

---

# **KBS** TEKNISK RAPPORT

---

**39**

**Konstruktionsstudier,  
direktdeponering**

**Bengt Lönnerberg**

**ASEA-ATOM Västerås september 1978**

## KONSTRUKTIONSSTUDIER, DIREKTDEPONERING

Bengt Lönnerberg  
ASEA-ATOM

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.

KBS - TEKNISK RAPPORT 39

KONSTRUKTIONSSTUDIER, DIREKTDEPONERING

Bengt Lönnerberg  
ASEA-ATOM

## Summary

The second part of the KBS project deals with final storage of spent nuclear fuel without reprocessing. ASEA-ATOM has contributed to this part with a study of the incapsulation process before the final storage in bedrock.

The complete handling process is described in the main KBS report. On the following pages a short process description is given, to a certain extent supplementing the KBS report and commenting some of the chosen process stages. Additional detailed studies regarding the various process steps are reported in the enclosed appendices.

The description includes the following process steps:

- spent fuel cask reception from the central storage
- unloading of casks
- dismantling of fuel bundles
- insertion of fuel rods in copper racks
- placing of racks in copper capsules
- filling of capsules with lead
- welding of capsule lids
- capsule transport to the underground final storage

The handling of remaining metal parts from the fuel bundles are described as well as collection of lost particles from damaged fuel in the process.



## Sammanfattning

KBS-projektets del 2 behandlar direktdeponering av använt kärnbränsle. ASEA-ATOM har bidragit till denna del med studier av den process som leder fram till en för slutförvaringen lämplig inkapsling av bränslet. Processen beskrives i KBS' huvudrapport. I föreliggande rapport ges en kort processbeskrivning, som på vissa avsnitt kompletterar KBS-rapporten, samt ger kommentarer till några av de valda processtegen. Dessutom redovisas detaljstudier i separata rapporter och utredningar rörande olika moment i processen.

## 1. Anläggningens olika delar

Anläggningen för direktdeponering av använt kärnbränsle består av en inkapslingsstation ovan jord, och ett slutförvar på ca 500 m djup. Denna rapport behandlar endast inkapslingsstationen.

Hanteringen i den markförlagda inkapslingsstationen kan delas upp i huvudprocessen, sidoprocesser samt hjälpsystem och hjälputrustning.

Huvudprocessen omfattar inkapslingen av bränslestavar från mottagningen till den för slutförvaringen färdiga kapseln.

Sidoprocesserna utgörs av:

- hantering av metalldelar från bränslepatronerna
- uppsamling och inkapsling av bränslespill från de skilda processtegen
- hantering av överskottsbley från blygjutningen.

Hjälpsystem och hjälputrustning omfattar huvudsakligen kyl- och reningssystem, ventilation, el- och kontrollutrustning, vatten- och gassystem, avlopps- och avfallssystem och lyft- och transportanordningar. Preliminära specifikationer för dessa system har framtagits som underlag för anläggningens utformning. De har dock inte bearbetats vidare, eftersom systemen inte är specifika för denna anläggning. Motsvarande system finns både i kärnkraftstationer och i processindustrier. Specifikationerna redovisas inte i denna rapport.

## 2. Huvudprocessen

### 2.1 Stegen i huvudprocessen

Huvudprocessen i inkapslingsstationen framgår av figurerna 1, 2 och 3. Den kan uppdelas i:

- mottagning och inlastning av transportflaskor
- demontering av bränsle
- inkapsling i kopparkapsel med blyfyllning
- uttransport.

### 2.2 Till inkapslingsstationen ankommande bränsle

När bränslet anländer till inkapslingsstationen har det förvarats i cirka 40 år i det centrala lagret för använt bränsle (CLAB). Diskussion av längden på förvaringstiden finns i KBS' huvudrapport. Bränslets resteffekt har då minskat så mycket att kylningen i inkapslingsstation kan göras mycket enkel. Ingen speciell nödkylning behövs i något steg i stationen. Den fyllda kapseln, uppställd i luft, kommer att få en yttemperatur som endast med något tiotal grader överstiger rumstemperaturen. Den radioaktiva strålningen har också minskat, vilket förenklar hanteringen. De radioaktiva ämnena, inneslutna i bränslekapslingen, har till viss del reducerats. Så har t ex den enda återstående ädelgasen av betydelse, krypton 85, reducerats med ca en tiopotens under de 40 åren, vilket innebär att betydligt större skador kan accepteras vid postulerade olyckor i stationen utan att den luftburna radioaktiviteten uppnår besvärande värden. Uppgifter om resteffekt och bränslets innehåll av radioaktiva ämnen framgår av KBS Tekniska rapporter 01 och 07.

Bränslemängderna som skall slutdeponeras har beräknats med förutsättningen att 13 reaktorer drivs i 30 år. Mängderna framgår av bilagda TK 78-124. Beräkningen har utförts med utgångspunkt från reaktorer i drift eller under uppförande samt planerade anläggningar. Således ingår BWR-stationerna Oskarshamn 1, 2 och 3, Ringhals 1, Barsebäck 1 och 2 och Forsmark 1, 2 och 3 samt PWR-stationerna Ringhals 2, 3 och 4. Den trettonde reaktorn antas vara en BWR av samma typ som Forsmark 3 och Oskarshamn 3.

Mängden bränsle, som skall bytas årligen, grundas på nu gällande planer. Siffrorna innehåller ingen marginal för bränsle som skadas eller av annan orsak behöver bytas i förtid. Å andra sidan diskuteras möjligheten att minska den årliga mängden utbytt bränsle. Detta kan uppnås genom en något högre anrikning av uran 235 i det färskta bränslet. Det kan då utnyttjas längre tid i reaktorn och avställningstiden för bränslebyte kan avkortas. En sådan utveckling kommer mer än väl att motsvara erforderlig marginal för i förtid utbytt bränsle.

Beräkningen ger totalt drygt 45000 bränslepatroner, vilket ger ett årligt medelflöde till slutförvaret på ca 1500 patroner per år eller 7 patroner per dag.

Transporten av bränsle från centrallagret CLAB till inkapslingsstationen sker med samma typ av transportflaskor som används mellan reaktorstationerna och CLAB. Likson i centrallagret planeras verksamheten i inkapslingsstationen för en transportflaska som rymmer 17 BWR-patroner eller 7 PWR-patroner, men det finns också möjlighet att ta emot en större flaska

för 30 BWR-patroner, som är under utveckling. 17 BWR-patroner väger 4.4 ton och innehåller 3 ton uran. Medelflödet till stationen blir 2 flaskor per vecka.

### 2.3 Mottagning och urlastning av transportflaskor

Hanteringen vid mottagningen motsvarar i stor utsträckning de moment som utförs i centrallagret. Flaskan lyfts med travers upp från sin transportvagn och ställs lodrätt i en position för kylning och rening. Därvid kopplas slangar från ett reningssystem till anslutningar på flaskan. Reningssystemet innehåller ett filter som tar hand om föroreningar i det cirkulerande vattnet. Kylfunktionen är inte nödvändig då bränslets resteffekt endast räcker till att höja flaskans temperatur något tiotal grader över omgivningstemperaturen. Kylningen erhålles därför enkelt genom utbyte av flaskans vatten i samband med reningen. Genom att reningen utförs redan här undviker man försmutsning av vattnet i urlastningsbassängen. Flaskan kan även spolras utvändigt så att eventuella föroreningar från transporten avlägsnas. Efter rengöringen kan flaskan förses med en yttre mantel, som skall skydda flaskans ytteryta från att förorenas av vattnet i urlastningsbassängen. Det är dock troligt att denna extra åtgärd kommer att visa sig obehövlig, då bassängvattnet kommer att vara mycket rent och då flaskan rutinmässigt kommer att spolras med högtrycksvatten innan den återförs till centrallagret.

Bultarna i flaskans lock lossas nu men locket får sitta kvar som strålskydd. Flaskan lyfts därefter ner i urlastningsbassängen där locket avlägsnas.

