst i insatserna. I och med den fortsatta utvecklingen av gjuteritekniken kommer problemen med slagg och chunkygrafit att kunna reduceras. Med denna bakgrund gjordes bedömningen att *förlängningskravet kunde sänkas till 7 % som medelvärde av 6 provstavar uttagna ur en skiva från toppen av insatsen. En skiva för provstavar även från botten av insatsen anses inte vara nödvändig.* (Detta har även diskuterats i kapitel 4). Kravet på 11 % i förlängning för vidgjutna provstavar bibehölls dock. De fullständiga kraven finns formulerade i § 2.3 i KTS 011, bilaga 1 i denna rapport.

För ökad kunskap om chunkygrafit stödjer SKB ett doktorandarbete med titeln ”Förbättrad grafritstruktur i tjockväggigt segjärnsgjutgods”, vid Ingenjörshögskolan i Jönköping och Svenska Gjuteriföreningen, referens /8/ och /9/.

Arbetet med att reducera förekomsten av slagg har speciellt fortsatt i samarbete med Metso Foundries Karlstad AB. Resultatet av detta redovisas i kapitel 4.

3.3 Jämförelse mellan mekaniska egenskaper i gjutna insatser och i vidgjutna provstavsämnen

Vidgjutna provstavar har redan diskuterats i inledningen till denna rapport. Vid tillverkning av klenare detaljer i gjutgods fås i regel en bra överensstämmelse mellan egenskaperna i de vidgjutna provkropparna och prov som tas direkt ur det gjutna föremålet. I sådana fall kan vidgjutna provkroppar vara tillräckliga för kvalitetskontrollen. Detta har inte varit fallet för SKB:s insatser. I många fall har vidgjutna prov uppvisat betydligt bättre egenskaper än godset i själva insatsen. Orsaken till detta är dels att stelnings- och svalningshastigheten är högre och att de innehåller mindre mängd defekter. Detta innebär också att kraven på gjutgodset inte kan sättas lika höga som i vidgjutna ämnen. Detta gäller speciellt med avseende på brottförlängningen.

Däremot visar det vidgjutna ämnet om man lyckats med den metallurgiska behandlingen, dvs erhållit rätt mikrostruktur (ferritiskt järn och nodulär grafit).

Tills vidare bör rutinen med att kapa en skiva ur toppdelen från alla tillverkade insatser för tillverkning av dragprovstavar fortsätta. Insatserna gjuts med en sådan extra längd att färdiga insatser med ritningsenlig längd ändå fås efter färdigbearbetning. Vissa insatser har under utvecklingsarbetet även gjutits med en extra tjock botten för att en provskiva även skulle kunna tas för utvärdering av egenskaperna där. Resultaten har alltså visat att egenskaperna i bottendelen oftast uppfyller kraven medan egenskaperna ofta är sämre i toppen. Eftersom den tjockare botten ofta gett problem vid gjutningen och dessutom i sig försämrat resultaten har kravet på provning av en bottenskiva fått utgå.

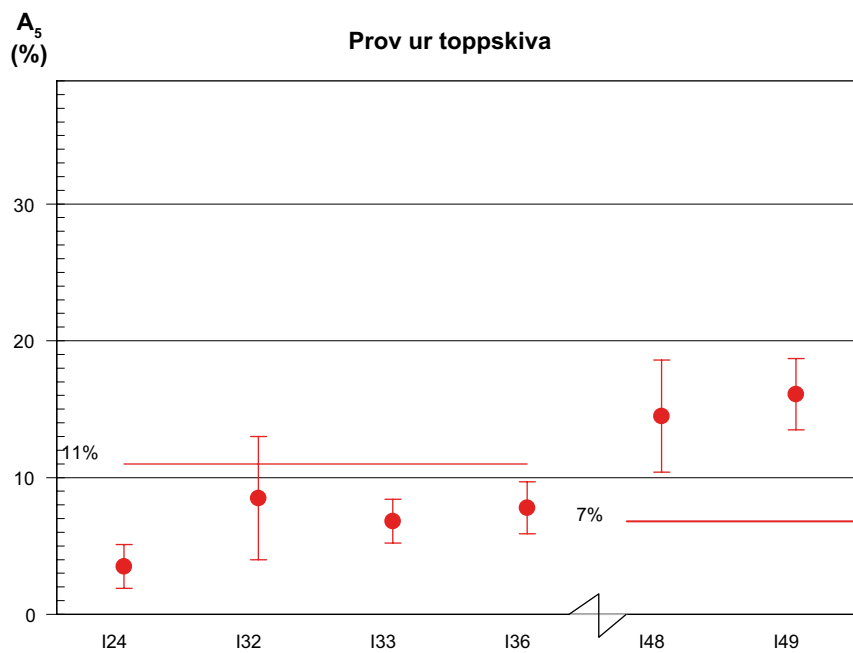
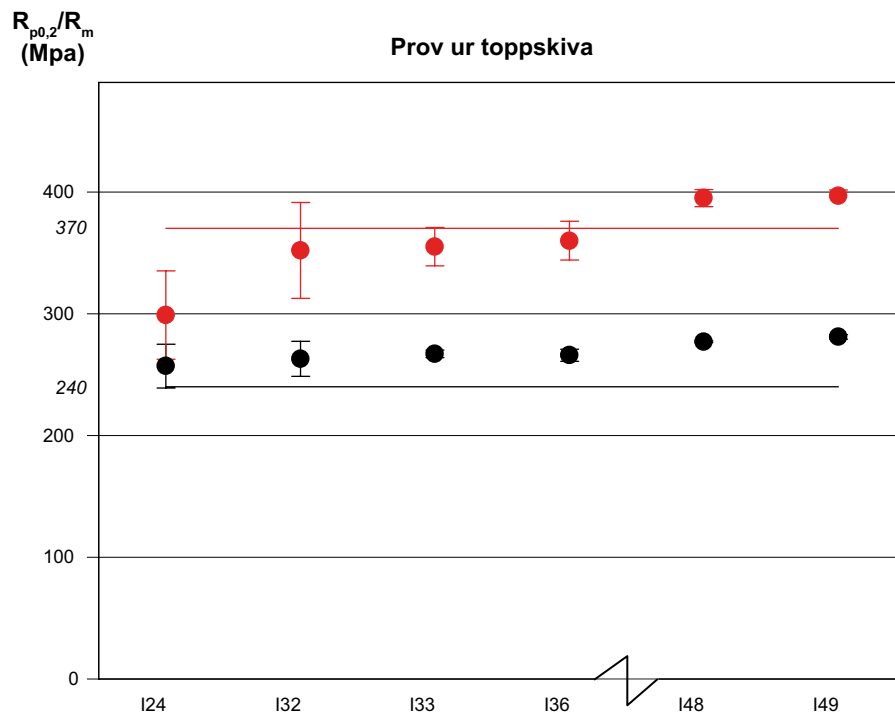
4 Gjuteritekniska åtgärder för jämnare materialkvalitet och resultat av nya gjutningar av BWR-insatser

