

## **Tillverkning av kopparkapsel för slutförvaring av använt bränsle**

**Jan Bergström  
Lennart Gillander  
Kåre Hannerz  
Liberth Karlsson  
Bengt Lönnerberg  
Gunnar Nilsson  
Sven Olsson  
Stefan Sehlstedt**

**ASEA, ASEA-ATOM juni 1978**

TILLVERKNING AV KOPPARKAPSEL FÖR  
SLUTFÖRVARING AV ANVÄNT BRÄNSLE

Jan Bergström  
Lennart Gillander  
Kåre Hannerz  
Liberth Karlsson  
Bengt Lönnerberg  
Gunnar Nilsson  
Sven Olsson  
Stefan Sehlstedt  
ASEA, ASEA-ATOM juni 1978

Denna rapport utgör redovisning av ett arbete som utförts på uppdrag av KBS. Slutsatser och värderingar i rapporten är författarens och behöver inte nödvändigtvis sammanfalla med uppdragsgivarens.

I slutet av rapporten har bifogats en förteckning över av KBS hittills publicerade tekniska rapporter i denna serie.

## SUMMARY

This report describes the manufacturing method for the copper capsule, which is proposed by KBS for final disposal of spent nuclear fuel.

The design and the dimensioning with respect to stress calculation is shortly explained.

Alternative casting and forging methods are discussed and compared. The preferred method is conventional static casting and upsetting and stretch forging of the block in order to obtain a fine granular structure. Available equipment in the steel industry are considered useful for those operations.

The machining of the capsule consists of turning and long hole drilling, which can be performed by available equipment in Swedish workshop industry.

Non-destructive tests can be made with ultrasonic technics as the capsule has a fine granular structure.

Inserting of fuel and filling with melted lead into the capsule are non-conventional processes, which are based on the experience from fuel handling in nuclear plants and on lead pouring in other industrial applications. Special lead pouring tests have also been made for this particular purpose.

The welding of lids is made by electron beam welding. Welding tests has been made with good result. The weld depth is on the limit of what is possible with the present Swedish equipment, but this field is being developed very quickly and welding equipment with higher capacity is already available which will simplify this operation.

The ultrasonic test of the welds has been experimentally checked and does not involve any particular problems.

Innehåll	1	BAKGRUND
	2	MATERIALVAL, KONSTRUKTION, HÅLLFASTHETS- TEKNISK DIMENSIONERING
		2.1 Materialval
		2.2 Konstruktion
		2.3 Hållfasthetsteknisk dimensionering
	3	TILLVERKNING
		3.1 Tillverkningsgång allmänt
		3.1.1 Allmänna krav
		3.1.2 Tillgänglig kapacitet
		3.1.3 Alternativa förfaranden
		3.1.4 Val av tillverkningsgång
		3.2 Gjutning
		3.3 Smidning
		3.4 Maskinbearbetning
		3.5 Inplacering av bränsle och blyfyllning
		3.6 Locksvetsning
		3.7 Icke-förstörande provning
	4	KVALITETSSTYRNING
	5	SAMMANFATTNING OCH SLUTSATSER
		REFERENSER

1  
BAKGRUND

För slutförvaring av använt, icke upparbetat bränsle föreslår KBS-projektet att bränslet innesluts i en tjockväggig kapsel av ren kopparmetall. Bakgrunden härtill är att en sådan kapsel beräknas få en mycket lång livslängd vid den utformning av slutförvaret i berg på stort djup, som föreslås, beroende på att så gott som ingen korrosion kommer att äga rum.

Tillverkningen av denna kopparkapsel behöver inte föregås av ett nydanande utredningsarbete, som fallet är med den av ASEA utvecklade kapseln av aluminiumoxid, utan kan företas genom tillämpning av inom den metallurgiska och verkstadsindustrin känd teknik. I denna rapport ges en sammanfattning av de utredningar, som gjorts beträffande tillverkningsfrågan för kopparkapseln.

2

MATERIALVAL, KONSTRUKTION OCH HÅLLFASTHETSTEKNISK DIMENSIONERING

2.1

Materialval

Kopparkapseln utförs av högren koppar, s k Oxygen Free High Conductivity (OFHC) grade, med svensk normbeteckning SIS 5011. Fosfordesoxiderat material måste undvikas på grund av eventuell spänningskorrosionsrisk. Materialet förutsätts ha en kornstorleksfördelning normal för koppargods i konventionella tjocklekar, vilket förutsätter omfattande bearbetning efter gjutning.

2.2

Konstruktion

Kapselns konstruktion visas i perspektivskiss med fyllning av bränslestavar och bly i figur 1 och i genomskärning i figur 2. Väggtjockleken, 200 mm, har valts för att erhålla dels en lång korrosionslivslängd, dels ett effektivt strålskydd. Det senare motiveras dels av hanteringsskäl, dels av önskan att nedbringa vattenradiolysen och därav eventuell orsakad korrosion till ett minimum.

Längden, 4700 mm, medger inplacering av hela bränslestavar utan föregående bearbetning. Med den valda innerdiametern, 370 mm, kan ca 500 bränslestavar inrymmas. Ytterdiametern, 770 mm, ökas upptill till 800 mm för att skapa ett grepp för lyftning samt utrymme för lockkonstruktionen.

Efter inplacering av bränslestavarna fylls alla utrymmen mellan dem ut med bly genom ett gjutförfarande, varefter locken påsvetsas. Med hänsyn till att för närvarande använd djupaste svetsinträngning i koppar är ca 65 mm svetsas tre lock efter varandra, så att den sammanlagda materialtjockleken blir 200 mm. För att undvika nedböjning av locket på grund av yttre övertryck utförs det innersta locket med 200 mm tjocklek och vilar på en utsvarvad avsats på insidan (möjliggjord av diameterökningen till 800 mm).

2.3

Hållfasthetsteknisk dimensionering

Materialdata:

Koppar OFHC (oxygen free high conductivity) 99,95% renhetsgrad.

Data enligt SIS 145015 och TKN 73 4.12

Temp °C	20	100	125	150	175	200	225
$\sigma_{ber}$ N/mm <sup>2</sup>	54	54	52	49	28	18	14

$$\text{Värmeutvidgningstal} = \alpha = \begin{cases} 25-100^{\circ}\text{C} & 16,8 \cdot 10^{-6} \text{ } 1/^{\circ}\text{C} \\ 20-300^{\circ}\text{C} & 17,7 \cdot 10^{-6} \text{ } 1/^{\circ}\text{C} \end{cases}$$

$$\text{E-modul} = E = 1,18 \cdot 10^5 \text{ N/mm}^2$$

Denna handling får ej utän värt medgivande kopieras. Den får ej heller delgivas annan eller eljest omfattning användas. Överträdelse härav beivras med stöd av gällande lag. ASEA-ATOM  
 This document must not be copied without our written permission, and the contents thereof must not be imparted to a third party nor be used for any unauthorized purpose. Contravention will be prosecuted. ASEA-ATOM

Konstruktionsdata: 100°C, 100 bar yttre tryck

Elastisk analys; cylindrisk mantel:

Enligt TKN 7.2 skall minsta godstjocklek i mantel vara

$$s_{\min} = \frac{\text{Ytterdiameter} \cdot \text{tryck} \cdot 1,5}{20 \cdot \sigma_{\text{ber}}} = \frac{770 \cdot 100 \cdot 1,5}{20 \cdot 54}$$

$$= 107 < \text{Verklig tjocklek} = 200 \text{ mm}$$

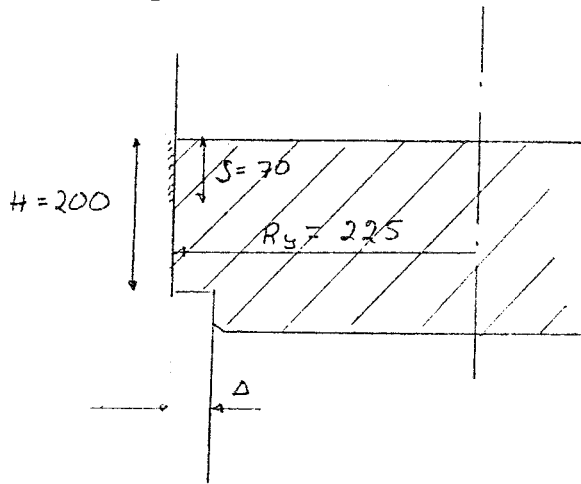
Vidare skall enligt TKN 8.1.2.4 följande vara uppfyllt

$$200 > s_{\min} = \frac{\text{Ytterdiameter}}{100} \sqrt[3]{\text{tryck} \cdot 1,8} = 43,5$$

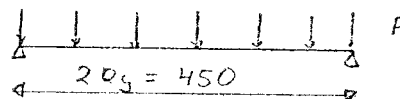
vilket är uppfyllt.

Elastisk analys, lock:

Antag att locket är minst 200 mm tjockt och ligger på en ansats med en utsträckning  $\Delta$  i radiell riktning.



Om vi antar fritt upplagd platta



Enligt ASEA TA 0331-101-3

Maximal påkänning i mitten

$$\sigma_{\max} = 1,25 \frac{PR}{H^2} = 1,25 \cdot 10 \cdot \left(\frac{225}{200}\right)^2 = 15,8 < \sigma_{\text{ber}} = 54$$

Vemna handling för ej utan vårt medgivande kopieras. Den får ej heller delgivas annan eller eljest obehörigen användas. Överträdelse härav beivras med stöd av gällande lag. ASEA-ATOM  
 This document must not be copied without our written permission, and the contents thereof must not be imparted to a third party nor be used for any unauthorized purpose. Controvention will be prosecuted. ASEA-ATOM

Maximal nedböjning på mitten

$$S_{\max} = 0,7 \frac{PR_y^4}{EW^3} = \frac{0,7 \cdot 10 \cdot 225^4}{1,18 \cdot 10^5 \cdot 200^3} = 0,02 \text{ mm}$$

Vi jämför nu denna deformation med deformationen mitt på cylindern.

$$S_{\text{cyl}} = \frac{P (Ytterradie)^2}{E (tjocklek)} (1 - U/2) = \frac{10 (770)^2 \cdot 0,85}{4 \cdot 1,18 \cdot 10^5 \cdot 200} = 0,05 \text{ mm}$$

Detta innebär att eventuella kaviteter i cylinderns innehåll pressas ihop pga att cylindern deformeras och i mindre grad pga att locket på cylindern deformeras.

Om svetsen i locket enbart skulle bära trycket blir skjivspänningen i densamma.

$$\tau = \frac{P \cdot \pi \cdot R_y^2}{2\pi \cdot R_y \cdot S} = \frac{P \cdot R_y}{2 S} = \frac{10 \cdot 225}{2 \cdot 70} = 16,1 < \frac{\sigma_{\text{ber}} \cdot 0,6}{1,5} = 21,6 \text{ N/mm}^2$$

Svetsen har således själv tillräcklig hållfasthet för att motstå det yttre trycket. Dessutom har locket infästas så att det ligger på en hylla, som hjälper svetsen att bära upp den yttre kraften. Av deformationsciffrorna ovan framgår dock, att varken svets eller hylla kommer att utsättas för några större påkänningar, ty kapselcylinderns deformation trycker ihop blyet så att vi får anliggning mellan bly och lock.