Nerflyttningen i bassängen sker i två steg. Det finns två orsaker till detta förfarande. Efter den första nedsättningen kan man byta lyftverktyg, vilket möjliggör att traversens krok och lina ej behöver gå ner i och förörena vattnet vid den djupare nedsänkningen. Vidare blir flaskan inte vid något tillfälle hängande över större djup än ca 6 m. Flaskan är enligt IAEA's regler konstruerad att tåla 9 m fallhöjd.

Urlastningen av bränslet går till på samma sätt som i kärnkraftstationer och i CLAB. Bränslet placeras i kassetter, som flyttas över till förvaringspositioner för tillfällig uppställning eller till demonteringsbassängen.

Den tömda transportflaskan lyfts ur bassängen och placeras i position för demontering av skyddsmanteln. Flaskan tvättas därefter ut- och invändigt. Utrustning finns för både kemisk rengöring och högtryckssprutning. Efter montering av locket kan flaskan återgå till centrallagret.

I mottagningsdelen har utrymme reserverats för uppställning av flaskor för den händelse att urlastningsprocessen skulle vara blockerad. I anslutning till mottagningen finns en verkstad där smärre skador på transportflaskor kan repareras.

#### 2.4 Demontering av bränsle

Bränslepatronerna demonteras i demonteringsbassängen. Därvid lyfts bränslestavarna ur patronerna och ställs i kopparställ utformade för placering i kopparkapsel och för blygjutning. Metallkomponenterna från bränslepatronen uppsamlas och behandlas i en sidoprocess med ingjutning i betongkokiller.

En detaljerad beskrivning av demonteringen ges i bifogad rapport TK 78-22, som även anger skillnaderna mellan olika typer av bränsle. Rapporten innehåller också en beräkning av demonteringstiden, data för kopparkapslar och betongkokiller samt en kostnadsbedömning, som jämför slutdeponering av demonterade och icke demonterade bränslepatroner.

Demonteringsbassängen har fem stationer, varav fyra för BWR och en för PWR. Varje station är utrustad med en minidator som styr lyftutrustningens val av positioner i bränslepatron och kopparställ. I kostnadsbedömningen i TK 78-22 har manuellt styrd demontering antagits, vilket ger en något för hög kostnad för demonteringsarbetet. Även med manuell process är dock demonteringsalternativet ekonomiskt gynnsammare än deponering av hela patroner, eftersom utrymmet i kopparkapslarna blir avsevärt bättre utnyttjat.

Uttagning av bränslestavar ur bränslepatroner har skett i ganska stor omfattning i svenska kärnkraftstationer. Erfarenheterna från dessa arbeten, som varit mycket positiva, redovisas i KBS teknisk rapport nr 68.

Antalet stavar, som placeras i varje kopparställ för BWR-bränsle, är 498 motsvarande 1.4 ton uran. PWR-bränsle, som har två olika stavtjocklekar, får 498 resp 636 stavar per ställ, motsvarande 1.1 ton uran. Utrymmet i koppar kapseln medger inplacering av PWR-stavar motsvarande 1.4 ton uran. PWR-bränsle har dock något högre resteffekt än BWR, varför samma mängd bränsle skulle ge något högre temperatur hos kapseln i slutförvaret och dess omgivning.

Man har därför i denna konstruktionsstudie valt sådana bränslemängder att resteffekten i kopparkapseln blir lika.

## 2.5 Inkapsling och blygjutning

Då ett kopparställ fyllts med bränslestavar, lyfts det upp ur vattnet i en med betongväggar strålskärmad cell. Det placeras sedan i en kopparkapsel. I den fortsatta processen skall smält bly tillföras och efter svalning skall kopparlock svetsas på. Detaljerna i denna process beskrivs i bifogade rapporter:

AZ/69513, Alfredeen Teknik AB, Metodik för utfyllnad med bly i kopparkapslar.

H Folke Sandelin AB, Förslag till smält- och gjututrustning.

Ugnsbolaget TABO AB, Ugn för blygjutning i kopparkapsel.

Tillverkning liksom svetsförslutning och kontroll av kopparkapsel beskrivs i:

KBS Teknisk rapport nr 81, Framställning av kopparkapsel för slutförvaring av använt bränsle.

Processen kan kort beskrivas på följande sätt:

Ugnarna för blygjutning matas underifrån med kopparkapslar. Dessa transporteras till ugnarna på en transportvagn, som även har lyftutrustning för inlyftet i ugnarna. I hanteringslinjens början ställs en kopparkapsel på det ugnslock som medföljer transportvagnen och kopparstället med bränsle placeras i kapseln. Transportvagnen för kapseln fram till och in i en ugn, varvid ugnslocket lufttätt ansluts till ugnen. Vagnen blir då fri för nya hanteringsuppgifter.



Ugnen vakuumpumpas och uppvärmning till 380-400°C vidtar. Därefter fylls kapseln med bly genom ett rör i kopparställets centrum. Ugnen fylls sedan med kvävgas som får cirkulera genom ett kylsystem. Då temperaturen gått ned till ca 150°C förs kapseln med transportvagnen till en svalcell där den under några dygn kyls av luften i cellen till ca 80°C.

I svalcellen finns även utrustning som avlägsnar överskottsblyet från gjutningen samt slutligt bearbetar de kopparytor, mot vilka locken skall svetsas.

Med en transportvagn förs så kapseln till svetscellen med positioner för insättning och svetsning av lock samt kontroll. Därefter transporteras kapseln ut.

Uppvärmningen av kapseln med innehåll har beräknats ta ca 2 dygn. Blyfyllningen tar något mindre än en timme. Kylningen till 150°C tar också ca 2 dygn, varvid kylhastigheten vid blyets stelning, 327°C, sätts mycket låg för att hålrum i blymassan skall undvikas. I samband härmed sker även en efterfyllning av bly för att kompensera för den krympande blyvolymen. Kapseln befinner sig således totalt ca 4 dygn i ugnen. För att anläggningen skall få en mot bränsleflödet svarande kapacitet har 8 ugnar förutsetts, placerade i två parallella hanteringslinjer med var sin transportvagn, som betjänar 4 ugnar. Bränslets medelflöde motsvarar ungefär en kapsel per dag, varför de två hanteringslinjerna medger marginal för reparationer och underhåll.

Bränslestavarna har en något lägre densitet än blyet och måste hindras från att flyta upp under gjutningen. Kopparstället förses därför med en perforerad kopparskiva, som fästs över stavarna och i ugnen trycks kopparstället mot kapselns botten av den mot centrumröret anslutande ledningen för blypåfyllning.

Orsaken till att uppvärmningen sker under vakuum är att man vill undvika den påverkan syre och kväve kan ha på de heta metallytorna. Rena metallytor ger en något bättre utfyllnadsgrad för blyet.

Kyl- och vakuumsystemet har vidare försetts med en anslutning till en argonbehållare, så att argon kan fyllas på ugnen under uppvärmningsskedet i den händelse att vakuum inte kan upprätthållas på grund av för stort luftläckage. Under blygjutningen hjälper vakuomet till att ge en så porfri blyfyllning som möjligt. Kylningen med kvävgas har valts för att undvika oxidering av kopparkapseln.

Ugnens inre kupol utgör den gastäta delen tillsammans med locket i botten. Kupolen avtätas också mot bjälklaget, vilket gör att atmosfären i ugnsutrymmet utanför ugnen är helt avskilt från transportgången och ugnens inre. Ingen luftburen radioaktivitet kan därför spridas i ugnarnas uppställningsrum, gjutcellen. Endast en måttlig radioaktiv strålning finns här, då kapslar med bränsle står i ugnarna. Med tömda ugnar kan man vistas i utrymmet utan begränsning, vilket underlättar underhåll av ugnsutrustningen.

Efter svalningen tas blyöverskottet bort i en svarvstation. Även det genom blyet uppstickande centrumröret av koppar tas bort. De kopparytor som utgör svetsytor för kapselns lock finsvarvas till slutligt mått och för svetsningen erforderlig ytfinhet.

Resterna från denna bearbetning hanteras i en sidoprocess.

Kapselns lock har cylindrisk form med plan botten. Bearbetningen av bly och kapsel görs så att botten blir plan. Denna form har valts för att mellanrummet mellan lock och innehåll skall bli så liten som möjligt.