I samarbete med gjuteriföretagen och branschorganisationen Svenska Gjuteriföreningen har ett systematiskt arbete bedrivits för att utveckla gjuteritekniken vid tillverkning av insatser. Detta har medfört förbättrade nivåer på materialets hållfasthetsegenskaper och mindre spridning i provresultaten. Under 2005 har SKB inlett ett särskilt samarbete i detta syfte med Metso Foundries Karlstad AB. Sedan insatsen I 24 har ytterligare fem insatser tillverkats vid detta gjuteri. Resultaten av gjorda åtgärder redovisas här enligt följande:

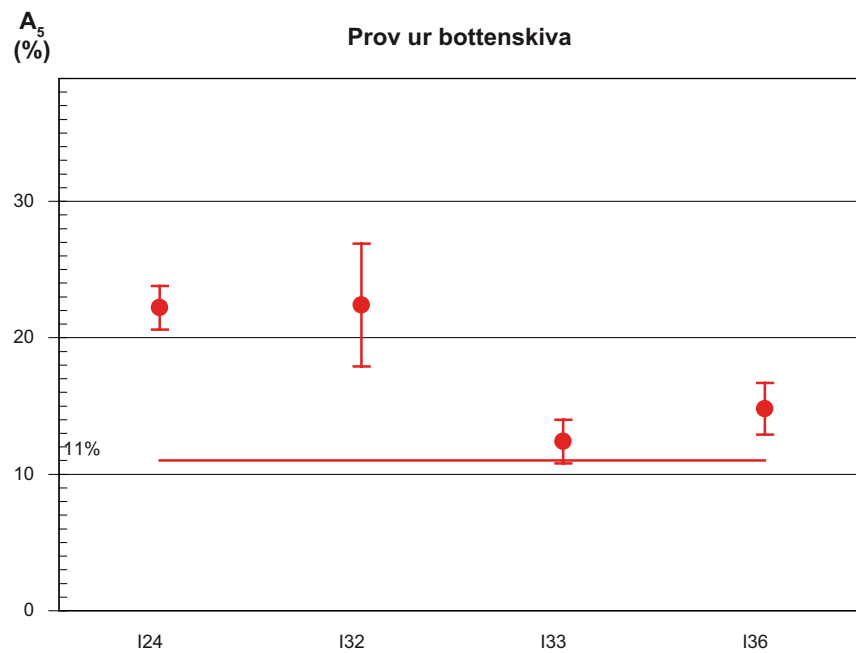
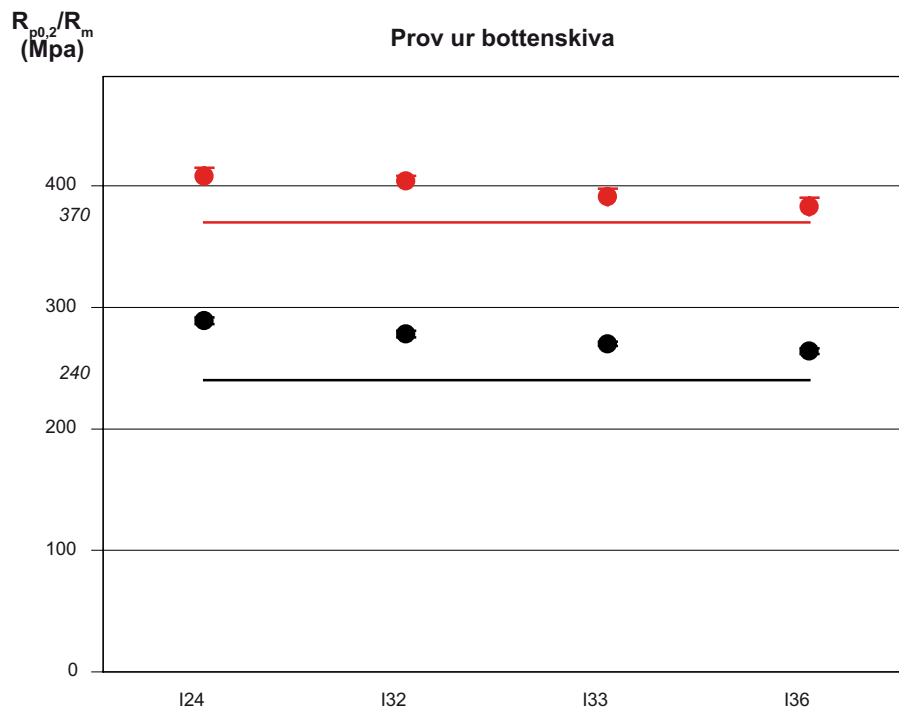
- **Insats I 24.** Denna insats göts i februari 2003. Materialundersökningar med dragprovning visade ett gott material i bottendelen, se figur 4-2, medan resultaten från toppen av insatsen gav sämre resultat, figur 4-1. Orsaken till detta visade sig vara slaggpartiklar som troligen flutit uppåt och anrikats i den övre delen innan järnet stelnat efter gjutningen. Slaggförekomsten kunde bekräftas av både metallografi och ultraljudprovning. Som framgått tidigare i denna rapport var detta en av de tre insatser som användes i projektet probabilistisk analys av kapselhållfasthet, se avsnitt 2.
- **Insats I 32.** Gjutning i januari 2004. Innan denna göts beslutades i samråd med Metso att öka mängden smält järn med ca två ton, vilket gav en ca 500 mm ökad gjuten längd. Detta innebar att slaggpartiklar mm som bildas vid gjutningen samlas på en högre nivå i det gjutna ämnet än tidigare. Detta bidrar till ett renare material i insatsens övre del. Resultaten av åtgärden var positiv och materialprovningen visade bättre värden i prover från toppen av insatsen, figur 4-1.
- **Insats I 36.** Gjutning i maj 2004, dvs före insats I 33. Nu infördes en förstärkning av den förankring av kassetten botten i gjutformen som är nödvändig för att kassetten inte skall flyta upp när smält järn fylls på i formen. Tidigare hade en viss deformation av kassetten botten observerats vilket medfört ett något varierande djup hos kanalerna för bränsleelementen. Uppmätning av I 36 efter gjutning visade även att denna deformation hade minskat. Även i detta fall erhöles materialegenskaper lika med I 32 och I 33, figur 4-1 och 4-2.
- **Insats I 33.** Gjutning i november 2004. Denna insats göts på samma sätt som I 32 och I 36 och de förbättrade materialegenskaperna i toppdelen upprepades, Figur 4-1.