Analys av krypdeformationer:

Vid konstruktionstemperaturen 100°C kryper koppar. Detta innebär att om vi har kaviteter inuti kapseln kommer kapseln med tiden att tryckas ihop av det yttre trycket och blyet inuti kapseln kommer att fylla upp eventuella kaviteter. Som vi ser av den elastiska analysen är den cylindriska manteln den vekare delen. Vi antar därför för enkelhetens skull, att enbart den kommer att tryckas ihop. Som konstruktionsförutsättning antar vi att kaviteterna upptar 2% av totala volymen av kopparkapseln, vilket kan betraktas som ett mycket konservativt värde. Den del av cylindern som trycks ihop likformigt är



$$\begin{aligned}
 & 4700 - 2 \cdot 200 - 2 \text{ (störningslängd invid gavlär)} = \\
 & = 4700 - 2 \cdot 200 - 2 \cdot 2,4 \sqrt{(\text{ytterradie})(\text{vägg tjockl})} \\
 & = 4300 - 2 \cdot 2,4 \sqrt{\frac{770}{2}} \cdot 200 \approx 3000 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 2 \% \text{ av total vol} & = 0,02 \cdot \pi \left(\frac{770}{2}\right)^2 \cdot 4700 = \\
 & = 4,38 \cdot 10^7 \text{ mm}^3
 \end{aligned}$$

Radiell deformation för att fylla upp kaviteter

$$\delta = \frac{4,38 \cdot 10^7}{3000 \cdot 370} = 12,55 \text{ mm}$$

Största töjningen fås vid anslutningen mellan lock och cylindrisk mantel.

Om vi räknar rent elastiskt får vi en maximal töjning

$$\epsilon_{\text{max böj}} = 1,82 \frac{\delta}{R_L} = 1,82 \cdot \frac{12,55}{270} \cdot 2 = 12,3 \%$$

Vi har här antagit att det som styr krypning är deformation av cylindern då inverkan av gavlarna försummas och att deformationen invid gavlarna är proportionell mot den elastiska deformationen vid en viss kompression av cylindern. Den maximala töjningen blir något underskattad härvid, men med tanke på att brotttöjningen är

$$\delta \approx 45\%$$

är risken för brott försumbar.

3  
TILLVERKNING

3.1  
Tillverkningsgång, allmänt

3.1.1  
Allmänna krav

Tillverkningen av kapseln skall utföras på ett sådant sätt att kapseln efter färdigställning har en tillräckligt finkornig struktur (kornstorlek < ca 200 µm) för att möjliggöra en meningsfull ultraljudskontroll. Tillverkningen måste dessutom med acceptabel repeterbarhet kunna garantera frihet från sprickor och sprickliknande inhomogeniteter över en viss bestämd storlek i färdig kapsel.

3.1.2  
Tillgänglig kapacitet

Inom kopparindustrin hanteras idag inte så stora ämnesvikter som krävs för den föreslagna kapseln, eftersom inget sådant behov hittills har förelegat. Syrefri koppar i kvalitet SIS 5011 finns emellertid tillgänglig från ett flertal leverantörer i olika länder, bl a Outokumpu OY, Finland och American Metal Climax Inc. (Amax), USA. Amax gjuter idag ämnen i storlekar upp till 305 mm i diameter och 2400 mm i längd. Outokumpu har en ugnskapacitet som medger gjutning av ca 4 ton/tim. För att idag kunna hantera större smältor för gjutning av ämnen med vikter upp mot 20 ton krävs därför en utbyggd kapacitet hos tillverkarna av syrefri koppar. Inga tekniska hinder för en sådan utbyggnad kan dock förutses, eftersom inte någon ny teknik erfordras jämfört med vad som redan förekommer inom den metallurgiska industrin. På stålsidan finns utrustning för framställning och hantering av betydligt större vikter än 20 ton.

3.1.3  
Alternativa tillverkningsförfaranden

Kapseln kan tänkas tillverkas på ett flertal olika sätt. De mest intressanta alternativen anges nedan i fallande rangordning i vad avser teknisk mognad för respektive process.

- a) Statisk gjutning av massivt ämne följt av smidning, hålning och rensvarvning.
- b) Centrifugal gjutning av hålrat ämne följt av smidning och rensvarvning.
- c) Halvkontinuerlig gjutning av massivt ämne följt av smidning, hålning och rensvarvning.

denna handling tor ej utan värt medgivande kopieras. Den får ej heller delges annan eller eljest obehörigen användas. Övertiödelte härav beivras med stöd av gällande lag. ASEA-ATOM  
 This document must not be copied without our written permission, and the contents thereof must not be imparted to a third party nor be used for any unauthorized purpose. Contravention will be prosecuted. ASEA-ATOM

- d) Gjutning av massivt ämne genom ESR-omsmältning (ESR = Electro-Slag-Remelting) följt av smidning, hålning och rensvarvning.
- e) Direktextrudering av massivt eller hålrat gjutet ämne till cylinderform med fast botten.
- f) Omvänd extrudering av massivt eller hålrat gjutet ämne till cylinderform med fast botten.
- g) Uppbyggnad av ett tjockväggigt rör genom elektrodeposition, dvs utfällning av koppar på ett konventionellt tillverkat kopparrör.

Det mest tillgängliga förfarandet med hänsyn till dagens teknik och som kräver minsta uppskalning och metodutveckling är förfarandet enligt a), dvs statisk gjutning följt av smidning, hålning och svarvning.

Centrifugal gjutning är en välkänd teknik som tillämpats för tillverkning av hålade ämnen i kopparlegeringar och andra legeringar (främst järnbaslegeringar) i större diametrar än den föreslagna kapseln. Vissa problem kan dock föreligga med att uppnå en finkornig struktur om utgångsämnet är hålrat, eftersom det kan vara svårt att uppnå en tillräcklig bearbetningsgrad i ämnets samtliga delar vid smidningen.

Halvkontinuerlig gjutning används idag för tillverkning av kopparämnen med tvärsnitt upp till ca 700 x 200 mm. För den aktuella tillämpningen krävs därför en uppskalning och sannolikt också en viss utveckling.

ESR-metoden finns för närvarande inte utvecklad för ren koppar. Metoden är dock intressant för tillverkning av kopparkapslar, eftersom stora möjligheter finns att styra stelningsförloppet.

Beträffande extruderingsmetoderna kan sägas att presskrafter och pressar finns tillgängliga, men att erforderliga längder på presscylinder och dorn vid omvänd extrudering blir alltför stora vid jämförelse med befintlig teknik. Vid båda förfarandena finns dessutom risk att inte tillräcklig bearbetningsgrad kan uppnås för att garantera finkornig struktur och då speciellt i kapselns bottenparti. En särskild efterföljande smidesoperation kan därför behöva införas.

Denna handling får ej utan vårt medgivande kopieras. Den får ej heller delgivas annan eller eljest obehörigen användas. Överförädlade härov be-lävs med förbehåll av gällande lag. ASEA-ATOM  
 This document must not be copied without our written permission, and the contents thereof must not be imparted to a third party nor be used for any unauthorized purpose. Contravention will be prosecuted. ASEA-ATOM

Elektrodeposition är långt ifrån utvecklad för tjocklekar på 200 mm. Idag har max 20 mm godstjocklek tillverkats.

3.1.4

Val av tillverkningsgång

Med befintlig teknik inom den metallurgiska industrin förutsätts att kapseln efter uppbyggnad av lämpliga resurser tillverkas genom smidning av ett statistiskt gjutet ämne som sedan hålas och rensvarvas.

3.2

Gjutning

Gjutningen av kapselämnet skall utföras på så sätt att mängden inhomogeniteter (porer, sughåligheter, sprickor etc) i godset minimeras. Detta kan åstadkommas genom utveckling av lämplig form av styrning av stelningsförloppet. Vid statistisk gjutning (dvs gjutning av ett kapselämne i taget i exempelvis en kokill) kan stelandet styras genom att kokillens botten görs vattenkyld medan väggarna isoleras. På detta sätt kan stelandet fås att fortskrida från botten av kokillen mot toppen, varigenom den innestängda pormängden minimeras och sughåligheter liksom en eventuell svaghetszon i centrum av ämnet undviks. Genom att kokillen vattenkyls i botten väntas gjutstrukturen i ämnets botten bli tämligen finkornig och få hög kvalitet med liten risk för defekter. Detta parti av ämnet används lämpligen som bottendel i den färdiga kapseln.

Framställning av syrefri koppar, som inte är desoxiderad t ex med fosfor, innebär att smältan efter det att syret reducerats bort också i fortsättningen effektivt måste skyddas från kontakt med luft. Smält koppar har nämligen mycket hög affinitet till syre, varför kvalitetsnivån lätt kan äventyras om skyddet är otillräckligt. Den syrefria koppar-kvaliteten SIS 5011 innehåller mindre än 10 ppm syre i löst form. Som jämförelse kan nämnas att den syrehaltiga kvaliteten SIS 5010 har en syrehalt på 0,02 - 0,06% (200-600 ppm). Framställningen av SIS 5011-koppar sker genom smältning av elektrolytkoppar antingen i en induktionsugn under kolbädd, dvs kraftigt reducerande förhållanden, eller i vakuumugn ( $10^{-2}$  -  $10^{-3}$  torr). I det senare fallet underlättas reduktionen av syre om kolpulver även här införs ovanpå smältbadet.

Efter smältreduktionen måste smältan skyddas effektivt från föroreningar fram till och med den efterföljande gjutningen. Tekniken för detta finns redan tillgänglig inom kopparindustrin fast för mindre ämnesvikter än vad som här är aktuellt.

Uemna nemanng ter ej utan vert meagvande kopieras. Den får ej heller delgivas annan eller eljest behövörigen användas. Överträdelse härav beivras med stöd av gällande lag. ASEA-ATOM  
This document must not be copied without our written permission, and the contents thereof must not be imparted to a third party nor be used for any unauthorized purpose. Controvention will be prosecuted. ASEA-ATOM

Om emellertid erfarenheterna från stålindustrin tillämpas kan redan idag utrustning anskaffas för statisk gjutning i skyddsgas eller i vakuum. I det senare fallet kombineras smältningen och gjutningen så att båda operationerna utförs i samma ugnsenhet. Vakuumugnar med denna möjlighet finns byggda med en kapacitet på 55 ton för smältning och gjutning av superlegeringar. Beträffande skyddsgasutrustningar bedömer Outokumpu OY att den nödvändiga uppskalningen endast är en investeringsfråga, dvs anskaffning av ny utrustning.