Strävan att fylla ut kapselns inre i så hög grad som är praktiskt möjligt grundar sig på kravet på en mycket långvarig integritet hos kapseln.

Kapseln kommer efter viss tid i slutförvaret att utsättas för ett ganska högt allsidigt tryck under inverkan av grundvatten och svällande bentonit. Kopparn motstår ej ensam detta tryck under de långa tidsperspektiv som här är aktuella utan skulle så småningom deformeras genom krypning. Det är för att undvika sådan deformation och den sprickbildning som kan bli en följd av deformationen, som den inre volymen fylls med bly. En väl utfylld innervolym förhindrar kopparns krypning. En analys av hållfastheten ges i KBS Tekniska rapport nr 81.

Elektronstrålsvetsning, som används vid locksvetsningen, kräver att spalten för svetsning är liten. För att de cylindriska locken trots detta skall kunna föras in på plats före svetsningen kyls de i flytande kväve. Locken krymper då så att en erforderlig spalt erhålls. Spalten minskas till anliggning, då locken antar kapselns temperatur.

Beskrivningen av svetsförfarande och kontroll finns dels i ovannämnda KBS-rapport, dels i bifogad laboratorierapport från ASEA KYDP 1120-7162 från ett prov som utförts med sådan svetsning och kontroll.

Även svets- och kontrollutrustningen är arrangerad i två parallella hanteringslinjer i anläggningen. Utrustningen i en linje beräknas räcka för det normala kapsel-flödet, varför dubbleringen ger möjlighet till underhåll och reparationer.

I området mellan svalnings- och svetsoperationerna finns en separat cell. Den kan användas för utvändig spolning av kopparkapseln vid utförseln från svalcellen, om det skulle visa sig att kapseln under föregående hantering fått en yttre beläggning av luftburet radioaktivt material. Man undviker sålunda utvändig radioaktivitet i den fortsatta hanteringen.

Den separata cellen är även tänkt som öppningscell för kapseln, om locksvetsarna skulle visa sig bristfälliga vid kontroll. Locken svarvas då bort och nya något större urtag för lock svarvas ut. Kapseln återgår därpå till svetsprocessen varvid den förses med lock med något större diameter.

## 2.6 Uttransport

Efter svetsning och kontroll lyfts kapseln av transportvagnen ut ur cellen och placeras på en vagn för transport med en hiss ner till slutförvaret.

I anslutning till uttransporten finns möjlighet till slutbesiktning av kapseln samt uppställningspositioner, som kan användas som tillfällig buffert vid avbrott i deponeeringsarbetet.

Ett gruvspel ovanför hisschaktet sänker lasten på 25 ton ned till förvaringsnivån med en hastighet av 1 m/s.

### 3. Sidoprocesser

#### 3.1 Hantering av metalldelar från bränslepatronerna

De metalldelar, som återstår av bränslepatronerna, sedan dessa demonterats, samlas i en transportlåda. Lådan flyttas över från demonterings- till kompakteringsbassängen, där mera skrymmande delar pressas ihop och klipps sönder. Resterna samlas i en korg, som i en strålskärmad cell lyfts upp ur bassängvattnet. Korgen placeras så i en betongkokill, som förses med betonglock och därefter injekteras med betong. Betongkokillerna föres till ett separat slutförvar i berggrunden, där de slutligen kringgjøtes med betong.

Processen beskrivs i KBS tekniska rapport nr 82, som innehåller en detaljerad redogörelse för olika sorters metall- delar, hanteringen av dessa, kokillernas storlek, antal och innehåll samt en sammanställning av stråldosraten på kokillernas yta.

En noggrannare beräkning av den radioaktiva strålningen kring kokillerna ges i bifogade Meddelande RF 78-222 och PM RF 78-48.

Med en väl utförd betonginjektering kommer maximala ytdos- raten att uppgå till 590 mrem/h. Som ett extremvärde har 2000 mrem/h framräknats. Detta skulle erhållas med metall- delar från PWR i det fall att ingen betonginjektering har utförts. Värdena ligger i samma nivå som dem, som erhålls på behållare för aktiva jonbytarmassor vid kärnkraftsta- tioner. En strålskärm på transportvagnen krävs vid hante- ringen samt skärmning med betongplank av kokillstaplarna i slutförvaret för att skydda personalen. I övrigt behöver inga extra åtgärder vidtagas.

### 3.2 Uppsamling och inkapsling av bränslespill från de skilda processtegen

Hantering av bränslespill beskrivs i TK 78-185. En bedömning av mängden bränslespill grundad på erfarenheter av stavhantering vid reaktorstationerna redovisas i RB 78-43. Båda dessa rapporter bifogas.

Bränslespilllet uppsamlas genom slamsugning från alla bassänger, där bränsle hanteras. Vattenflödet från slamsugningen föres till ett cyklonfilter, placerat i ena bassängen. I cyklonfiltret avskiljs den dominerande mängden av bränslespilllet. Stoffformigt spill uppsamlas i de filter, som hör till bassängernas reningssystem, dit vattenflödet förs efter cyklonfiltret.

Spillet i cyklonfiltret fylls på en kopparburk med ca 1 liters volym. Burken flyttas till samma cell, där kopparstället med stavar lyfts ur vattnet. Här finns sidopositioner för torkning och förslutning av kopparburkarna. De sätts därpå ner i en i samma utrymme uppställd kopparkapsel, avpassad för dessa burkar. Den fyllda kopparkapseln hanteras på samma sätt som övriga kapslar.

Genom att spillet uppsamlas under vatten i en bassäng erhålls ett effektivt strålskydd. Cyklonfiltret botten-töms till kopparburken, vars förflyttning till cellen också sker strålskyddat under vatten. Eventuellt spill från denna hantering uppsamlas åter genom slamsugningen.

### 3.3 Hantering av överskottsbly från blygjutningen

En beskrivning av hur blyöverskottet tas om hand ges i bifogad rapport TK 78-123.

Bly- och kopparspån uppsamlas i ett kärl, som töms till en smältugn. Sedan blyet smälts kan kopparfragmenten skummas av. Kopparfragmenten förs därefter till ingjutning i betongkokiller på samma sätt som beskrivits i 3.1. Det smälta blyet återanvänds i kopparkapslarna.

Blyöverskott och kopparfragment är icke radioaktiva och skulle därför kunna hanteras utanför strålskärmede celler. Man måste dock försiktigtvis räkna med att mycket små mängder radioaktiva partiklar från bränslet kan ha lossnat vid blyfyllningen och då även kunnat hamna i den del som kommer att utgöra blyöverskott. Speciellt vid hantering av skadade bränslestavar bör denna risk beaktas. Man har därför valt att placera även denna del av processen i celler med strålskärmande betongväggar. De från det smälta blyets yta avskummade kopparfragmenten kontrolleras med avseende på strålning och kan, om de visar sig inaktiva, tas ut från processen och betraktas då som konventionellt kopparskrot.

#### 4. Hjälpssystem

Detaljkonstruktionen av hjälpssystemen i denna anläggning skiljer sig inte från processindustrier i övrigt eller kärnkraftanläggningar. Vissa grundförutsättningar och principer för systemen skall dock beröras i det följande.

##### 4.1 Kylbehov

Den värme som genereras i anläggningen kommer huvudsakligen från två källor: bränslets restvärme och ugnarna för blygjutning. I båda fallen är den erforderliga kyl-effekten så liten, att luftkylning i kylhuvar, även kallade kyltorn, på processbyggnadens tak är tillfylllest. Anläggningen behöver således inte ha tillgång till vatten för kyländamål.

Värmeutvecklingen i transportflaskorna uppgår för det 40 år gamla bränslet endast till ca 2 kW (3 kW för de större flaskorna). Bränslet i kopparkapslarna utvecklar ca 800 W. Den omgivande luften absorberar värmen från både flaska och kapsel så effektivt, att ytterytan endast överstiger luftens med något tiotal grader. Värmen förs sedan bort med ventilationsluften.