Som framgår av figur 4-1 och 4-2 var för dessa insatser egenskaperna sämre i övre delen av insatserna än i botten. Proverna ur bottenskivan klarade genomgående kraven, figur 4-2, även kravet på 11 % i förlängning. Om man tittar på proverna ur toppskivan, figur 4-1, ser man att förlängningskravet på 11 % inte uppfylldes i någon av insatserna. Sträckgränsvärdena ligger relativt jämnt och för alla insatser över kravet på 240 N/mm². För insatserna I 24 t o m I 36 ligger uppmätt brottgräns genomgående under kravet 370 N/mm². Avståndet mellan sträckgräns och brottgräns i dragprovkurvan återspeglas i förlängningsvärdet. Ju mindre avståndet sträckgräns–brottgräns är desto lägre blir värdet på förlängningen. Detta syns tydligt i figur 4-1.

I kapitel 3 diskuterades kraven på de mekaniska egenskaperna och figur 3-3 visar att låga förlängningsvärden tydligt kan förknippas med chunkygrafit och/eller slagg i materialet. Chunkygrafit har inte varit något problem i insatserna från Metso Foundries Karlstad AB. Däremot hade slagg kunnat observeras i proven från toppen av insatserna. Som framgått ovan har den ökade längden av insatserna vid gjutning från och med Insats I 32 förbättrat resultatet. I det fortsatta samarbetet har ytterligare åtgärder införts i detta syfte.



Figur 4-1a och b. Resultat av dragprovning av provstavar tillverkade ur kapade skivor från toppdelen av insatserna. För insatserna I 48 och I 49 gäller den nya kravspecifikationen med bl a 7 % i förlängning. Staplarna visar standardavvikelsen.



Figur 4-2a och b. Resultat av dragprovning av provstavar tillverkade ur kapade skivor från botten av insatserna. Efter I 36 har inte prover tagits från botten av insatserna. Staplarna visar standardavvikelsen.

Efter insatserna I 36 och I 32 ändrades även specifikationen enligt resonemanget i kapitel 3. Kravet på förlängning sänktes till den mer realistiska nivån 7 % för prover tagna ur insatsen. Dessa 7 % är då medelvärdet av 6 uttagna provstavar enligt § 2.3 och sidorna 10 och 11 i KTS 011, bilaga 1. Kravet på provtagning ur en bottenskiva togs samtidigt bort.

- **Insats I 48.** Gjutning i augusti 2005. Innan gjutningen av denna insats hade flera förbättringar införts. En av de viktigare ansågs vara att bättre kunna centrera kassetten vid gjutning, och även att införa ritningskravet ± 5 mm i avvikelse från insatsens centrumlinje enligt avsnitt 2.2 i denna rapport. Eftersom provskivan i botten nu utgått kunde nu den överskjutande längden av insatsen ökas med ytterligare ca 100 mm med en förmodad förbättring av den övre delens egenskaper som följd. För att ytterligare minimera bildandet av slagpartiklar vid gjutningen beslöts att före gjutningen fylla formen med skyddsgas mot oxidbildning. Resultatet av dragprovningen framgår av figur 4-1. Kraven på såväl sträckgräns, brottgräns och förlängning uppfylls. Någon slag har inte noterats i dessa provstavar.
- **Insats I 49.** Gjutning i november 2005. Insatsen göts på samma sätt som I 48 och med användande av skyddsgas. Som figur 4-1 visar upprepades det godkända resultatet från insats I 48.

Kravet på nodularitet (min 80 % av grafiten skall ha formen V och VI) diskuterades i avsnitt 3.2. Alla ovanstående insatser har uppfyllt detta krav.

Ytterligare åtgärder för att förbättra gjuttekniken och därigenom öka förutsättningarna för ökad slagghenhet i materialet planeras.

5 Provtillverkning av PWR-insatser

Innan år 2005 hade endast en PWR-insats gjutits. Denna finns dokumenterad i referens /1/. En anledning till detta har varit att PWR-insatser ansetts lättare att gjuta än BWR-insatser. Ansträngningarna att utveckla tillverkningstekniken har därför koncentrerats till BWR-insatser. Inom ramen för samarbetet med Metso Foundries Karlstad AB har nu under hösten 2005 ytterligare två PWR-insatser gjutits. Skillnaden mellan BWR-insatserna och PWR-insatserna framgår av Annex A och B i KTS 011, bilaga 1 i denna rapport. PWR-insatserna har 4 kanaler för bränsleelement medan BWR-insatserna har 12 kanaler. De profylrör som används i PWR-kassetter har utvändigt måttet 250×250 mm med tjockleken 10 mm. Motsvarande mått för BWR-insatser är 180×180 mm och tjockleken 10 mm. Se närmare detaljer i KTS 021 och KTS 022, bilaga 2 och 3 i denna rapport.

De två senast gjutna PWR-insatserna har serienumren IP 4 och IP 5. (IP 2 och IP 3 har inte tillverkats). Från både IP 4 och IP 5 kapades en skiva från toppen av insatserna. Provtavlar för dragprovning och strukturkontroll togs enligt Annex B i KTS 011, bilaga 1. Resultaten har sammanställts i tabell 5-1.