### 3.3 Smidning

För att åstadkomma den finkorniga struktur som är nödvändig ( $< 0,1 - 0,2$  mm) ur bl a ultraljud-kontrollsynpunkt måste den mer eller mindre grova gjutstrukturen brytas ned helt. Detta kan endast ske genom plastisk bearbetning följt av rekristallisation. Den kornstorlek som erhålls efter rekristallisation bestäms av den föregående deformationsgraden. Ju högre deformationsgrad desto finare kornstorlek. Grovt sett bör kopparmaterialet deformerar med minst 50% areareduktion för att en tillräckligt finkornig struktur skall erhållas. Samtidigt leder bearbetningen till ett tätt gods genom att kvarvarande icke oxiderade porer och sprickor från gjutningen elimineras.

Den plastiska bearbetningen kan utföras genom smidning i varmt eller kallt tillstånd. Efter en inledande lätt smidning kan reduktionsgraden öka successivt. Den sista bearbetningen måste utföras med tillräckligt hög reduktionsgrad för att ge den önskade kornstorleken. Vid kallbearbetning måste mellanglödningar vid lämplig temperatur läggas in i tillverkningsgången. Lämpligen utförs dessa glödningar i skyddsgas för att undvika onödig oxidation, eftersom värmebehandlingstiderna blir mycket långa. Vid varmbearbetning väljs en relativt låg smidstemperatur för att undvika korntillväxt efter rekristallisationen. En viss oxidation av ytan kommer emellertid att ske vid varmbearbetningen, men den oxiderade zonen kan avlägsnas vid den slutliga rensvarvningen av kapseln.

Uppvärmningen till smidstemperatur och svalningen efter smidning utförs även här lämpligen i skyddsgas för att begränsa den oxiderade zonens djup.

För den exakta smidningsmetodikerna finns flera alternativa vägar och slutligt val av metod utförs först i samband med detaljplanering av bearbetningsprocessen.

Inom kopparindustrin krävs nyinvestering i utrustning men smidningen kan också göras med befintlig utrustning inom järn- och stålindustrin. Den press- och hanteringsutrustning som finns tillgänglig inom stålindustrin medger stor frihetsgrad vid fastställning av ett lämpligt smidesschema. Cylinderkroppar med diametrar upp till 2000 mm och vikter över 80 ton kan utan problem räcksmidas inom stålindustrin till önskad diameter. Verktygen torde kunna utformas så att hela tvärsnittet genombearbetas på en gång vid varje presslag (koniska omslutande verktyg). Med räcksmidning menas en bearbetning där diametern minskar och längden ökar. Om räcksmidning inte skulle vara tillräcklig kan en inledande stukning av ämnet utföras. Detta för att öka utsikterna för genombearbetning av hela bottenpartiet och därmed också för ett tätt material. Stuksmidpressar med gap på 4000 mm och med hanteringsutrustning för varma 50-tons ämnen finns tillgängliga. Med stuksmidning menas en bearbetning som minskar ämnets höjd (längd) och ökar dess diameter. För att kunna uppnå tillräcklig genombearbetning kan således både stuk- och räcksmidning behöva kombineras.

### 3.4

#### Maskinbearbetning

Utgångsämnet består av gjuten och smidd kuts. Ämnet är i utgångsläget en solid (ohålad) cylinder med de approximativa måtten diameter 800 och längd 4700 mm.

Ämnet skall borraras/uppborras till  $\emptyset 370 \pm 1$  till håldjup ca 4500 mm (bottenhål). Hålet skall i den öppna änden upparbetas för tre cylindriska lock, de två yttersta vardera 70 mm tjocka och det inre ca 200 mm tjockt, diametertolerans för hål och lock  $\pm 0,1$  mm.

Kapselns yttre mantelyta bearbetas till  $\emptyset 770 \pm 1$  över ca 4300 mm längd, resterande  $\sim \emptyset 800 \pm 1$  och gavlarna plansvarvas.

Utvändig bearbetning:

Den utvändiga bearbetningen göres först i en stor supportsvärv, varvid den "slutna gaveln" måste ha centrerborrats för att passa stödjande dubb i svarvens dubbdocka. Gaveln kan sedan plansvarvas ned till i närheten av centrerbörningen såg ca  $\varnothing$  100 mm. (Ämnet måste från början ha sådan längd att den återstående centrerbörade tappan kan kapas bort i en senare operation efterlämnande en helt plan gavelyta.)

Kapselns andra ände är fastspänd i en kraftig chuck och sannolikt får stödlager användas. Mantelytan svarvas  $\varnothing$  770  $\pm$ 1 och ev  $\sim\varnothing$  800  $\pm$ 1 fram till chuckbackarna. Kapseln vändes därefter och lägges i stödlager ( $\varnothing$  770  $\pm$ 1) och den tidigare planade gaveln inspännes i ovannämnda chuck.

Den osvarvade gaveln plansvarvas och resten av mantelytan  $\varnothing$  800  $\pm$ 1 svarvas.

Därefter sker eventuell bearbetning av styrytor för håltagningsoperationen som (enligt nedan) måste utföras i specialmaskin.

Ovanstående operationer kan genomföras med användande av svarvverktyg i hårdmetall och skärhastigheter av 100-150 m/min och matning 0,4-0,5 mm/varv. Man bör för säkerhets skull räkna med 3 översvarvningar av mantelytan  $\varnothing$  770  $\pm$ 1 och totalt ca 8 plansvarvningar av gavlarna (obs! dubbcentrum i ena gaveln). För  $\varnothing$  800  $\pm$ 1 räknas med 2 översvarvningar.

Hålbearbetning:

Kontakter togs med Sandvik Coromant som ansåg att hålbearbetningen bör kunna göras med T-max långhålsborrar och att Motala Verkstad som har en speciell långhålsborrmaskin för propelleraxlar borde yttra sig om arbetsuppgiften.

Motala Verkstad kontaktades och återkom inom några dagar med telefonbesked. Hålbearbetningen av nämnda arbetsstycke betraktas som realistisk i befintlig specialmaskin byggd av Rheinstahl Wagner 1967.

Denna maskin är utrustad för borrning av upp till i varje fall ca 25 m långa propelleraxlar. De håldiametrar man därvid borrar ligger i samma storleksområde som de här önskade.

Detta handling ut ej utan vår medgivande kopieras. Den tar ej heller delgivas annan eller ejest obehörigen användas. Överträdelse härav beivras med stöd av gällande lag. ASEA-ATOM  
 This document must not be copied without our written permission, and the contents thereof must not be imparted to a third party nor be used for any unauthorized purpose. Contravention will be prosecuted. ASEA-ATOM

Sammanfattningsvis säger oss hittillsvarande kontakter med Sandvik Coromant och Motala Verkstad följande:

- Den ca 4500 mm djupa borrhningen och uppborrningen av  $\varnothing$  370  $\pm$ 1 kan ske inom 1 mm centrumavvikelse över hela hållängden.
- Man bör räkna med en håltagningsoperation med T-max långhålsborr av ca  $\varnothing$  250 mm. Därefter följer en uppborrning med T-max uppborrningsverktyg till  $\sim\varnothing$  340-345 följt av en uppborrning till  $\varnothing$  370  $\pm$ 1, således totalt 3 st hålverktyg.
- Skärdata: skärhastighet  $v = 80-100$  m/min  
matning 0,2-0,25 mm/varv
- Ytbeskaffenhet: ytjämnheten kommer sannolikt att bli i området Ra 5-10  $\mu$ m. (Riktvärde Ra 6,3.)
- Eftersom de för bearbetningen aktuella skärvätskorna innehåller svavelföreningar som underlättar bearbetningen, reagerar en del av svavlet kemiskt med kopparn och bildar koppar-sulfid, varvid ytskiktet missfärgas. (Svartblå nyanser.) Detta skikt måste sannolikt avlägsnas i någon följdoperation.
- Spetsvinkeln för T-max borr och uppborrningsverktygen är  $\sim 150^\circ$  med en centrumdel av  $\sim\varnothing$  80 med en spegelvändning av borrarspetsen också med spetsvinkeln  $150^\circ$ .
- Uppsvarvningen av de tre diametrarna för locken med tolerans  $\pm 0,1$  mm på diametern bör efter långhålsborrningen kunna ske i ovannämnda kraftiga supportsvarv, varvid kapseln återigen inspännes i chuck och vilar i stödlager. En alternativ möjlighet är eventuell fortsättning med uppborrningsverktyg i specialmaskinen direkt efter ovannämnda hålbearbetning.

Sammanfattning:

Det är realistiskt att bearbeta den aktuella kapseln komplett genom svarvning och borrhning.

Motala Verkstad torde med redan nu tillgänglig utrustning kunna svara för komplett bearbetning.



## 3.5

## Inplacering av bränsle och blyfyllning

I en inkapslingsstation placeras det använda kärnbränslet i kopparkapseln. Den närmare beskrivningen av denna process återfinns i KBS tekniska rapport 39, Konstruktionsstudier, direktdeponering. Här nedan görs en kortfattad beskrivning av processen.

I inkapslingsstationen lyfts kopparkapslarna från sitt förråd via en intransportsluss till den ena av två identiska processbanor belägna i strålskärnade celler. Kapseln placeras på en transportvagn. Bränslestavarna står i ett kopparställ, som sänks ner i kopparkapseln. Stället innehåller ca 1,4 ton uran från BWR eller ca 1,1 ton uran från PWR.

Transportvagnen flyttar kapseln till en ugn, där uppvärmning och blyfyllning äger rum.

Uppvärmningen sker för att blyet skall kunna tränga in i och fylla ut hela kapselns inre volym och därmed utgöra det mothåll mot yttre tryck som kapseln kan utsättas för efter längre tids deponering i berget. Temperaturen höjs därför till ca 380-400°C, som ligger väl ovanför blyets smältpunkt (327°C) och där blyet har en god flytförmåga. Uppvärmningen tar ca 2 dygn och man har då delvis hjälp av den i bränslet utvecklade resteffekten.

Då kapseln fått rätt temperatur, pumpas blyet in. Utformningen hos kopparstället är sådan att blyet leds in i ett centrumsrör till kopparkapselns botten och därifrån får stiga utefter bränslestavarna. Förfarandet kallas stiggjutning och ger en god utfyllnad utan inneslutna håligheter.

Uppvärmningen och blygjutningen sker under vakuum för att inte bly och koppar skall oxideras. Kylförloppet utförs med kvävgas som medium i ugnen.

Under kylförloppet och framför allt vid blyets stelning krymper blyet. Temperaturfördelningen under kylningen styrs därför så att volymminskningen kompenseras med bly från det överskott som finns i kapselns övre del. Vid stelningen påfylls dessutom nytt smält bly utifrån.

Blyfyllning och kylförlopp tar ca 2 dygn. Kapselns temperatur har då nått ca 150°C. Den flyttas från ugnen och förs av transportvagnen till en annan cell, där den under ett par dygn får svalna till ca 80°C, uppställd i normal atmosfär.