Bassängerna utformas för att kunna tillfälligt förvara bränsle motsvarande fem transportflaskor samtidigt. Kylsystemet dimensioneras för att kunna bortföra 20 kW. Om kylsystemet skulle stängas av, kommer bassängtemperaturen endast att höjas några tiotal grader, varefter värmeavgången från vattenytan avleder hela den alstrade effekten till ventilationsluften. Det krävs således inga speciella åtgärder för att säkra kylningen.

Ugnarna kyls efter blygjutningen från 380-400°C till ca 150°C på två dygn. Kylningen sker med cirkulerande kvävgas med en kylkapacitet på ca 20 kW per ugn.

Samtliga kylsystem är genom mellankylkretsar kyllda av kyltornen på anläggningens tak.



#### 4.2 Reningssystem och anläggningens egna avfall

Vatten från processens olika delar renas i filter. Vatten kommer från spolning av transportflaskor, utrustning och utrymmen, eventuellt spolas även kapslar. Dessutom renas kylvattenflödet från bassängerna.

Filtren kan efter behov beläggas med filtermassa eller jonbytarmassa. Förbrukade filter- och jonbytarmassor förs till avvattningsstankar, koncentreras i en indunstare, varifrån koncentratet fylls på betongkokiller för ingjutning i betong. Förfarandet överensstämmer med motsvarande hantering i reaktorstationerna.

### 4.3 Ventilation

Ventilationssystemen är uppdelade på samma sätt som inkapslingsstationens processer är uppdelade.

Den okontrollerade delen har ventilationssystem för entrébyggnad, utrymmen med elutrustning och kontrollrum.

I den kontrollerade zonen finns delsystem för de olika processtegen:

- mottagning
- blysmältning
- blygjutning och svalning
- ugnscellen
- svetsning
- uttransport med hisschakt
- betonggjutning
- vattenbehandling
- service- och förrådsutrymmen.

Under normal drift är ventilationssystemens uppgift att skapa en lämplig arbetsmiljö och en för utrustningen passande temperatur.

Utrustningen upprätthåller ett svagt undertryck i utrymmen med större risk för nedsmutsning av radioaktivt material i förhållande till omgivande rum med lägre risk. Det är framför allt de utrymmen, där bränslet befinner sig efter upptagningen ur vattnet och före blygjutningen, som har lägre tryck än omgivande lokaler. Därigenom förhindras spridning av radioaktivt material genom läckvägar.

Frånluften från dessa utrymmen filtreras i absolutfilter, som samlar upp stoftformiga partiklar.

Ett eller flera hjälpventilationssystem installeras med uppgift att träda i funktion vid missöden i stationen, t ex om bränsle tappas och skadas. Om förhöjd radioaktivitet indikeras kopplas dessa hjälpsystem in och för frånluften genom kolfilter före utsläpp.

#### 4.4 Vattenförsörjning

Stationens största förbrukning av vatten inträffar då bassängerna fylls för första gången. Under drift renas och återanvänds det använda vattnet och behovet av vatten utifrån är mycket måttligt. Anläggningen förutsätts få vatten av dricksvattenkvalitet från ett kommunalt vattenverk. Ett mindre system för totalavsaltning ingår i stationen.

Avloppsvatten är huvudsakligen av sanitärt slag. Processvatten indunstas till största delen. Vatten från golvspolning och tvätt kan efter kontroll och neutralisering tömmas till ett kommunalt avloppsnät.

#### 4.5 Dieselsäkrade system

Anläggningen utrustas med en mindre dieselgenerator. Stationen är så utformad att avbrott i elförsörjningen kan tillåtas för mycket lång tid. Säkerheten mot radioaktiva utsläpp eller skydd för personalen påverkas inte av sådana avbrott. Vissa processer kan dock bli svåra att starta efter ett elavbrott. För personalen angelägna funktioner kan också behöva säkras. Därför försörjer det dieselsäkrade nätet bland annat elektriskt värmda blyledning, nödbelysning, vissa lyft- och transportsystem samt personhissar.

#### 4.6 Brandskydd

Anläggningens brandbelastning är låg. Inga i processen ingående material är brandfarliga. Kabelvägarna representerar de potentiellt mest utsatta ställena. Då dessa vägar i huvudsak går på okontrollerat område och således är lätt åtkomliga utifrån, har fast installerad sprinklingsutrustning ansetts obehövlig.

Anläggningen är av processen uppdelad i ett antal avdelningar, som även är ventilationsmässigt avskilda. Denna uppdelning medverkar även till att förhindra spridning av brand.

Brandbekämpningsutrustningen utgörs av en pumpcentral och ett distributionsnät för brandvatten med brandposter placerade runt om i och utanför byggnaderna. I dieselrum och dieseloljeförråd installeras halonsystem.

## 5. Layout

Inkapslingsstationens layout framgår av bifogade ritningar. Huvudprocess, sidoprocesser och hjälpsystem är samlade i en byggnadskropp. En separat entrébyggnad innehåller reception, kontor, omklädningsrum, cafeteria m m. Den står via en kontrollerad och en okontrollerad gång i förbindelse med processbyggnaden. All inpassage till den kontrollerade processdelen sker från entrébyggnaden.

Manövrering och övervakning av hanteringen i cellerna sker från manöverrum, varifrån man genom blyglasfönster kan betrakta processen. En sådan manöverplats finns vid gjut- och svetscellerna och en vid cellen för betongkokiller. Blyglasfönstren vid gjutcellen kan kompletteras med en vattenspalt, som bättre absorberar neutronstrålning.

Service och reparation av utrustningen i cellerna utförs normalt, sedan utrustningen med hjälp av traverser och transportvagnar flyttats ut ur cellen. Det är också möjligt att tömma cellerna på bränsle, varefter de kan beträdas av servicepersonalen. Traverser och annan utrustning kan ges underhåll på detta sätt. Om bränslet på grund av fel på utrustningen inte kan avlägsnas från en cell, finns möjlighet att föra ut transportvagnar och traverser till ett sidoutrymme genom öppningsbara portar.

## 6. Skyddsfrågor

En analys av säkerheten i anläggningen redovisas i KBS Teknisk rapport 112. Den behandlar främst konsekvenserna för personal och omgivning till följd av missöden i stationen. Man finner att även om en hel kassett med bränsle skulle tappas med stora skador på bränslet som följd så blir strålningspåverkan på omgivningen helt försumbar.

Personalen skyddas från den radioaktiva strålningen på skilda sätt i anläggningens olika delar. I mottagningsdelen utgör transportflaskan strålskärm. Den är utformad att ge erforderligt skydd både vid transporter på vägar och vid hantering i stationerna. Vid urlastning och demontering av bränslet har man hela tiden en flera meter tjock vattentäckning, vilken tar ner strålningen till en helt ofarlig nivå.

Det utrymme, där den radioaktiva strålningen blir störst, är den cell där bränslet lyfts ur vattnet. Denna cell förses med betongväggar av sådan tjocklek att personal ständigt kan uppehålla sig i intilliggande manöverrum. Blyglasfönster i väggarna konstrueras med samma strålskrämskrav.

Sedan bränslet nedsänkts i kopparkapseln utgör dess vägg-tjocklek en effektiv strålskärm. I gjutceller och svalceller, där locken ännu ej satts på kapslarna, är den uppåtriktade strålningen dominerande för dimensionering av cellernas väggar och tak. Kraven på vägg-tjockleken i dessa cellers nedre del är mycket måttlig från denna aspekt.

Strålningen från den färdiga kapseln redovisas i RF 78-73, som ingår i KBS Teknisk rapport 106. Ytdosraten är ca 100 mrem/h varav den största delen utgörs av neutronstrålning. Det är således möjligt att tillfälligt vistas i kapselns närhet för t ex justeringar av transportutrustningen. All hantering av kapslarna är dock fjärrstyrd från strålskärmad plats.

Övriga processer i stationen, där strålning förekommer, skärmas med betongväggar. Således är sidoprocessen för betongingjutning av metalledlar och hanteringen av jonbytarmassa uppbyggd på samma sätt som motsvarande system i kärnkraftstationerna.

## 7. Temperaturberäkningar för kapseln

Temperaturen hos det i kapseln insatta bränslet har beräknats enligt PM RCC 77-133. Beräkningen utfördes för ett fall utan blyfyllning och med variation av den utvecklade resteffekten och kapselns yttemperatur.