Som framgår av tabellen uppfyller båda insatserna kraven på förlängning, sträck- och brottgräns. Om man jämför resultaten med de senast gjutna BWR-insatserna I 48 och I 49 i figur 4-1 kan man dock konstatera att förlängningsvärdena i tabellen är avsevärt lägre. Detta beror sannolikt på den relativt höga perlithalten i PWR-insatserna och nodulariteten som ligger något under kravet. Den grafit som inte är av form V och VI uppträder som form III i dessa insatser. En orsak till skillnaden mot BWR-insatserna är att den större mängden järn i PWR-insatser medför en långsammare svalning vilket gynnar bildandet av perlit.

Även om IP 4 och IP 5 kan sägas vara godkända kommer erhållna egenskaper i kommande planerade gjutningar av PWR-insatser att kunna förbättras genom olika åtgärder.

Tabell 5-1. Resultat av materialprovning av insatserna IP 4 och IP 5 (medelvärden).

	A (%)	R _{p0,2} (MPa)	R _m (MPa)	Nodularitet (%)	Perlithalt (%)
Krav	7	240	370	Min 80 % som grafitform V och VI	–
IP 4	8,9	274	379	77,5	ca 15
IP 5	9,6	287	385	77,5	ca 20

6 Aktuella tekniska specifikationer

Det omfattande utvecklingsarbetet som beskrivits i denna rapport har medfört ett antal förändringar i de tekniska specifikationerna för gjutna insatser. Erhållna resultat från den probabilistiska analysen av kapselhållfasthet och från gjutningar av nya insatser i samarbetet med Metso Foundries Karlstad AB har gett underlag för detta. De viktigaste förändringarna har diskuterats och motiverats i denna rapport. De nu aktuella tekniska specifikationerna för insatser där dessa ändringar införts är:

KTS 011, rev nr 5. "Nodular Cast Iron EN 1563 Insert". Denna finns som bilaga 1 i denna rapport.

KTS 021, rev nr 4. "Steel Section Cassette". Bilaga 2 i denna rapport.

KTS 022, rev nr 2. "Hollow Square Sections for Steel Section Cassette". Bilaga 3 i denna rapport.

I dessa är ändrade stycken i texten markerade med en heldragen linje i marginalen. Ett antal mindre ändringar som också markerats med en heldragen linje i marginalen kan t ex vara av språklig karaktär för ökad tydlighet. Sådana ändringar har inte berörts i denna rapport.

7 Referenser

1. **Andersson C-G, 1998.** Provtillverkning av kopparkapslar med gjutna insatser. Lägesrapport augusti 1998. SKB R-98-09. Svensk Kärnbränslehantering AB.
2. **Andersson C-G, 2001.** Utveckling av tillverkningsteknik för kopparkapslar med gjutna insatser. Lägesrapport i augusti 2001. SKB R-01-39. Svensk Kärnbränslehantering AB.
3. **Andersson C-G, Eriksson P, Westman M, Emilsson G, 2004.** Lägesrapport kapseltillverkning. SKB R-04-14. Svensk Kärnbränslehantering AB.
4. **Nilsson F, Andersson C-G, Andersson M, Erixon B, Björkegren L-E, Dillström P, Minnebo P, Nilsson K-F, 2005.** Probabilistic analysis and material characterisation of canister insert for spent nuclear fuel. Summary report. SKB TR-05-17. Svensk Kärnbränslehantering AB.
5. **Nilsson K-F, Lofaj F, Burström M, Andersson C-G, 2005.** Pressure tests of two KBS-3 canister mock-ups. SKB TR-05-18. Svensk Kärnbränslehantering AB.
6. **Dillström P, 2005.** Probabilistic Analysis of Canister Inserts for Spent Nuclear Fuel. SKB TR-05-19. Svensk Kärnbränslehantering AB.
7. **Nilsson K-F et al.** Failure of spent nuclear fuel canister mock-ups at high isostatic pressure. Kommer att publiceras i Engineering Failure Analysis.
8. **Hamberg K et al.** Chunkygrafit i segjärn – En litteraturgenomgång. Svenska Gjuteriföreningens rapport nr 030930.
9. **Källbom R et al.** On the solidification sequence of ductile iron castings containing chunky graphite. Materials Science and Engineering A 413–414 (2005) 346–351.



Technical Specification No KTS011

Nodular Cast Iron EN 1563 Insert

Table of Contents

1	Purpose
2	Requirements
3	Steel section cassette
4	Casting
5	Machining
6	Inspection and testing
7	Final machining
8	Nonconformities
9	Request for concession
10	Transport and storage protection
11	Manufacturer's documentation
12	Retention of test samples
13	Document control
	Annex A Test piece positions, BWR
	Annex B Test piece positions, PWR



Technical Specification No KTS011

Revision No 5

Valid from 15 Mar 2006

Prepared by *Ulf von Andersson*

Reviewed by *[Signature]*

Approved by *Orina Jostinen*

Nodular Cast Iron EN 1563 Insert

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 Requirements

2.1 Quality plan

A quality plan¹ shall be established by the producer and accepted by SKB prior to production of nodular cast iron inserts.

2.2 Chemical composition

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

2.3 Mechanical properties

The material for nodular cast iron inserts shall in principle fulfil the requirements in EN 1563³ grade EN-GJS-400-15U (Number EN-JS1072, SS 07 17-00) regarding mechanical properties.

Cast-on samples

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 cast-on samples (a sample may be used for one or more test pieces).

At least two cast-on samples are to be taken, one from the lower part and one from the upper part of the casting. The sample size shall be representative for the casting. At least one tensile test piece shall be taken from each sample. Retest, see 6.2.

Samples from insert

From the insert normally 6 test pieces shall be taken according to the Annexes A and B. The following requirements shall be fulfilled:

- At least five values of $R_{p0.2}$ shall reach min 240 N/mm² (reported in units)

¹ Procedure KT0704, Requirements on 1) Quality plan, 2) Manufacturing and inspection plan

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

³ EN 1563:1997, Founding – Spheroidal graphite cast iron



Technical Specification No KTS011

Revision No 5
Valid from 15 Mar 2006
Prepared by C-G Andersson
Reviewed by J Hassan
Approved by N Leskinen

Nodular Cast Iron EN 1563 Insert

Reg. nr 3425-2572

- At least five values of R_m shall reach min 370 N/mm² (reported in units) If these requirements for $R_{p0,2}$ and R_m are not fulfilled It is allowed to take out one new piece for retest according to marked positions in Annex A and B. The values of this retest shall be used.
- The average elongation value among the five highest values (rounded to the nearest 0,5 %) shall exceed 7 %.
If one or two elongation values are below 4 % one new piece for retest must be taken out according to marked positions in Annex A or B. This new value shall be used. If a retest due to low $R_{p0,2}$ and R_m values is made the elongation value from that test shall be used. If two or more test pieces then fail to exceed 4 % the insert is not accepted.