Eftersom kopparns kornstorlek är viktig för ultraljudkontrollen efter svetsningen av locken, har man undersökt hur uppvärmningen påverkar kornstorleken. Det visar sig att under den relativt korta tid som kapseln befinner sig vid 380-400°C är tillväxten av kornstorleken så liten att kontrollmöjligheten inte påverkas.

Överskottet av bly i kapseln bearbetas nu bort genom svarvning. Samtidigt avlägsnas centrumrörets uppskjutande del.

Vid bearbetningen friläggs de ytor mot vilka locken skall svetsas. Dessa ytor finsvarvas till rätt mått och ytfinhet.

Det undre, tjockare locket skall dels ligga mot en avsats i kopparcylindern, dels ligga an mot blyytan för att håligheter i den inre volymen skall undvikas. Därför svarvas bly- och kopparytan i botten plan.

Kapseln lyfts därefter till en transportvagn som för den till svets- och kontrollpositioner.

Locken har en cylindrisk form för att de skall sjunka ned till anläggningen mot sin botten i kapseln. Elektronstrålesvetsningen kräver att spalten vid fogen är liten. För att locken skall kunna läggas in på sin plats måste de kylas. Kylningen medför att locken krymper och man får då erforderligt spelrum för att lägga locken på plats.

I underkanten på varje lock läggs en heliumläcka för läcksökning av svetsen.

Svetsproceduren tillgår så att kapseln med ett ilagt lock placeras i utrustningen för elektronstrålesvetsning. Efter vakuumpumpning svetsas locket och kapseln flyttas till en kontrollposition, där läcksökning och ultraljudkontroll sker.

Kapseln förses med ett nytt lock och flyttas tillbaka till svetspositionen och samma procedur upprepas tills alla tre locken är svetsade och kontrollerade.

Transportvagnen för därefter den färdigbehandlade kapseln till slutbesiktning och slutdeponering.

Denne handling får ej utan vårt medgivande kopieras. Den får ej heller delgivas annan eller eljest obehörigen användas. Övertradelse härav beivras med stöd av gällande lag. **ASEA-ATOM**  
 This document must not be copied without our written permission, and the contents thereof must not be imparted to a third party nor be used for any unauthorized purpose. Contention will be prosecuted. **ASEA-ATOM**

3.6

Locksvetsning

Svetsningen utföres med elektronstrålesvetsning i vakuumkammare. Metodens speciella egenskaper med hög energikoncentration, liten svetsbredd och stort svetsdjup möjliggör svetsning av grova godstjocklekar. Svetsförloppet kan programmeras och kontrolleras med stor noggrannhet, vilket gör att metoden lätt kan anpassas till massproduktion.

Fogutformningen utformas lämpligen som I-fog med spalt  $\leq 0,1$  mm.

Svetsning av koppar har i Sverige endast utförts i mindre omfattning. Materialets goda värmeledningsförmåga kräver avsevärt större värmeenergimängd än vid svetsning av stål.

Enligt uppgift från Leybold-Heraeus har emellertid svetsning av 65 mm tjock koppar framgångsrikt utförts med 25 kW effekt och svetshastighet 160 mm/min.

N O Wiebe vid Sciaky Scandia AB, som är återförsäljare för Sciaky i Frankrike, meddelade att dessa utfört svetsning av 50 mm tjock koppar med en 30 kW elektronkanon. Företaget utprovar nu en 100 kW elektronkanon och meddelar att avsevärt större godstjocklekar i koppar kommer att kunna svetsas.

På Welding Institute har man svetsat koppar med 100 mm tjocklek i en 75 kW elektronkanon.

I Sverige finns 10-15 produktionssvetsutrustningar, som i huvudsak används för svetsning av stål, aluminium, titan och nickellegeringar. Tre svetsmaskiner med effekten 30 kW finns placerade i Finspång, Trollhättan och Arboga.

Elektronstrålesvetsning av koppar med godstjocklek större än 65 mm bedöms sammanfattningsvis på basis av inhämtad information vara genomförbart med de senare utvecklade elektronkanonerna med effekten 60-100 kW.

3.7

Icke-förstörande provning

Kopparkapseln provas medelst oförstörande provning och denna indelas i följande provningsmoment:

1. Provning av materialet i kapseln med avseende på inre diskontinuiteter.
2. Provning av lockinsvetsning (elektronstrålesvets) med avseende på diskontinuiteter i svetsförbandet.
3. Läcksökning med avseende på svetsförbandets täthet.

Denna handling får ej utan vårt medgivande kopieras. Den får ej heller delgivas annan eller eljest obehörigen användas. Överrättelse härav beivras med stöd av gällande lag. **ASEA-ATOM**  
 This document must not be copied without our written permission, and the contents thereof must not be imparted to a third party nor be used for any unauthorized purpose. Contention will be prosecuted. **ASEA-ATOM**

Provning av kapsel:

Materialet i kapseln provas med ultraljud. Avsökningen utförs med kapseln nedsänkt i vatten, dvs medelst immersionsteknik, se figur 3.

Materialets struktur (bl a kornstorlek och kornorientering) kan påverka provningsmöjligheterna och felskönjbarheten. En felskönjbarhet av  $\emptyset$  3-4 mm, plan reflektor bör dock kunna uppnås.

Provning av lockinsvetsning:

Efter varje lockinsvetsning provas elektronstråle-svetsen med ultraljud. Avsökningen utförs här som kontaktavsökning med normal sökare (lodrät infall), se figur 4.

Materialstrukturen är även här avgörande för detekterbarhet, en felskönjbarhet av  $\emptyset$  3-4 mm plan reflektor bör dock kunna uppnås.

Läcksökning:

Efter varje lockinsvetsning provas svetsförbandets täthet medelst en spårgasläcksökning.

- a) Inplacering av heliumläcka (läckdosa) innehållande en viss till volymen anpassad heliummängd och med viss läckhastighet.
- b) Anordning för åstadkommande av tryckdifferens för detektering av eventuellt läckage.
- c) Mätning av läckage med masspektrometer, se figur 5.

Allmänt:

Ultraljudprovning är en vanlig använd provningsmetod och den metodik som här anges är väl känd. Koppar smidd eller valsad kan vid större godstjocklek erhålla en struktur som försvårar utförandet av ultraljudprovningen. Svårigheterna orsakas i huvudsak av en alltför stor kornstorlek. Genom en sänkning av ultraljudsökarens frekvens kan man komma förbi detta problem dock med en något minskad felskönjbarhet. Kopparkapselns material bör dock kunna provas med acceptabel felskönjbarhet genom att framställningsmetodiken inriktas på uppnående av en finkornig struktur.

Denna handling får ej utan vårt medgivande kopieras. Den får ej heller delgivas annan eller eljest obehörigen användas. Överträdelse härav beivras med stöd av gällande lag. **ASEA-ATOM**  
 This document must not be copied without our written permission, and the contents thereof must not be imparted to a third party nor be used for any unauthorized purpose. Contravention will be prosecuted. **ASEA-ATOM**

När det gäller vanliga smältsvetsförband i koppar betraktas dessa som ej provbara med ultraljud. Orsak härför är svetsmaterialets för ultraljud ogynnsamma struktur. För elektronstrålsvets gäller ej dessa synpunkter, utan här är det i huvudsak grundmaterialet som begränsar detekterbarheten och begränsar felskönjbarheten. I de aktuella fallet kan svetsförbandet provas med longitudinella vågor (normalsökare) vilket är en fördel.

Läcksökning med masspektrometer och helium som spårgas är en känd provningsmetod. Annan spårgas än helium kan användas. När det gäller läcksökning kan för det aktuella fallet ett flertal olika provningsmetoder tillämpas.

denna nämning tor ej utan vårt medgivande kopieras. Den får ej heller delgivas annan eller eljest obehörigen användas. Övertiödelse härov beivras med stöd av gällande lag. **ASEA-ATOM**  
 This document must not be copied without our written permission, and the contents thereof must not be imparted to a third party nor be used for any unauthorized purpose. Contravention will be prosecuted. **ASEA-ATOM**