Aktuella parametrar är en yttemperatur på ca 50°C vid uppställning i luft, några tiotal grader högre i bergförvaring, och en effekt av 800 W. Detta ger en bränsletemperatur på ungefär 200°C i kapselns centrum. Denna understiger med hundratals grader de för bränslets integritet besvärande områdena.

Med blyfyllning kring bränslestavarna kommer värmeavledningen att förbättras. Det har inte ansetts nödvändigt att förnya beräkningarna, men ett överslag visar en temperatur i kapselns centrum på omkring 100°C.



8. Personalbehov

En bedömning av inkapslingsstationens personalbehov visar följande siffror:

Driftpersonal	17
Service och underhåll	11
Chefspersonal och administration	12
Totalt	<u>40</u>

Till denna personalstyrka skall läggas den för underjordsarbetet erforderliga personalen, till vilken även behovet för sand- och bentonitstationen skall räknas. Denna grupp torde uppgå till cirka 8 personer. Utsprängningen av bergrummen, som sannolikt kommer att pågå parallellt med förvaringsprocessen, kräver en separat arbetsstyrka.

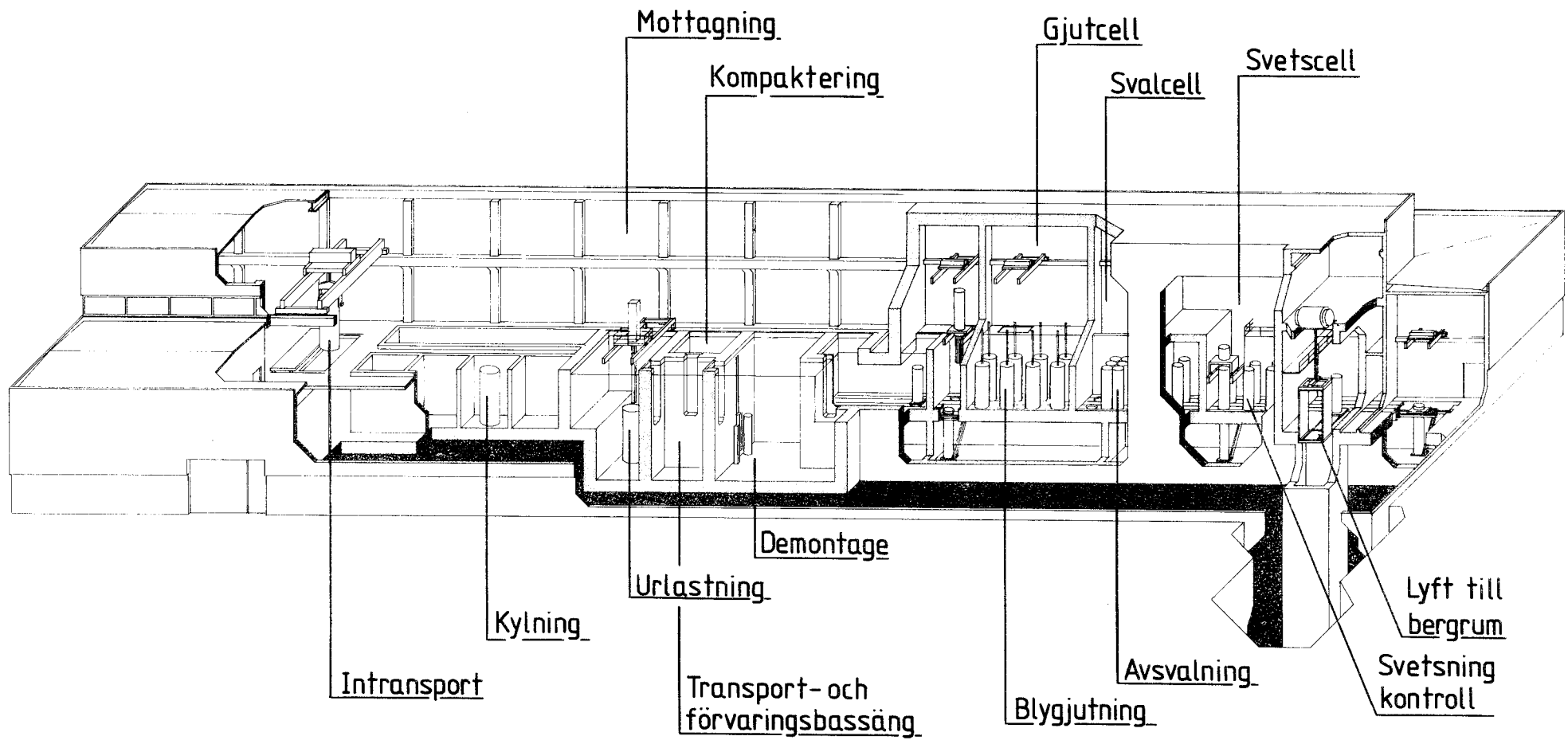
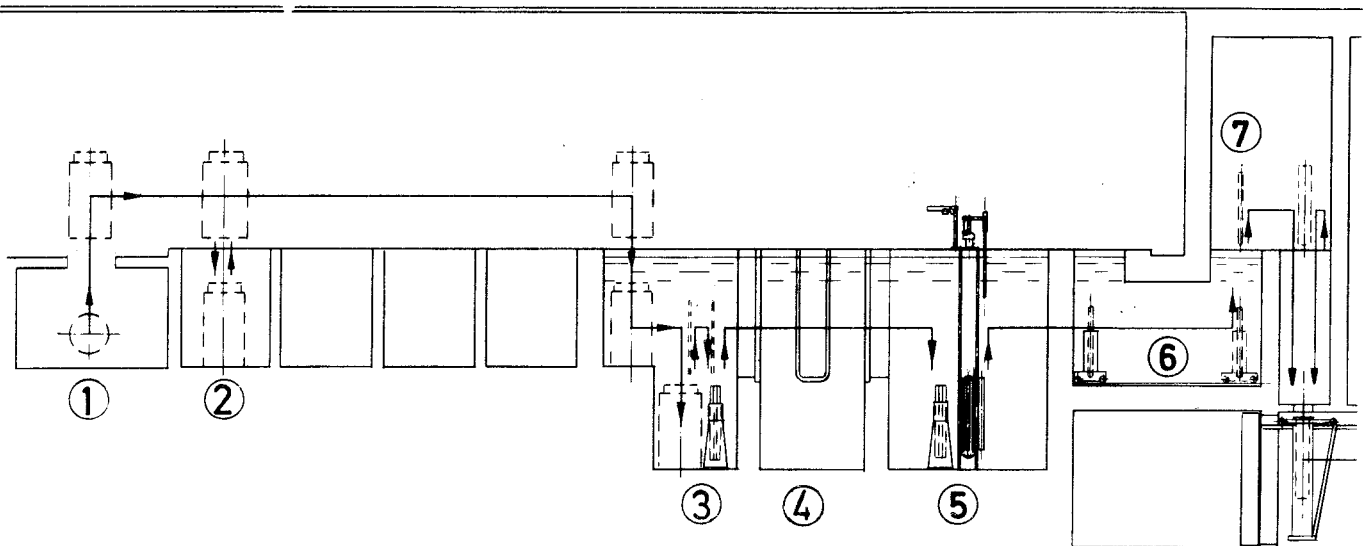