About retest for other reasons, see §10.1 En 1563:1997³. Pieces for such retests must also be taken out from the marked positions in Annex A and B.

2.4 Microstructure

At all positions of the casting, the microstructure shall correspond, to a minimum of 80 %, to forms V and VI in EN ISO 945⁴. The magnification used shall be minimum 50x and recorded.

The microstructure shall nowhere be as illustrated by forms I and II.

2.5 Macroscopic discontinuities

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

2.6 Size and shape

Size and shape of inserts shall be as stated in drawings according to applicable SKB order. Sufficient machining allowance should be added to the cast insert diameter. See 6.3 for corresponding inspection requirements.

2.7 Identification marking

Each cast insert shall be uniquely marked and the identification shall be maintained throughout the manufacture, including the machining stages. At delivery the insert shall be marked in accordance with requirements in the SKB order and applicable procedure⁵. The traceability to the casting shall be maintained.

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

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



Technical Specification No KTS011

Revision No 5
Valid from 15 Mar 2006
Prepared by C-G Andersson
Reviewed by J Hassan
Approved by N Leskinen

Nodular Cast Iron EN 1563 Insert

Reg. nr 3425-2572

3 Steel section cassette⁶

The cassette shall be stored under dry conditions to prevent rusting and the hollow sections shall, if necessary, be shot blasted inside and outside to remove oxide. Any 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 microstructure. This shall include specifying and 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 melt shop practice.

5 Machining

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, top end and the recess for steel lid shall be done without any cooling liquid.

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 ISO 9001⁷ requirements with exclusion of clause 7.3 of the standard, if this clause is not applicable. Laboratory reference material shall be traceable to accredited sources and its identity and use for the analysis shall be recorded.

⁶ SKB Technical Specification KTS021, Steel section cassette

⁷ ISO 9001:2000, Quality management systems – Requirements

Technical Specification No KTS011

Revision No 5
Valid from 15 Mar 2006
Prepared by C-G Andersson
Reviewed by J Hassan
Approved by N Leskinen

Nodular Cast Iron EN 1563 Insert

Reg. nr 3425-2572

6.2 Mechanical testing and microstructure evaluation

Sampling

Test pieces for tensile and hardness testing and for microstructure examination shall be taken as specified in 2.3 or 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 10002-1⁸ and EN 1563:1997³, by an accredited laboratory or by a laboratory meeting ISO 9001 requirements with exclusion of clause 7.3, if this clause is not applicable.

Results from each test piece shall be recorded and provided in the certificate, see 11.4. Requirements for mechanical properties and possible retests shall be as specified in 2.3.

In case a test result from a cast-on sample is not accepted, one retest (one test piece) representing the insert may be performed. The result of the retest shall be used.

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 be performed on the test pieces from cast-on samples and on the two specimens with the highest and lowest elongation values from the insert. The structure shall be documented in micrographs at minimum 50x magnification.

6.3 Size and shape inspection

The insert shall be measured to check its conformity with the specified size after machining.

Channel shape

1. BWR

For BWR fuel canister inserts with cassettes made from square sections (VKR or KKR) 180 x 180 x 10 mm (outer size x thickness) the straightness of the channels

8 EN 10002-1:2001, Metallic materials – Tensile testing

9 EN ISO 6506-1:2006, Metallic materials – Brinell hardness test – Part 1: Test method



Technical Specification No KTS011

Revision No 5
Valid from 15 Mar 2006
Prepared by C-G Andersson
Reviewed by J Hassan
Approved by N Leskinen

Nodular Cast Iron EN 1563 Insert

Reg. nr 3425-2572

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, i.e. the result is not acceptable, the following shall be done in order to collect experience:

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

2. PWR

For PWR fuel canister inserts with cassette sections 250 x 250 x 10 mm the corresponding test-gauge size is 224 x 224 mm (provisional requirement). Corresponding testing, measurement and recording shall be performed.

Channel length

1. BWR

The *shortest* acceptable channel length from any *channel bottom to the cut and machined surface at the insert top end* is 4515 mm (before the 50 mm top end recess for the steel lid is machined), if not otherwise prescribed in the applicable SKB drawing. After top end machining, the length of each channel shall be measured from the top end of the insert and recorded. The difference in length among the channels should not exceed 15 mm.

2. PWR

The corresponding shortest channel length is 4480 mm before machining of the 50 mm steel lid recess, and the maximum permissible variation in channel length is 15 mm. Each channel length shall be recorded.

Records

The result of the shape and size measurement shall be documented on a separate form¹⁰.

Eccentricity

Maximum permissible eccentricity of the machined insert shall be 5 mm. The eccentricity 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.

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



Technical Specification No KTS011

Revision No 5
Valid from 15 Mar 2006
Prepared by C-G Andersson
Reviewed by J Hassan
Approved by N Leskinen

Nodular Cast Iron EN 1563 Insert

Reg. nr 3425-2572

6.4 Non-destructive testing

The casting shall be ultrasonically tested according to EN 12680-3¹¹ from the outside with regard to inner discontinuities such as non-metallic inclusions and other inhomogeneities. Provisionally, the 30 mm rim zone of total surface area shall be tested. The reference defect shall be a 5 mm flat bottom hole. Experience is being collected to determine suitable acceptance criteria.

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 Nonconformities

Any deviation, e.g. from specified shape or size or any other significant deviation from requirements shall immediately be reported in accordance with the manufacturer's quality management system. This party shall consult with SKB for decision about suitable action.

9 Request for concession

Any request for concession¹² shall be documented on SKB form¹³ or similar and sent to SKB.

10 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 wrapping or 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 procedure¹⁴.

11 EN 12680-3 Founding – Ultrasonic examination Part 3: Spheroidal graphite cast iron castings

12 SKB Procedure KT1102, Request for concession

13 SKB Form KTF11-1, Supplier's request for concession

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



Technical Specification No KTS011

Revision No 5
Valid from 15 Mar 2006
Prepared by C-G Andersson
Reviewed by J Hassan
Approved by N Leskinen

Nodular Cast Iron EN 1563 Insert

Reg. nr 3425-2572

11 Manufacturer's documentation

11.1 Quality plan

The quality plan¹ according to 2.1 shall be completed and sent to SKB.