Fig. 1

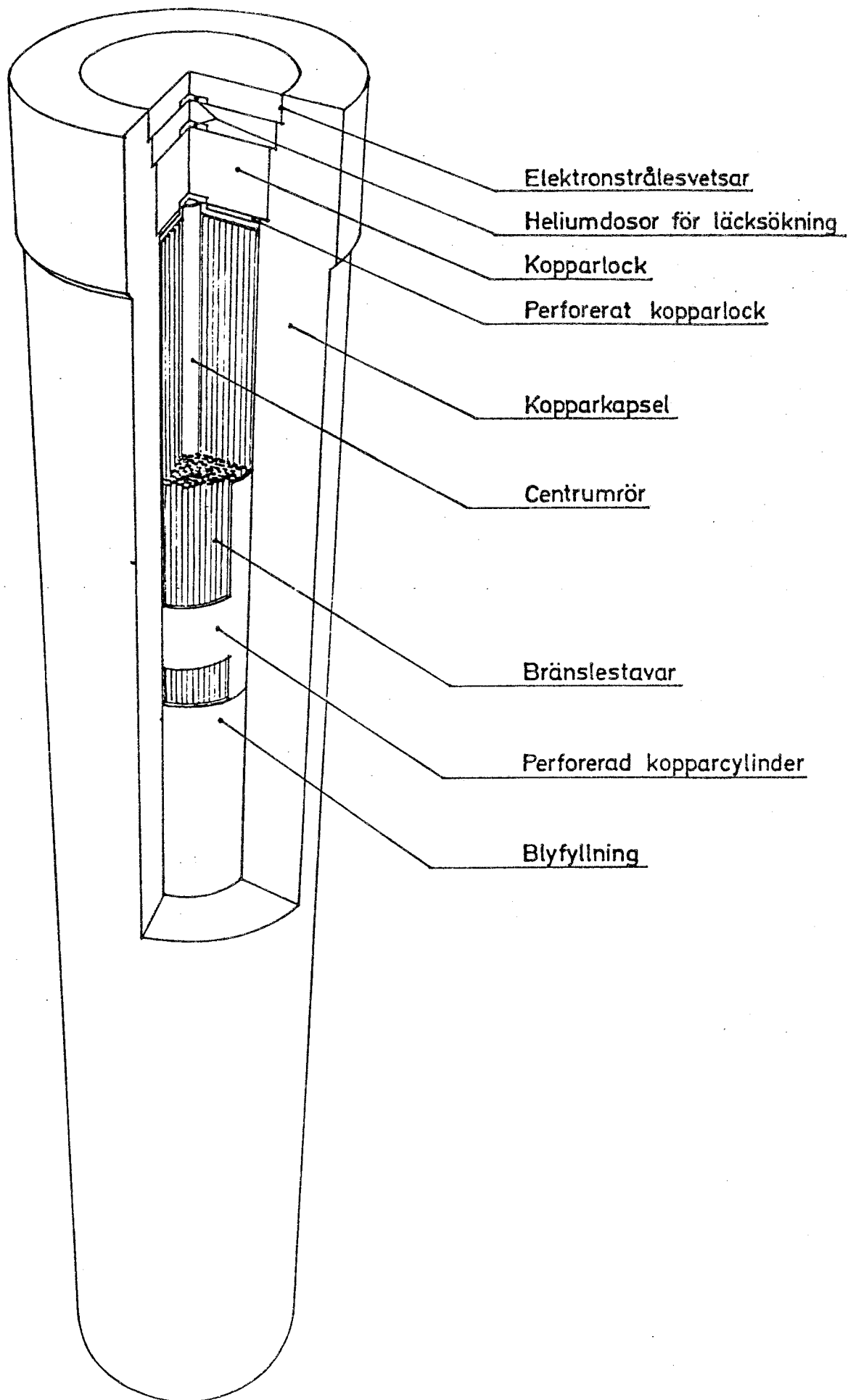
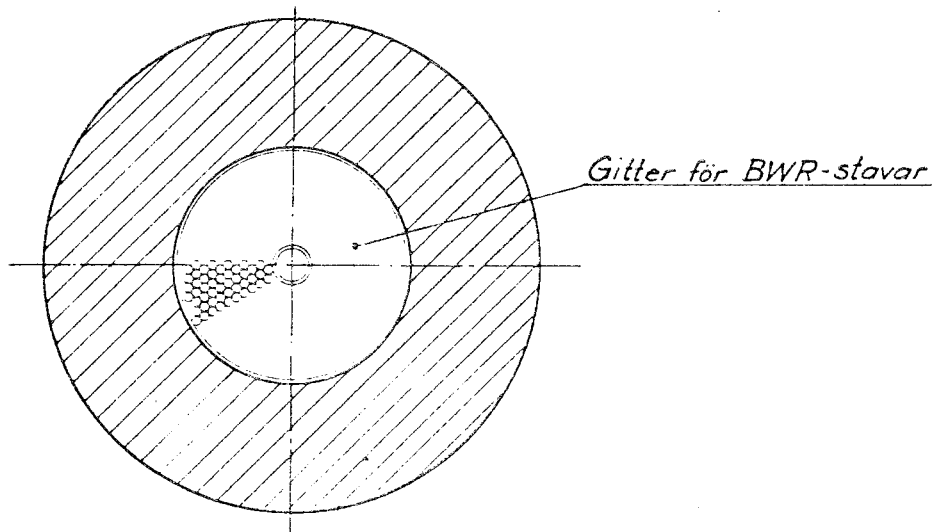
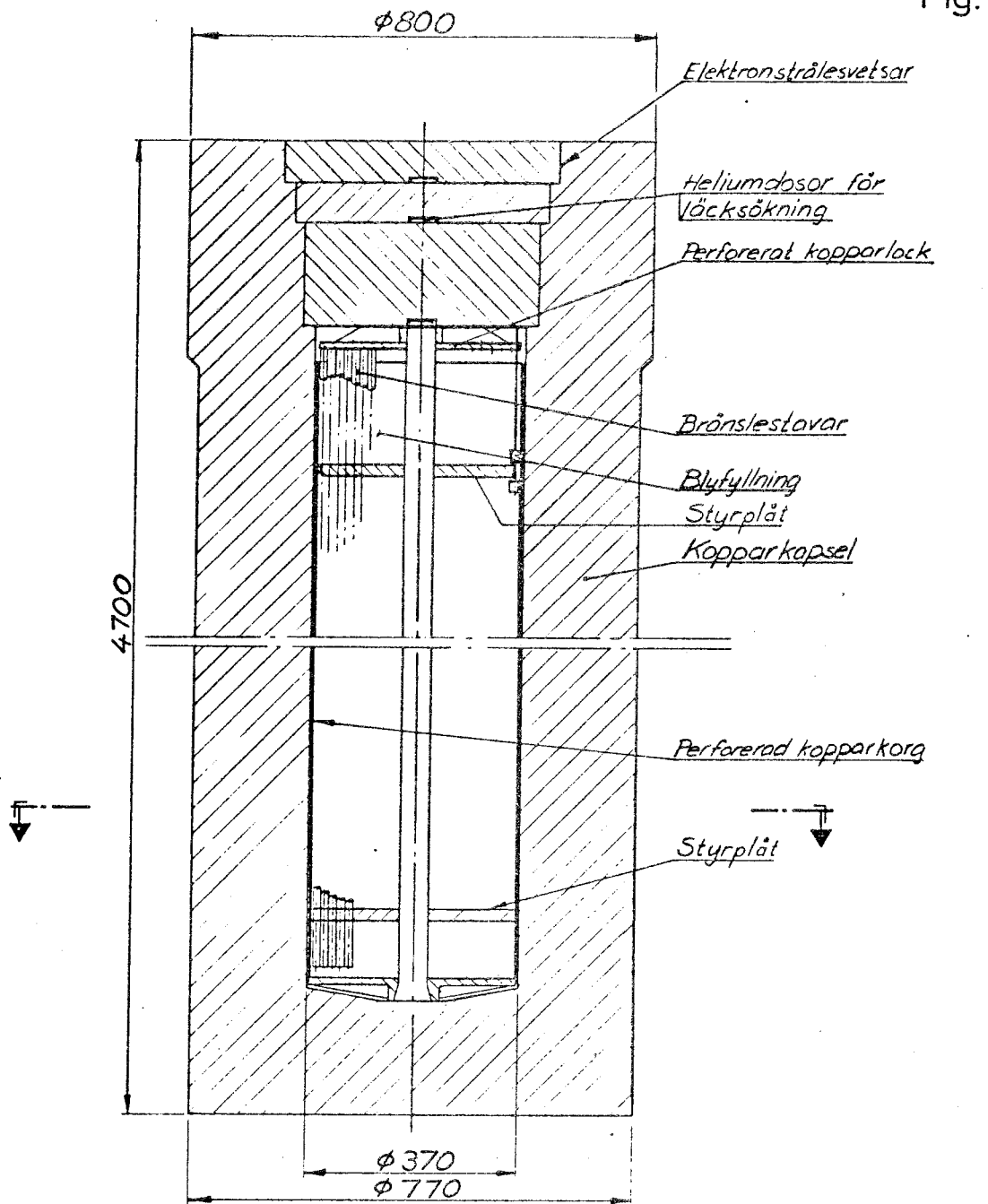


Fig. 2



Färdig kapsel

Ultraljudprovning av kapsel  
(Immersionsteknik)

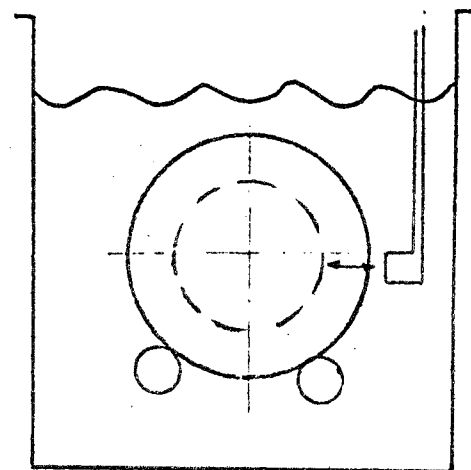
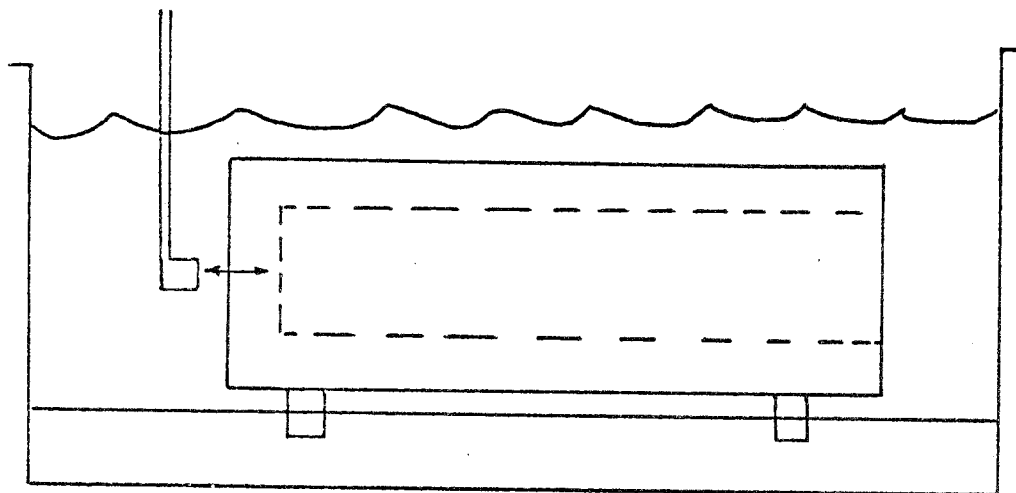
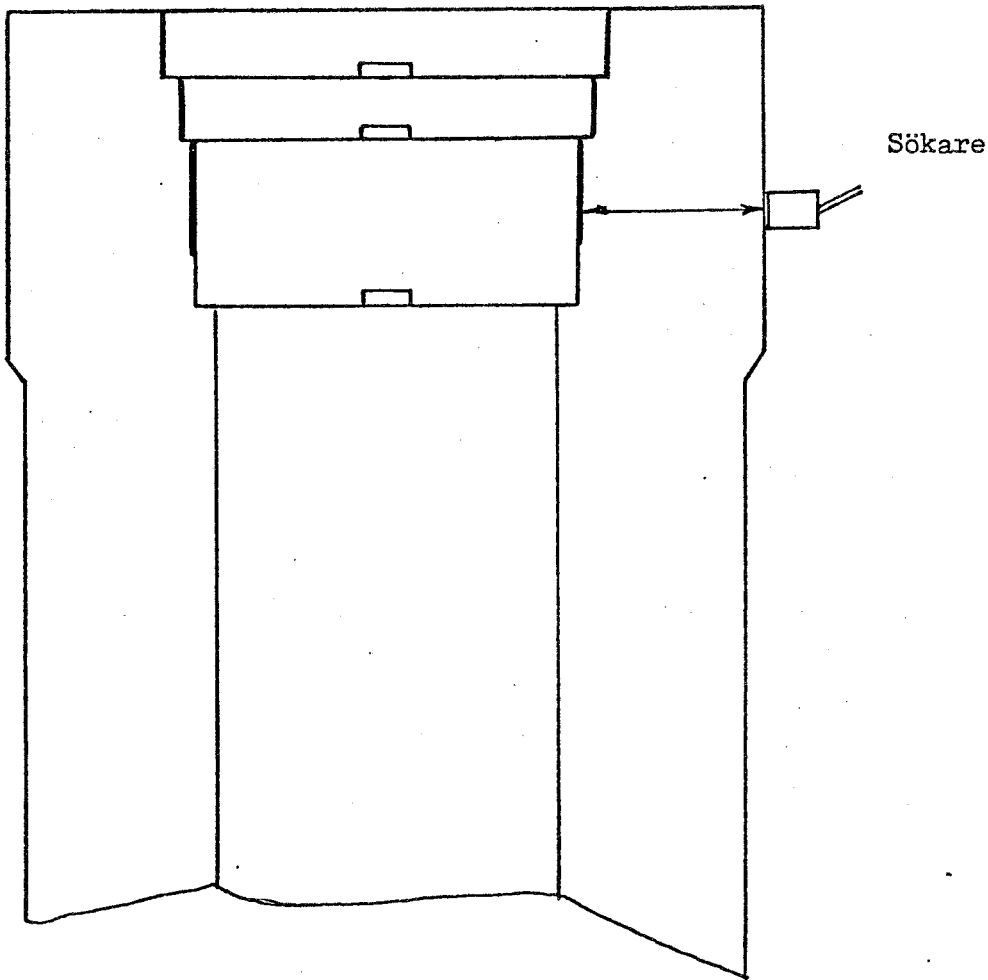