Fig 1 Inkapslingsstation

## Hantering i mottagningsdel



1 Ankomsthall

2 Kyl- och tvättposition

3 Tömning av transportbehållare

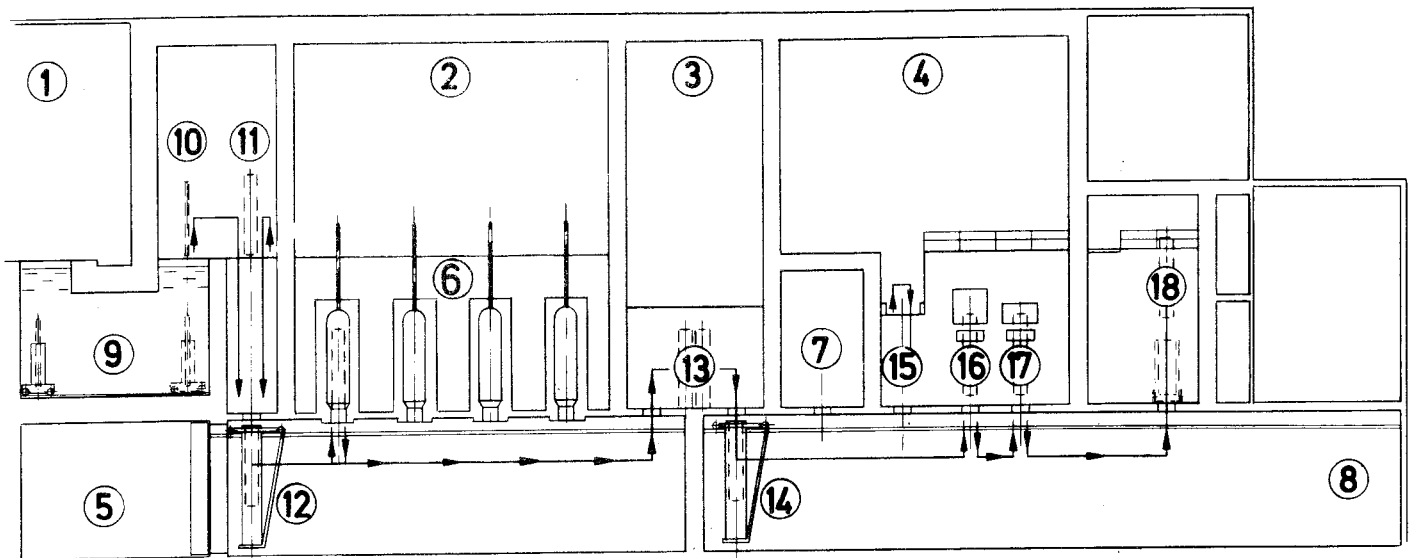
4 Transport och förvaringsbassäng

5 Demontering av bränsleelement

6 Slussvagn

7 Torkning av bränsleställ. Torkning och kompaktering av bränslespill

## Hantering i inkapslingsdel



1 Mottagningsdel

2 Gjutcell

3 Svalcell

4 Svetscell

5 Serviceutrymme för transportvagn 12

6 Ugnar för blyfyllning av kapsel

7 Utrymme för ev. öppning av försluten kapsel

8 Serviceutrymme för transportvagn 14

9 Transportsluss

10 Torkning av bränsleställ. Torkning och kompaktering av bränslespill.

11 Intransport av kopparkapsel från förråd

12 Transportvagn

13 Svalningsposition

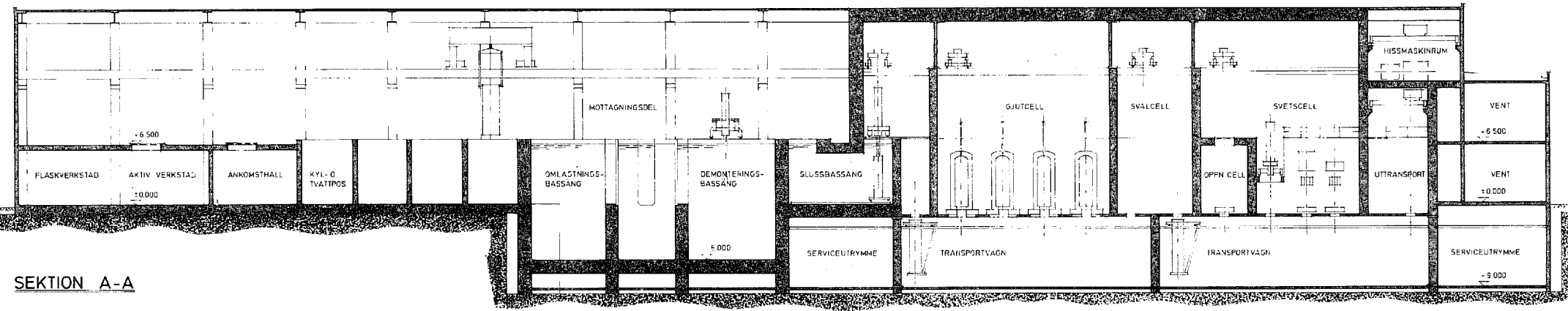
14 Transportvagn

15 Montageposition för lock

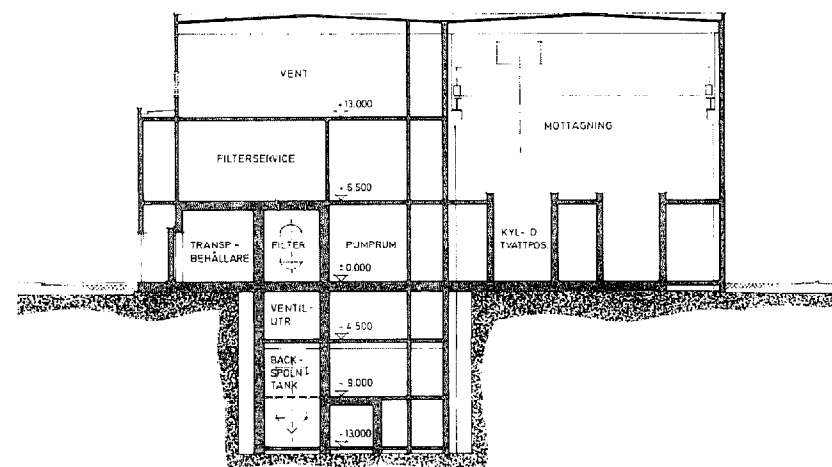
16 Svetsposition

17 Kontrollposition

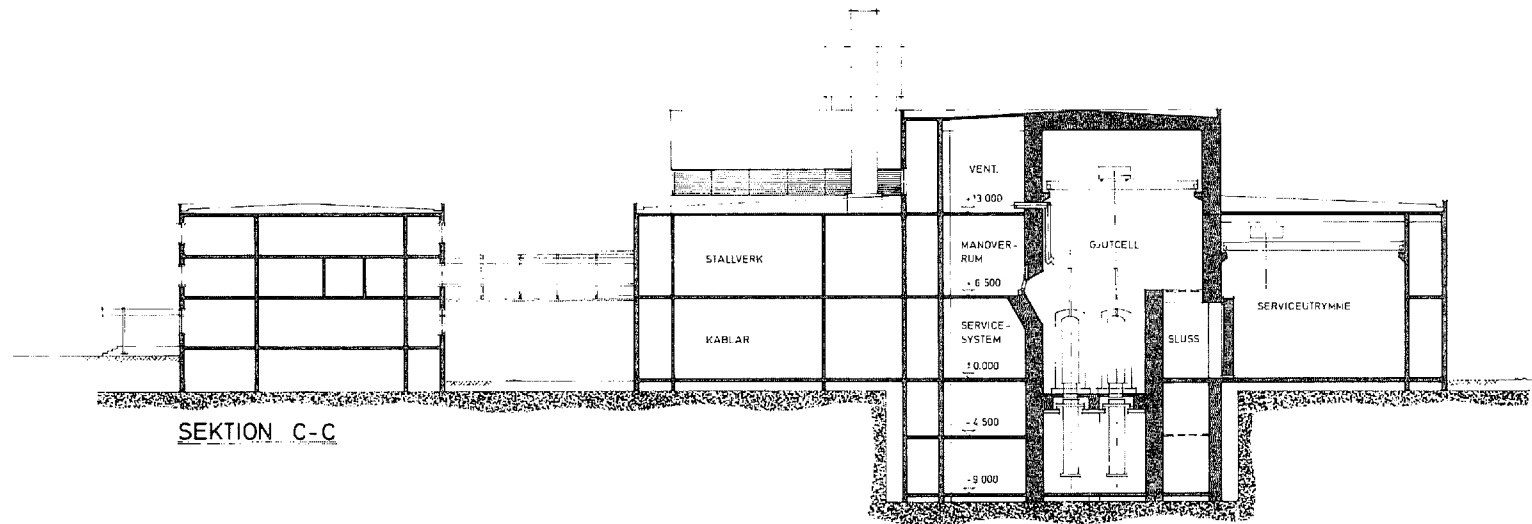
18 Uttransportposition



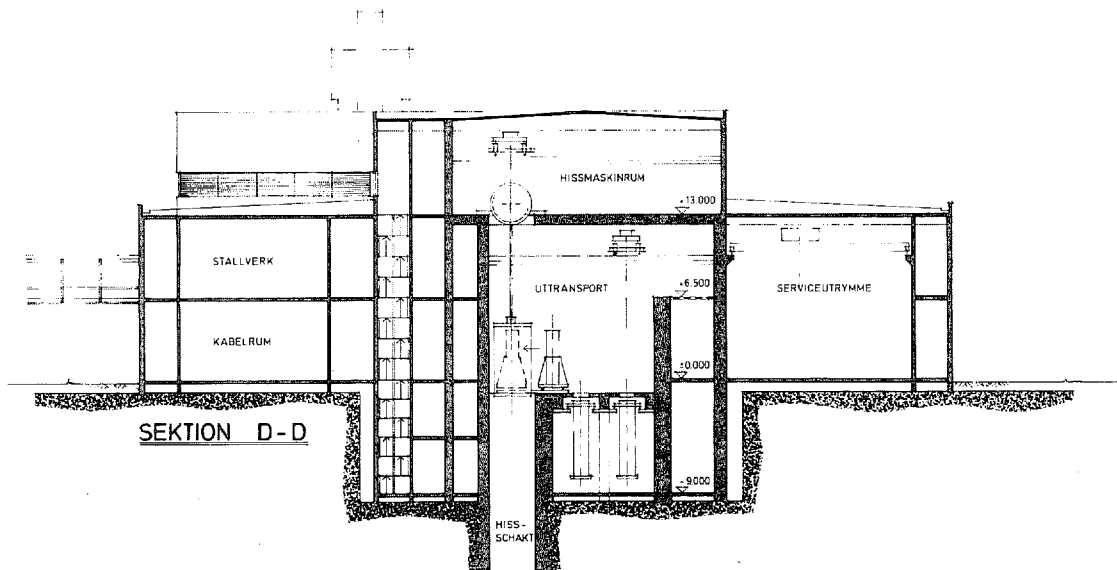
SEKTION A-A



SEKTION B-B

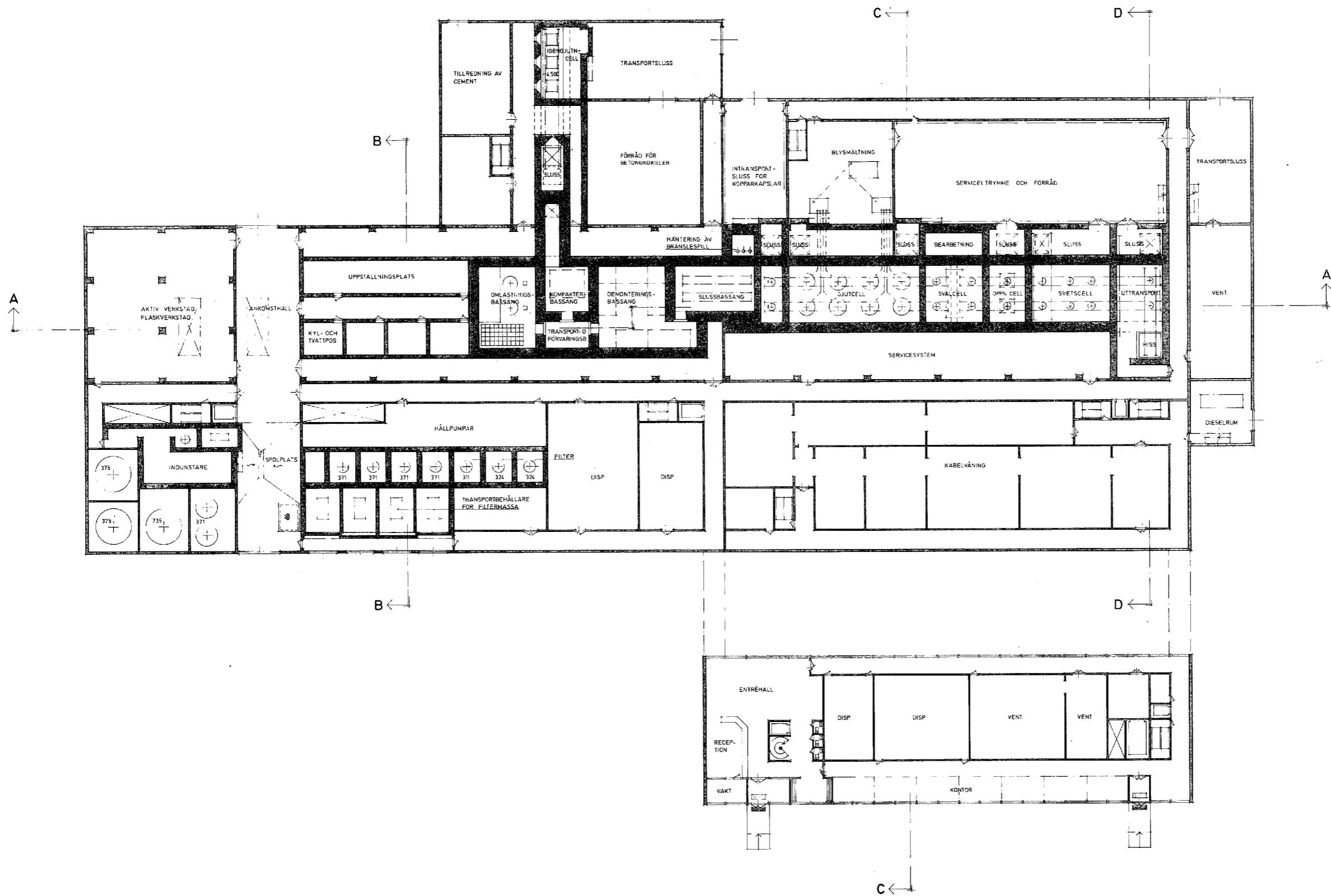


SEKTION C-C

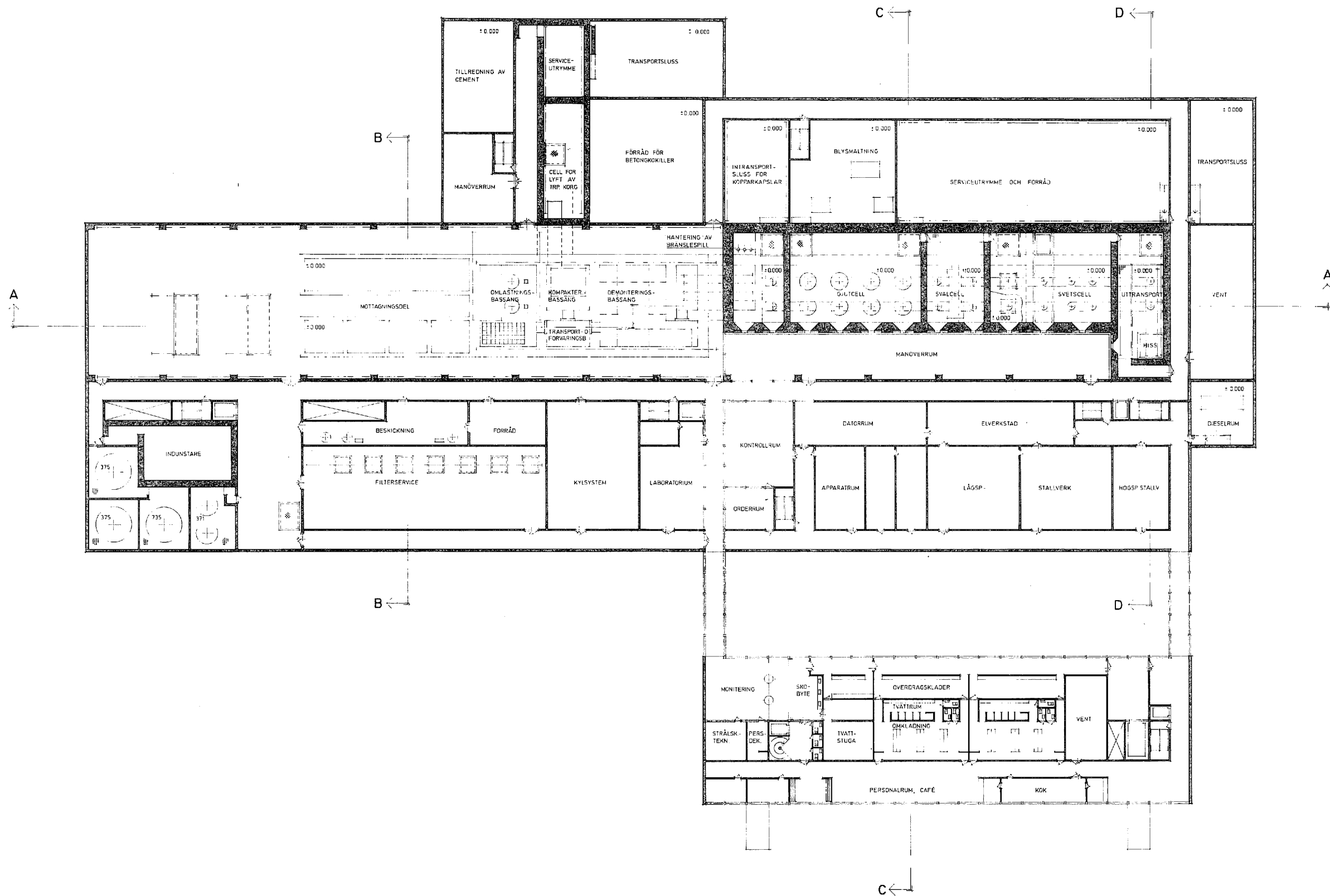


SEKTION D-D

K B S	ASEA-ATOM
	INKAPSLINGSSTATION
	BYGGNADSLAYOUT
	SEKTION A-A, B-B, C-C, D-D.
RITNING 03	



<b>K</b> <b>B</b> <b>S</b>	<b>ASEA-ATOM</b>
	<b>INKAPSLINGSSTATION</b>
	BYGGNADSLAYOUT PLAN ±0.000



<b>K B S</b>	<b>ASEA-ATOM</b>
	<b>INKAPSLINGSSTATION</b>
	BYGGNADSLAYOUT
	PLAN +6.500

KBS - Teknisk rapport 39

Bilageförteckning

Bilagorna är insatta i den ordning de åberopas i huvudtexten.

Där ej annat anges, kommer bilagan från ASEA-ATOM.

TK 78-124. Bränslemängder, kapselantal.

TK 78-22. Demontering av bränslepatroner vid slutlig deponering.

Alfredeen Teknik AB. Metodik för utfyllnad med bly i kopparkapslar innehållande utbränt kärnbränsle och avsedda för slutdeponering.

H Folke Sandelin AB. Förslag till smält- och gjut-  
utrustning för bly för utfyllnad i kopparkapslar  