11.2 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.

11.3 Process documentation

Information regarding the casting process in accordance with clause 4 shall be documented by the manufacturer.

11.4 Certification

A certificate according to EN 10204 3.1.B¹⁵ shall be issued by the manufacturer stating as a minimum:

- the manufacturer's name and address,
- SKB order number,
- SKB drawing number,
- insert number,
- 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 current quality system and quality plan, both to be accepted by SKB.

11.5 Submission of documents and information

The documentation according to 6, 9, 11.4 and request for delivery permit¹⁶ shall be sent to SKB for authorisation prior to delivery.

SKB shall be informed when the shipping takes place.

¹⁵ EN 10204:1995, Metallic products – Types of inspection documents

¹⁶ SKB Form KTF07-07 (Eng) or KTF07-08 (Sv) or similar



Technical Specification No KTS011

Revision No 5
Valid from 15 Mar 2006
Prepared by C-G Andersson
Reviewed by J Hassan
Approved by N Leskinen

Nodular Cast Iron EN 1563 Insert

Reg. nr 3425-2572

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.

11.6 Retention of documentation

QA Co-ordinator Canister Manufacturing Technique, QASK, is responsible for the retention of documentation according to sections 6, 9 and 11 described in a separate procedure¹⁷.

The manufacturer shall retain the documentation according to sections 4, 6, 9 and 11 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.

12 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 or according to agreement with SKB, under suitable conditions. The identification of samples shall be maintained. SKB shall be contacted prior to subsequent discarding of any test samples.

13 Document control

QASK is responsible for document control, including distribution, of this technical specification¹⁸.

¹⁷ SKB Procedure KT1002, Retention of quality documents and records

¹⁸ SKB Procedure KT1001, Establishing and control of SKB technical specifications, procedures and forms

Technical Specification No KTS011

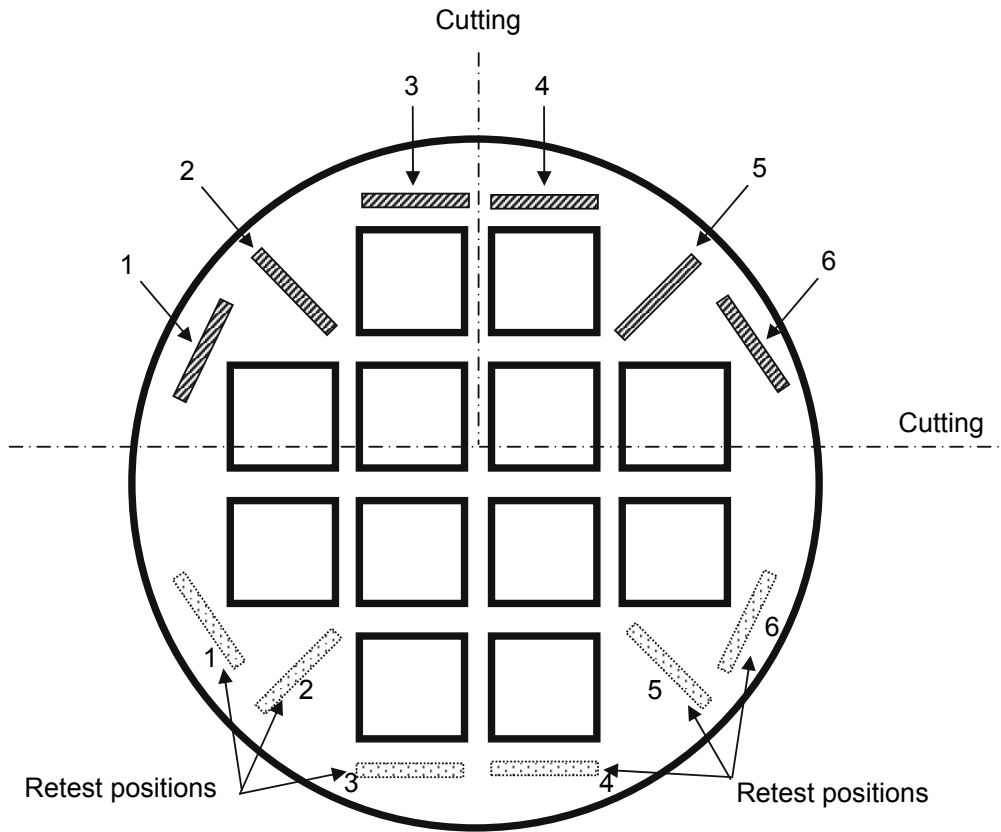
Revision No 5
Valid from 15 Mar 2006
Prepared by C-G Andersson
Reviewed by J Hassan
Approved by N Leskinen

Nodular Cast Iron EN 1563 Insert

Reg. nr 3425-2572

Annex A – Test piece positions, BWR

The sketch shows the positions of the regular series of six test pieces, when tensile testing is to be carried out on a nodular cast iron BWR insert itself (and not on cast-on samples). It also shows retest positions.



Results can be recorded on SKB form KTF07-15.