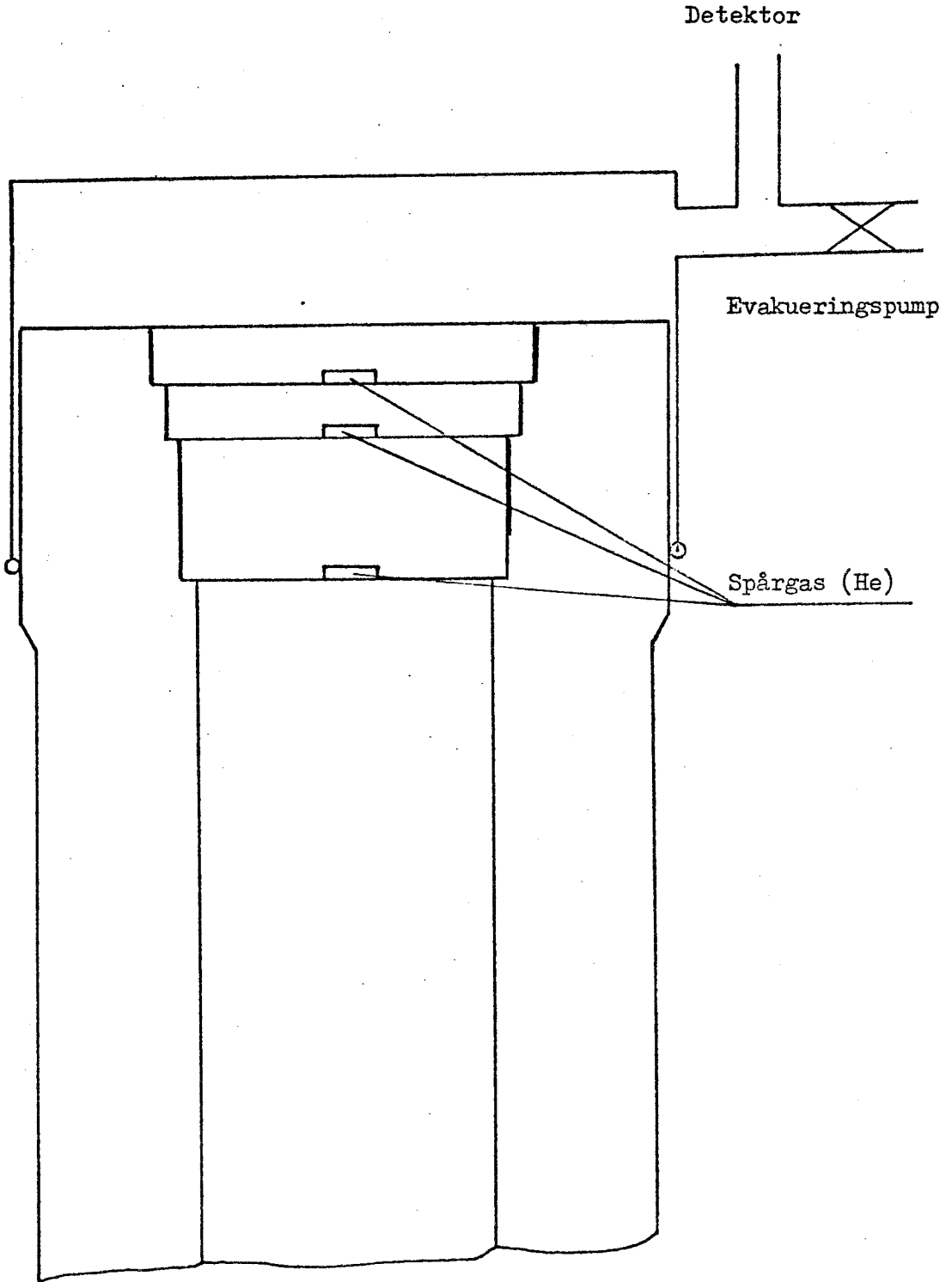
Fig. 3



Ultraljudprovning av lockinsvetsning



Läcksökning av svetsförbandet



4

KVALITETSSTYRNING

För att tillgodose kraven på säkerhet och drift-tillgänglighet samt för att den slutliga förvaringen skall bli betryggande fordras att kvaliteten hos anläggning och produkter har tillräckligt hög nivå. Härför krävs en effektiv kvalitetsövervakning, Quality Assurance, som bl a innebär att alla åtgärder för att uppnå och bibehålla erforderlig kvalitetsnivå skall vara planerade, systematiska och dokumenterade.

Den organisation som kommer att vara huvudman för verksamheten skall också svara för att kontrollverksamhet och kvalitetsövervakning organiseras och utföres på ett tillfredsställande sätt. Utförandet och dokumentationen av olika kvalitetsgaranterande åtgärder baseras på en säkerhetsbedömning och skall godkännas av tillsynsmyndigheten SKI. Ansvaret för sammanställning av både egna och officiella insatser åvilar huvudmannen som också svarar för fortlöpande redovisning till SKI.

Huvudmannen skall, i god tid före byggstart, redovisa till SKI ett program angående organisation och uppgifter för kontrollverksamhet och kvalitetsövervakning. Programmet kompletteras efterhand med instruktioner i nödvändig omfattning. Programmet skall omfatta bl a följande punkter:

- Definition av programmets tillämpning på olika byggnadsdelar och utrustningar.
- Beskrivning av huvudmannens organisation och med honom samarbetande organisationer, med angivande av ansvarsområden och kontaktvägar.
- Föreskrifter för konstruktionsgranskning. Granskningen bör utföras av oberoende instans.
- Upphandlingsföreskrifter med avseende på nödvändiga kvalitetsbestämmelser.
- Kontroll och identifiering av inköpt material.
- Tillverknings- och montagekontroll avpassad till konstruktionens betydelse ur säkerhets- och drifttillgänglighetssynpunkt.

Denna handling får ej utan vårt medgivande kopieras. Den får ej heller delgivas annan eller eljest obehörigen användas. Övertiödelse härav beivras med stöd av gällande lag. **ASEA-ATOM**  
 This document must not be copied without our written permission, and the contents thereof must not be imparted to a third party nor be used for any unauthorized purpose. **ASEA-ATOM**

- Program för återkommande kontroll och besiktning av vissa anläggningsdelar.
- Föreskrifter för drift och underhåll av anläggningen, även omfattande instruktioner för onormala driftfall och händelser.
- Rutiner för rapportering till tillsynsmyndigheten.

En kontrollplan för blyfyllning och kopparkapsel bör innehålla följande punkter:

Blyfyllning:

- Analysbestämning av blyet
- Temperaturkontroll vid fyllning
- Nivåkontroll vid fyllning

Kopparcylinder och lock:

- Analysbestämning av grundmaterial
- Dragprovning av grundmaterial
- Kornstorleksbestämning hos grundmaterialet
- Materialidentifiering
- Dimensionskontroll
- Okulärkontroll av slutlig yta
- Ultraljudprovning av grundmaterial
- Penetrantprovning av slutlig yta
- Tryckprovning av cylinder
- Kontroll av svetsprocedurprov
- Kontroll av svetsutrustning
- Renhetskontroll före svetsning
- Övervakning av svetsarbete
- Ultraljudprovning av svetsar

delgivet anten eller eljest obehörigen användas. Överrödelse härav be-  
 träs med stöd av gällande lag. **ASEA-ATOM**  
 This document must not be copied without our written permission, and the  
 contents thereof must not be imparted to a third party nor be used for  
 any unauthorized purpose. Contravention will be prosecuted. **ASEA-ATOM**

- Penetrantprovning av svetsar
- Täthetsprovning med He
- Märkning och utfärdande av provningsintyg

Vissa av de angivna kontrollmomenten utföres som stickprov, varvid frekvensen bestämmes med hänsyn till sannolikheten för fel.

denna handling är ej uran vort medgivande kopieras. Den får ej heller delgivas annan eller eljest obehörigen användas. Överträdelse härav beivras med stöd av gällande lag. **ASEA-ATOM**  
 This document must not be copied without our written permission, and the contents thereof must not be imparted to a third party nor be used for any unauthorized purpose. Controvention will be prosecuted. **ASEA-ATOM**

## 5

## SAMMANFATTNING OCH SLUTSATSER

Rapporten redogör för framställningsmetodiken för den kopparkapsel KBS-projektet föreslår skall användas för slutförvaring av använt bränsle.

Konstruktion och hållfasthetsmässig dimensionering beskrivs kortfattat.

Ett antal alternativa metoder för framställning av ämne för maskinbearbetning diskuteras och jämförs. Den prefererade metoden är konventionell statisk gjutning och stukning och smidning av götet för ernående av finkornig struktur. För dessa arbetsoperationer bedöms inom stålindustrin tillgängliga utrustningar vara användbara.

Maskinbearbetningen sker genom svarvning och långborrnig av centrumhål och kan genomföras med inom svensk verkstadsindustri befintliga utrustningar.

Icke-förstörande materialprovning kan genomföras med befintlig ultraljudteknik genom att en finkornig struktur används.

Inplacering av bränsle och ingjutning av bly är icke-konventionella förfaranden, som emellertid är baserade på erfarenheter vid bränslehantering och vid blygjutning, inklusive speciellt för ändamålet gjorda gjutförsök.

Påsvetsning av lock sker med elektronstrålesvetsning. De gällande svetsdjupen ligger på gränsen för vad tekniken idag kan åstadkomma, men den snabba utvecklingen på området kommer att göra den aktuella operationen "konventionell" inom en nära framtid. Ultraljudkontroll av elektronstrålesvetsar erbjuder inte väsentliga problem.

Slutsatsen av utredningen är att framställning av den av KBS-projektet föreslagna kopparkapseln helt kan baseras på en känd teknik och möjligheterna att uppfylla givna specifikationer kan inte ifrågasättas. Detta innebär inte att en tillverkning kan startas utan ett föregående utredningsarbete. Ett sådant kommer att vara av typen utprovning av tillverkningsmetodikens detaljer i full skala tills erforderlig kvalitet erhålls. Det kan i och för sig erfordra relativt stora resurser och kostnader, men är av den karaktären att det kan utgöra en del av leveransorderarbetet efter beställning av ett större antal kapslar.