avsedda för slutdeponering av utbränt kärnbränsle.

Ugnsbolaget TABO AB. Ugn för blygjutning i kopparkapsel.

ASEA KYDP 1120-7162. Kopparkapsel. Ultraljudprovning av koppar och elektronstrålesvets i koppar.

RF 78-222. Betongkokiller med bränsledelar innehållande neutroninducerad aktivitet - Strålskärmsberäkningar.

RF 78-48. Beräkning av neutroninducerad aktivitet i konstruktionsmaterial i bränslestavknippe.

TK 78-185. Bränslespill.

RB 78-43. Storleksfördelning av från skadade stavar frigjord uranoxid.

TK78-123. Hantering av blyrester från bearbetningen i svalcellen.

RCC 77-133. Maximala temperaturen i kapsel för lagring av utbrända bränsleelement.



Från	Datum	Reg.	Ad
TK	78-05-16		1
Utfärdare, tfn-nr			
B Lönnerberg, 3524			

Rev 78-08-17

SLUK - Bränslemängder, kapselantal

En noggrann beräkning av de bränslemängder, som skall slutförvaras, har gjorts. Beräkningen omfattar bränsle från 13 reaktorer med 30 års drift, dvs en härd och 29 bränslebyten enligt föreliggande bränslebytesscheman.

Slutsiffrorna innehåller ingen marginal för skadat eller av annat skäl utbytt bränsle.

BWR-bränsle har beräknats för 63 stavar per patron. (Exxon-bränsle har endast 60 uranfyllda stavar.)

BWR-bränslets stavdiameter är 12,25 resp 11,75 mm. PWR-bränsle för R2 har stavdiameteren 10,7 mm. Smärre avvikelser mellan Westinghouse- och KWU-bränsle försummas. PWR-bränsle för R3 och R4 har stavdiameter 9,68 mm.

Antalet kopparkapslar beräknas utgående från kapselns innerdiameter 370 mm. För BWR-bränsle får man då 498 stavar per kapsel med uranvikten 1,41 ton. PWR/R2-bränsle insättes med 498 stavar per kapsel eller ca 1,1 ton uran. Kapsel för PWR/R3+R4-bränsle rymmer 636 stavar med uranvikten 1,1 ton.

Sammanfattning

	Patroner	Stavar	Ton U	Kapslar
BWR	41.927	2.641.401	7.463	5.300
PWR/R2	1.433	292.332	640	590
PWR/R3+R4	2.866	756.624	1.320	1.190
<b>Totalt</b>	<b>46.226</b>	<b>3.690.357</b>	<b>9.423</b>	<b>7.080</b>