Technical Specification No KTS011

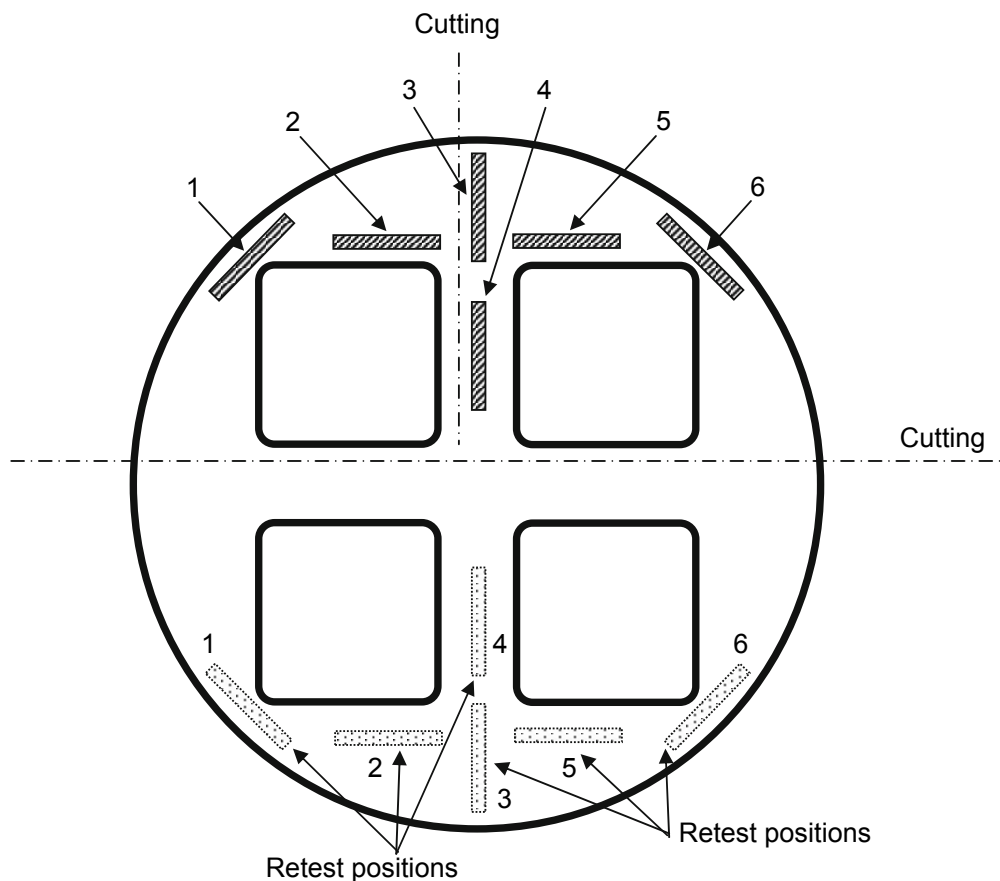
Revision No 5
Valid from 15 Mar 2006
Prepared by C-G Andersson
Reviewed by J Hassan
Approved by N Leskinen

Nodular Cast Iron EN 1563 Insert

Reg. nr 3425-2572

Annex B – Test piece positions, PWR

The sketch shows the positions of the regular series of six test pieces, when tensile testing is to be carried out on a nodular cast iron PWR insert itself (and not on cast-on samples). It also shows retest positions.



Results can be recorded on SKB form KTF07-16.



Reg. No 3425-2572

Technical Specification No KTS021

Steel Section Cassette

Table of Contents

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



Technical Specification No KTS021

Revision No 4

Valid from 01 Jun 2005

Prepared by *M. Westman*

Reviewed by *M. Jie*

Approved by *W. He*

Steel Section Cassette

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 sections^{1,2} and other steel parts for the manufacture of steel section cassette are given in a separate specification³ and drawings.

2.2 Identification

The completed cassette shall be traceable to the heat(s) or cast(s) 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 procedure⁴.

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 during the casting. 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. Individual solutions for the firm positioning of the cassette in the mould will be developed by each foundry.

1 Hot finished square structural hollow sections (Varmbearbetade konstruktionsrör, VKR)

2 Cold formed welded structural hollow sections (Kallformade svetsade konstruktionsrör, KKR)

3 SKB Technical Specification KTS022, Profiles for steel section cassette

4 SKB Procedure KT0705, Identification of canister components



Technical Specification No KTS021

Revision No 4

Valid from 01 Jun 2005

Prepared by M Westman

Reviewed by E Lidén/J Hassan

Approved by N Leskinen

Steel Section Cassette

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 for BWR fuel canisters shall be measured by the cassette manufacturer to check its conformity with the specified size and shape. For insert cassettes made from square sections (VKR or KKR) 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 for PWR fuel canisters the corresponding square profile test-gauge shall be 226 x 226 mm (provisional requirement).

4.2 Inspection of welds

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

5 Nonconformities

Any deviation from specified shape or size or any other significant deviation from requirements shall immediately be reported to the party having issued the cassette purchase order. This party shall consult with SKB for decision about suitable action.



Technical Specification No KTS021

Revision No 4
Valid from 01 Jun 2005
Prepared by M Westman
Reviewed by E Lidén/J Hassan
Approved by N Leskinen

Steel Section Cassette

Reg. No 3425-2572

6 Manufacturer's documentation

6.1 Steel section certificate

The cassette manufacturer shall request a certificate from the steel section supplier in accordance with a separate SKB specification³.

6.2 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.

6.3 Other documentation

The cassette manufacturer shall issue a dated report including or describing

- the Welding Procedure Specification according to 3.2,
- result of size and straightness inspection,
- result of visual inspection of welds.

The result of size and shape inspection shall be recorded on a separate form⁵.

6.4 Submission of documents and information

The party receiving the SKB order (foundry or cassette manufacturer) shall submit the documentation mentioned in 6.1, 6.2 and 6.3 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.

6.5 Retention of documentation

QA Co-ordinator Canister Manufacturing Technique, QASK, is responsible for the retention of documentation according to section 6, described in a separate procedure⁶.

The cassette manufacturer shall retain the documentation according to sections 6.1 and 6.3 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.

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

6 SKB Procedure KT1002, Retention of quality documents and records



Technical Specification No KTS021

Revision No 4
Valid from 01 Jun 2005
Prepared by M Westman
Reviewed by E Lidén/J Hassan
Approved by N Leskinen

Steel Section Cassette

Reg. No 3425-2572

7 Document control

QASK is responsible for document control, including distribution, of this technical specification⁷.

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



Reg. nr 3425-2572

Technical Specification No KTS022

Hollow Square Sections 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 Nonconformities**
- 6 Manufacturer's documentation**
- 7 Document control**



Technical Specification No KTS022

Revision No 2

Valid from 01 Jun 2005

Prepared by

Marika Westman

Reviewed by

Stefan

Approved by

Orina

**Hollow Square Sections
for Steel Section Cassette**

Reg. No 3425-2572

KTS022 Hollow Square Sections 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 section cassettes are either hot or cold formed square hollow sections, designations VKR¹ (see 2.1) and KKR² (see 2.2) 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

Chemical composition and mechanical properties

The material for VKR (RHS) square hollow sections shall fulfil the requirements in EN 10210-1⁴ S355J2H or SS 14 21 74-03 or -04⁵, concerning chemical composition and mechanical properties (Re_L, R_m, A₅⁵).