Referenser

Följande företag och organisationer har kontaktats beträffande framställningsmetodik för kopparkapslar.

Yorkshire Imperial Metals Ltd, Leeds, England  
(val av metallurgisk processteknik)

Gränges Metallverken, Västerås  
OY Outokumpu AB, Björneborg, Finland  
Inst för Metallers gjutning, KTH, Stockholm  
F:a Intermelt, Stockholm  
(gjutning)

AB Bofors, Bofors  
Uddeholms AB, Hagfors  
Björneborgs Jernverk, Björneborg, (Kristinehamn)  
Surahammars Bruk, Surahammar  
Inst för Metallers bearbetning, KTH, Stockholm  
(smidning)

ASEA, Produktionsavdelningen, Västerås  
Sandvik Coromant, Sandviken  
Motala Verkstad, Motala  
(mekanisk bearbetning)

ASEA, Centrallaboratoriet, Västerås  
(icke-förstörande provning)

Denna handling får ej utan vårt medgivande kopieras. Den får ej heller delges annan eller eljest obehörigt användas. Övernödigt förav beivras med stöd av gällande lag. **ASEA-ATOM**  
 This document must not be copied without our written permission, and the contents thereof must not be imparted to a third party nor be used for any unauthorized purpose. Contravention will be prosecuted. **ASEA-ATOM**

## FÖRTECKNING ÖVER KBS TEKNISKA RAPPORTER

- 01 Källstyrkor i utbränt bränsle och högaktivt avfall från en PWR beräknade med ORIGEN  
Nils Kjellbert  
AB Atomenergi 77-04-05
- 02 PM angående värmeledningstal hos jordmaterial  
Sven Knutsson  
Roland Pusch  
Högskolan i Luleå 77-04-15
- 03 Deponering av högaktivt avfall i borrhål med buffertsubstans  
Arvid Jacobsson  
Roland Pusch  
Högskolan i Luleå 77-05-27
- 04 Deponering av högaktivt avfall i tunnlar med buffertsubstans  
Arvid Jacobsson  
Roland Pusch  
Högskolan i Luleå 77-06-01
- 05 Orienterande temperaturberäkningar för slutförvaring i berg av radioaktivt avfall, Rapport 1  
Roland Blomqvist  
AB Atomenergi 77-03-17
- 06 Groundwater movements around a repository, Phase 1, State of the art and detailed study plan  
Ulf Lindblom  
Hagconsult AB 77-02-28
- 07 Resteffekt studier för KBS  
Del 1 Litteraturgenomgång  
Del 2 Beräkningar  
Kim Ekberg  
Nils Kjellbert  
Göran Olsson  
AB Atomenergi 77-04-19
- 08 Utlakning av franskt, engelskt och kanadensiskt glas med högaktivt avfall  
Göran Blomqvist  
AB Atomenergi 77-05-20



- 09 Diffusion of soluble materials in a fluid filling a porous medium  
Hans Häggblom  
AB Atomenergi 77-03-24
- 10 Translation and development of the BNWL-Geosphere Model  
Bertil Grundfelt  
Kemakta Konsult AB 77-02-05
- 11 Utredning rörande titans lämplighet som korrosionshärdig kapsling för kärnbränsleavfall  
Sture Henriksson  
AB Atomenergi 77-04-18
- 12 Bedömning av egenskaper och funktion hos betong i samband med slutlig förvaring av kärnbränsleavfall i berg  
Sven G Bergström  
Göran Fagerlund  
Lars Rombén  
Cement- och Betonginstitutet 77-06-22
- 13 Urlakning av använt kärnbränsle (bestrålad uranoxid) vid direktdeponering  
Ragnar Gelin  
AB Atomenergi 77-06-08
- 14 Influence of cementation on the deformation properties of bentonite/quartz buffer substance  
Roland Pusch  
Högskolan i Luleå 77-06-20
- 15 Orienterande temperaturberäkningar för slutförvaring i berg av radioaktivt avfall  
Rapport 2  
Roland Blomquist  
AB Atomenergi 77-05-17
- 16 Översikt av utländska riskanalyser samt planer och projekt rörande slutförvaring  
Åke Hultgren  
AB Atomenergi augusti 1977
- 17 The gravity field in Fennoscandia and postglacial crustal movements  
Arne Bjerhammar  
Stockholm augusti 1977
- 18 Rörelser och instabilitet i den svenska berggrunden  
Nils-Axel Mörner  
Stockholms Universitet augusti 1977
- 19 Studier av neotektonisk aktivitet i mellersta och norra Sverige, flygbildsgenomgång och geofysisk tolkning av recenta förkastningar  
Robert Lagerbäck  
Herbert Henkel  
Sveriges Geologiska Undersökning september 1977

- 20 Tektonisk analys av södra Sverige, Vättern - Norra Skåne  
Kennert Röshoff  
Erik Lagerlund  
Lunds Universitet och Högskolan Luleå september 1977
- 21 Earthquakes of Sweden 1891 - 1957, 1963 - 1972  
Ota Kulhánek  
Rutger Wahlström  
Uppsala Universitet september 1977
- 22 The influence of rock movement on the stress/strain  
situation in tunnels or bore holes with radioactive con-  
sistors embedded in a bentonite/quartz buffer mass  
Roland Pusch  
Högskolan i Luleå 1977-08-22
- 23 Water uptake in a bentonite buffer mass  
A model study  
Roland Pusch  
Högskolan i Luleå 1977-08-22
- 24 Beräkning av utlakning av vissa fissionsprodukter och akti-  
nider från en cylinder av fränskt glas  
Göran Blomqvist  
AB Atomenergi 1977-07-27
- 25 Blekinge kustgnejs, Geologi och hydrogeologi  
Ingemar Larsson KTH  
Tom Lundgren SGI  
Ulf Wiklander SGU  
Stockholm, augusti 1977
- 26 Bedömning av risken för fördröjt brott i titan  
Kjell Pettersson  
AB Atomenergi 1977-08-25
- 27 A short review of the formation, stability and cementing  
properties of natural zeolites  
Arvid Jacobsson  
Högskolan i Luleå 1977-10-03
- 28 Värmeledningsförsök på buffertsubstans av bentonit/pitesilt  
Sven Knutsson  
Högskolan i Luleå 1977-09-20
- 29 Deformationer i sprickigt berg  
Ove Stephansson  
Högskolan i Luleå 1977-09-28
- 30 Retardation of escaping nuclides from a final depository  
Ivars Neretnieks  
Kungliga Tekniska Högskolan Stockholm 1977-09-14
- 31 Bedömning av korrosionsbeständigheten hos material avsedda  
för kapsling av kärnbränsleavfall. Lägesrapport 1977-09-27  
samt kompletterande yttranden.  
Korrosionsinstitutet och dess referensgrupp

- 32 Egenskaper hos bentonitbaserat buffertmaterial  
Arvid Jacobsson  
Roland Pusch  
Högskolan i Luleå 1978-06-10
- 33 Required physical and mechanical properties of buffer masses  
Roland Pusch  
Högskolan i Luleå 1977-10-19
- 34 Tillverkning av bly-titan kapsel  
Folke Sandelin AB  
VBB  
ASEA-Kabel  
Institutet för metallforskning  
Stockholm november 1977
- 35 Project for the handling and storage of vitrified high-level waste  
Saint Gobain Techniques Nouvelles October, 1977
- 36 Sammansättning av grundvatten på större djup i granitisk berggrund  
Jan Rennerfelt  
Orrje & Co, Stockholm 1977-11-07
- 37 Hantering av buffertmaterial av bentonit och kvarts  
Hans Fagerström, VBB  
Björn Lundahl, Stabilator  
Stockholm oktober 1977
- 38 Utformning av bergrumsanläggningar  
Alf Engelbrektson, VBB  
Arne Finné, KBS  
Stockholm december 1977
- 39 Konstruktionsstudier, direktdeponering  
ASEA-ATOM  
Västerås
- 40 Ekologisk transport och stråldoser från grundvattenburna radioaktiva ämnen  
Ronny Bergman  
Ulla Bergström  
Sverker Evans  
AB Atomenergi 1977-12-20
- 41 Säkerhet och strålskydd inom kärnkraftområdet.  
Lagar, normer och bedömningsgrunder  
Christina Gyllander  
Siegfried F Johnson  
Stig Rolandson  
AB Atomenergi och ASEA-ATOM 1977-10-13

- 42 Säkerhet vid hantering, lagring och transport av använt kärnbränsle och förglasat högaktivt avfall  
Ann-Margret Ericsson  
Kemakta november 1977
- 43 Transport av radioaktiva ämnen med grundvatten från ett bergförvar  
Bertil Grundfelt  
Kemakta november 1977
- 44 Beständighet hos borsilikatglas  
Tibor Lakatos  
Glasteknisk Utveckling AB
- 45 Beräkning av temperaturer i ett envänings slutförvar i berg för förglasat radioaktivt avfall Rapport 3  
Roland Blomquist  
AB Atomenergi 1977-10-19
- 46 Temperaturberäkningar för slutförvar för använt bränsle  
Taivo Tarandi  
Vattenbyggnadsbyrån Stockholm 1978
- 47 Teoretiska studier av grundvattenrörelser  
John Stokes  
Roger Thunvik  
Inst för kulturteknik KTH maj 1978
- 48 The mechanical properties of the rocks in Stripa, Kråkemåla, Finnsjön and Blekinge  
Graham Swan  
Högskolan i Luleå 1977-09-14
- 49 Bergspänningsmätningar i Stripa gruva  
Hans Carlsson  
Högskolan i Luleå 1977-08-29
- 50 Läckningsförsök med högaktivt franskt glas i Studsvik  
Göran Blomqvist  
AB Atomenergi november 1977
- 51 Seismotectonic risk modelling for nuclear waste disposal in the Swedish bedrock  
F Ringdal  
H Gjöystdal  
E S Husebye  
Royal Norwegian Council for scientific and industrial research
- 52 Calculations of nuclide migration in rock and porous media, penetrated by water  
H Häggblom  
AB Atomenergi 1977-09-14
- 53 Mätning av dissusionshastighet för silver i lera-sandblandning  
Bert Allard  
Heino Kipatsi  
Chalmers tekniska högskola 1977-10-15