Size, shape and tolerances

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 10210-2⁶: (except end squareness)

- H, B: 180 ±1,8 mm for BWR
250 ±2,5 mm for PWR
- t: 10 -1 +^{aj} mm
- squareness: 90° ±1° (cross section)
- flatness deviation: ≤ 1,8 mm for BWR (across section, concavity/convexity)
≤ 2,5 mm for PWR - " -

(continued on next page)

- 1 Hot finished square structural hollow sections (Varmbearbetade konstruktionsrör)
- 2 Cold formed welded structural hollow sections (Kallformade svetsade konstruktionsrör)
- 3 Rectangular hollow sections
- 4 EN 10210-1:1994, Hot finished structural hollow sections of non-alloy and fine grain structural steels – Part 1: Technical delivery conditions
- 5 SS 14 21 74:1990, Structural steel – SS-steel 21 74
- 6 EN 10210-2:1997, Hot finished structural hollow sections of non-alloy and fine grain structural steels – Part 2: Tolerances, dimensions and sectional properties

Technical Specification No KTS022

Revision No 2
Valid from 01 Jun 2005
Prepared by M Westman
Reviewed by E Lidén/J Hassan
Approved by N Leskinen

Hollow Square Sections for Steel Section Cassette

Reg. No 3425-2572

Size, shape and tolerances, cont'd

- twist: max 2 mm +0,5 mm/m section length
- outer corner radius: 20 ±5 mm^{b)}
- length: +10 -0 mm
- straightness: 0,20% of total length
- mass ±6%^{c)}
- end squareness 90° ±0,5° (at least one end)

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

b) Minimum radius added. (provisional; no lower limit in EN 10210-2)

c) -6 +8% for seamless hollow sections.

2.2 Material specification for KKR¹ square hollow sections

Chemical composition and mechanical properties

The material for KKR square hollow sections shall fulfil the requirements in EN 10219-1⁷ S355J2H or SS 14 21 74-03 or -04³, concerning chemical composition and mechanical properties (R_{eL} , R_m , A_5 ⁷).

Size, shape and tolerances

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 10219-2⁸: (except end squareness)

- H, B: 180 ±1,4 mm for BWR
250 ±1,5 mm for PWR
- t: 10 ±0,5 mm
- squareness: 90° ±1° (cross section)
- 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: 20 ±5 mm (provisional)^{d)}
- length: +10 -0 mm
- straightness: 0,15% of total length
- end squareness 90° ±0,5° (at least one end)

d) deviation may be permitted by SKB.

7 EN 10219-1:1997, Cold formed welded structural hollow sections of non-alloy and fine grain steels – Part 1: Technical delivery requirements

8 EN 10219-2:1997, Cold formed welded structural hollow sections of non-alloy and fine grain steels – Part 2: Tolerances, dimensions and sectional properties



Technical Specification No KTS022

Revision No 2

Valid from 01 Jun 2005

Prepared by M Westman

Reviewed by E Lidén/J Hassan

Approved by N Leskinen

Hollow Square Sections for Steel Section Cassette

Reg. No 3425-2572

2.3 Material specification for plates and flat bars

The material for steel plates and flat bars shall fulfil the requirements in EN 10025⁹ S235JRG2, SS 14 13 12¹⁰ 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. Repair welds are allowed.

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 recorded¹¹. The surface finish shall be visually inspected.

At least one end of each ca 6 m long hollow section (for example, after sawing from a longer section length) shall fulfil the requirement regarding end squareness to the length axis.

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

3.2 Inspection of welds

Welded hollow sections intended for cassettes shall be visually inspected for welding defects. Requirements, see 2.4. Ultrasonic testing of the weld seam is described in EN 10246^{12, 13}.

9 EN 10025, Hot rolled products of non-alloy structural steels – Technical delivery conditions

10 SS 14 13 12:1990, Structural steel – SS-steel 13 12

11 SKB KTS001F-1

12 EN 10246-8:1999, Non-destructive testing of steel tubes – Automatic ultrasonic testing of the weld seam of electric welded steel tubes for the detection of longitudinal imperfections

13 EN 10246-9:2000, Non-destructive testing of steel tubes – Automatic ultrasonic testing of the weld seam of submerged arc-welded tubes for the detection of longitudinal and/or transverse imperfections



Technical Specification No KTS022

Revision No 2
Valid from 01 Jun 2005
Prepared by M Westman
Reviewed by E Lidén/J Hassan
Approved by N Leskinen

**Hollow Square Sections
for Steel Section Cassette**

Reg. No 3425-2572

3.3 Identification

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

3.4 Mechanical properties

No specific mechanical 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 2.1 and the applicable standard¹⁴.

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.

5 Nonconformities

Any deviation from specified shape or size or any other significant deviation from requirements shall immediately be reported to the party having issued the purchase order for steel hollow sections. This party shall consult with SKB for decision about suitable action.

6 Manufacturer's documentation

6.1 Material certificate

The manufacturer of the sections shall issue a certificate according to EN 10204 2.2 or 3.1.B¹⁵, stating as a minimum:

- the manufacturer's name and address,
- date of issue,
- reference to applicable material/product standard,
- steel grade and execution,
- result of size and shape inspection,

(continued on next page)

14 Requirements on specific testing, including sampling, may be added in a later revision of this document.
15 EN 10204:1995, Metallic materials – Types of inspection documents



Technical Specification No KTS022

Revision No 2
Valid from 01 Jun 2005
Prepared by M Westman
Reviewed by E Lidén/J Hassan
Approved by N Leskinen

**Hollow Square Sections
for Steel Section Cassette**

Reg. No 3425-2572

- 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,
 - mechanical properties.

6.2 Submission of documents and information

The material certificate according to 6.1 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.

6.3 Retention of documentation

The cassette manufacturer shall retain the documentation according to section 6.1 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.

QA Co-ordinator Canister Manufacturing Technique, QASK, is responsible for the retention of documentation according to section 6.1, described in a separate procedure¹⁶.

7 Document control

QASK is responsible for document control, including distribution, of this technical specification¹⁷.

16 SKB Procedure KT1002, Retention of quality documents and records
17 SKB Procedure KT1001, Establishing and control of SKB procedures and technical specifications