- 54 Groundwater movements around a repository
- 54:01 Geological and geotechnical conditions  
Håkan Stille  
Anthony Burgess  
Ulf E Lindblom  
Hagconsult AB september 1977
- 54:02 Thermal analyses  
Part 1 Conduction heat transfer  
Part 2 Advective heat transfer  
Joe L Ratigan  
Hagconsult AB september 1977
- 54:03 Regional groundwater flow analyses  
Part 1 Initial conditions  
Part 2 Long term residual conditions  
Anthony Burgess  
Hagconsult AB oktober 1977
- 54:04 Rock mechanics analyses  
Joe L Ratigan  
Hagconsult AB september 1977
- 54:05 Repository domain groundwater flow analyses  
Part 1 Permeability perturbations  
Part 2 Inflow to repository  
Part 3 Thermally induced flow  
Joe L Ratigan  
Anthony S Burgess  
Edward L Skiba  
Robin Charlwood
- 54:06 Final report  
Ulf Lindblom et al  
Hagconsult AB oktober 1977
- 55 Sorption av långlivade radionuklider i lera och berg,  
Del 1  
Bert Allard  
Heino Kipatsi  
Jan Rydberg  
Chalmers tekniska högskola 1977-10-10
- 56 Radiolys av utfyllnadsmaterial  
Bert Allard  
Heino Kipatsi  
Jan Rydberg  
Chalmers tekniska högskola 1977-10-15
- 57 Stråldoser vid haveri under sjötransport av kärnbränsle  
Anders Appelgren  
Ulla Bergström  
Lennart Devell  
AB Atomenergi 1978-01-09
- 58 Strålrisker och högsta tillåtliga stråldoser för människan  
Gunnar Walinder  
FOA 4 november 1977

- 59 Tectonic Lineaments in the Baltic from Gävle to Simrishamn  
Tom Flodén  
Stockholms Universitet 1977-12-15
- 60 Förarbeten för platsval, berggrundsundersökningar  
Sören Scherman
- Berggrundvattenförhållande i Finnsjöområdet  
nordöstra del  
Carl-Erik Klockars  
Ove Persson  
Sveriges Geologiska Undersökning januari 1978
- 61 Permeabilitetsbestämningar  
Anders Hult  
Gunnar Gidlund  
Ulf Thoregren
- Geofysisk borrhålsmätning  
Kurt-Åke Magnusson  
Oscar Duran  
Sveriges Geologiska Undersökning januari 1978
- 62 Analyser och åldersbestämningar av grundvatten på stora  
djup  
Gunnar Gidlund  
Sveriges Geologiska Undersökning 1978-02-14
- 63 Geologisk och hydrogeologisk grunddokumentation av  
Stripa försöksstation  
Andrei Olkiewicz  
Kenth Hansson  
Karl-Erik Almén  
Gunnar Gidlund  
Sveriges Geologiska Undersökning februari 1978
- 64 Spänningsmätningar i Skandinavisk berggrund - förutsättningar  
resultat och tolkning  
Sten G A Bergman  
Stockholm november 1977
- 65 Säkerhetsanalys av inkapslingsprocesser  
Göran Carleson  
AB Atomenergi 1978-01-27
- 66 Några synpunkter på mekanisk säkerhet hos kapsel för  
kärnbränsleavfall  
Fred Nilsson  
Kungl Tekniska Högskolan Stockholm februari 1978
- 67 Mätning av galvanisk korrosion mellan titan och bly samt  
mätning av titans korrosionspotential under  $\gamma$ -bestrålning  
3 st tekniska PM  
Sture Henrikson  
Stefan Poturaj  
Maths Åsberg  
Derek Lewis  
AB Atomenergi januari-februari 1978

- 68 Degraderingsmekanismer vid bassänklagring och hantering  
av utbränt kraftreaktorbränsle  
Gunnar Vesterlund  
Torsten Olsson  
ASEA-ATOM 1978-01-18
- 69 A three-dimensional method for calculating the hydraulic  
gradient in porous and cracked media  
Hans Häggblom  
AB Atomenergi 1978-01-26
- 70 Lakning av bestrålat  $UO_2$ -bränsle  
Ulla-Britt Eklund  
Roland Forsyth  
AB Atomenergi 1978-02-24
- 71 Bergspricktätning med bentonit  
Roland Pusch  
Högskolan i Luleå 1977-11-16
- 72 Värmeledningsförsök på buffertsöbstans av kompakterad  
bentonit  
Sven Knutsson  
Högskolan i Luleå 1977-11-18
- 73 Self-injection of highly compacted bentonite into rock  
joints  
Roland Pusch  
Högskolan i Luleå 1978-02-25
- 74 Highly compacted Na bentonite as buffer substance  
Roland Pusch  
Högskolan i Luleå 1978-02-25
- 75 Small-scale bentonite injection test on rock  
Roland Pusch  
Högskolan i Luleå 1978-03-02
- 76 Experimental determination of the stress/strain situation  
in a sheared tunnel model with canister  
Roland Pusch  
Högskolan i Luleå 1978-03-02
- 77 Nuklidvandring från ett bergförvar för utbränt bränsle  
Bertil Grundfelt  
Kemakta konsult AB, Stockholm
- 78 Bedömning av radiolys i grundvatten  
Hilbert Christenssen  
AB Atomenergi 1978-02-17
- 79 Transport av oxidants and radionuclides through  
a clay barrier  
Ivar Neretnieks  
Kungsl Tekniska Högskolan Stockholm 1978-02-20

- 80 Utdiffusion av svårlösliga nuklider ur kapsel efter kapselgenombrott  
Karin Andersson  
Ivars Neretnieks  
Kungl Tekniska Högskolan Stockholm 1978-03-07
- 81 Tillverkning av kopparkapsel för slutförvaring av använt bränsle  
Jan Bergström  
Lennart Gillander  
Kåre Hannerz  
Liberth Karlsson  
Bengt Lönnerberg  
Gunnar Nilsson  
Sven Olsson  
Stefan Sehlstedt  
ASEA, ASEA-ATOM juni 1978
- 82 Hantering och slutförvaring av aktiva metalldelar  
Bengt Lönnerberg  
Alf Engelbrektsson  
Ivars Neretnieks  
ASEA-ATOM, VBB, KTH
- 83 Hantering av kapslar med använt bränsle i slutförvaret  
Alf Engelbrektsson  
VBB Stockholm april 1978
- 84 Tillverkning och hantering av bentonitblock  
VBB  
ASEA  
ASEA-ATOM  
Gränges Mineralprocesser  
Juni 1978
- 85 Beräkning av kryphastigheten hos ett blyhölje innehållande en glaskropp under inverkan av tyngdkraften  
Anders Samuelsson  
  
Förändring av krypegenskaperna hos ett blyhölje som följt av en mekanisk skada  
Göran Eklund  
Institutet för Metallforskning september 1977 - april 1978
- 86 Diffusivitetmätningar av metan och väte i våt lera  
Ivars Neretnieks  
Christina Skagius  
Kungl Tekniska Högskolan Stockholm 1978-01-09
- 87 Diffusivitetmätningar i våt lera Na-lignosulfonat,  $\text{Sr}^{2+}$ ,  $\text{Cs}^{+}$   
Ivars Neretnieks  
Christina Skagius  
Kungl Tekniska Högskolan Stockholm 1978-03-16
- 88 Ground water chemistry at depth in granites and gneisses  
Gunnar Jacks  
Kungl Tekniska Högskolan Stockholm april 1978



- 89 Inverkan av glaciation på en deponeringsanläggning belägen i urberg 500 m under markytan  
Roland Pusch  
Högskolan i Luleå 1978-03-16
- 90 Koppar som kapslingsmaterial för icke upparbetat kärnbränsleavfall - bedömning ur korrosionssynpunkt  
Lägesrapport 1978-03-31  
Korrosionsinstitutet och dess referensgrupp
- 91 Korttidsvariationer i grundvattnets trycknivå  
Lars Y Nilsson  
Kungliga Tekniska Högskolan Stockholm september 1977
- 92 Termisk utvidgning hos granitoida bergarter  
Ove Stephansson  
Högskolan i Luleå april 1978
- 93 Preliminary corrosion studies of glass ceramic code 9617 and a sealing frit for nuclear waste canisters  
I D Sundquist  
Corning Glass Works 78-03-14
- 94 Avfallsströmmar i upparbetningsprocessen  
Birgitta Andersson  
Ann-Margret Ericsson  
Kemakta mars 1978
- 95 Separering av C-14 vid upparbetningsprocessen  
Sven Brandberg  
Ann-Margret Ericsson  
Kemakta mars 1978
- 96 Korrosionsprovning av olegerat titan i simulerade deponeringsmiljöer för upparbetat kärnbränsleavfall  
Sture Henrikson  
Marian de Pourbaix  
AB Atomenergi 1978-04-24
- 97 Colloid chemical aspects of the "confined bentonite concept"  
Jean C Le Bell  
Ytkemiska Institutet 1978-05-07
- 98 Sorption av långlivade radionuklider i lera och berg  
Del 2  
Bert Allard  
Heino Kipatsi  
Börje Torstenfelt  
Chalmers Tekniska Högskola 1978-04-20
- 99 Lakning av högaktivt franskt glas  
Lägesrapport 1978-06-01  
Göran Blomqvist  
AB Atomenergi 1978-06-19

- 100 Dos och dosintekning från grundvattenburna radioaktiva ämnen vid slutförvaring av använt kärnbränsle  
Ronny Bergman  
Ulla Bergström  
Sverker Evans  
AB Atomenergi
- 101 Utläckning av Ni-59 från ett bergförvar  
Ivars Neretnieks  
Karin Andersson  
Kungl Tekniska Högskolan Stockholm 1978-04-24
- 102 Metod att bocka bestrålade bränslestavar  
Torsten Olsson  
ASEA-ATOM 1978-03-29
- 103 Some aspects on colloids as a means for transporting radio nuclides  
Ivars Neretnieks  
Kungl Tekniska Högskolan Stockholm
- 104 Finit elementanalys av bentonitfyllt bergförvar  
Ove Stephansson  
Kenneth Mäki  
Tommy Groth  
Per Johansson  
Högskolan i Luleå
- 105 Neutroninducerad aktivitet i bränsleelementdetaljer  
Nils Kjellbert  
AB Atomenergi 1978-03-30
- 106 Strålningsnivå och till vatten deponerad strålningsenergi utanför kapslar i slutförvaret  
Klas Lundgren  
ASEA-ATOM 1978-05-29
- 107 Blyinfodrad titankapsel för upparbetat och glasat kärnbränsleavfall - Bedömning ur korrosionssynpunkt  
Korrosionsinstitutet och dess referensgrupp. Slutrapport  
1978-05-25
- 108 Criticality in a spent fuel repository in wet crystalline rock  
Peter Behrenz  
Kåre Hannerz  
ASEA-ATOM 1978-05-30
- 109 Lakningsbar spaltaktivitet  
Lennart Devell  
Rolf Hesböl  
AB Atomenergi

- 110 In situ experiments on nuclide migration in fractured crystalline rocks  
Ove Landström  
Carl-Erik Klockars  
Karl-Erik Holmberg  
Stefan Westerberg  
Studsvik Energiteknik and  
The Geological Survey of Sweden  
Juli 1978
- 111 Nuklidhalter i använt LWR-bränsle och i högaktivt avfall från återcyklning av plutonium i PWR  
Nils Kjellbert  
AB Atomenergi
- 112 Säkerhetsanalys av hanteringsförfarandet vid inkapsling av utbränt bränsle i kopparkapsel  
Erik Nordesjö  
ASEA-ATOM 1978-03-20