Bränsle från 13 reaktorer under 30 år

Reaktorer BWR	Patroner i härd	Byte/år, ca	Per 29 år	29 år + 1 härd	Ton U
O1	448	73	2117	2565	
O2	444	96	2784	3228	
O3	700	160	4640	5340	
R1	648	122	3538	4186	
B1	444	96	2784	3228	
B2	444	96	2784	3228	
F1	676	140	4060	4736	
F2	676	140	4060	4736	
F3	700	160	4640	5340	
F4	700	160	4640	5340	
				<hr/>	
				41927	7463
PWR					
R2	157	44	1276	1433	640
R3	157	44	1276	1433	660
R4	157	44	1276	1433	660
				<hr/>	
				4299	1960
			Ton U totalt		9423

## Antal stavar

BWR	41927 patr	à 63	=	2.641.401
PWR/R2	1433 "-	204	=	292.332
PWR/R3+R4	2866 "-	264	=	<u>756.624</u>
Totalt antal stavar 3.690.357				

Till	Från	Datum	Reg.	Blad
	TK	78-04-28		1 (11)
Utfärdare, tfn-nr				
B Lönnerberg, 3524				
Rev. 1978-09-11	Demontering av bränslepatroner vid slutlig deponering			

## Innehåll

- A Hanteringsgång vid stavplockning
- B Hanteringstider
- C Kapseldata
- D Kostnader
- E Bedömning av svårighetsgraden vid vissa hanteringsmoment

## A Hanteringsgång vid stavplockning

Nedan upptas huvudsakligen de moment som tillkommer utöver momenten vid hantering av hela knippen.

Först behandlas BWR-bränsle och därefter avvikelserna vid PWR-bränsle samt BWR-bränsle från Exxon. För PWR beaktas här endast Westinghouse-bränsle, som är något svårare än övriga.

### A.1 Stavplockning vid BWR-bränsle

1. Bränslet kommer i kassetter till demonteringsbassängen
2. Knippena lyfts till demonteringsposition. För att boxarna inte skall följa med hålls de fast i kassetten. Knippena ställs i en bestämd vridled i demonteringspositionen, så att bärande stavar alltid kommer på samma plats.
3. Verktyg appliceras, som håller bottenplatta och spridare i läge.
4. Bottenmuttrar fräses bort. Spån liksom fragment, som kan lossna från bränslet under hanteringen, uppsamlas med ett utsug vid botten. Utsuget leder en vattenström till en cyklonavskiljare.
5. Toppmuttrar skruvas bort. Under denna operation hålls respektive stav fast med ett gripverktyg, som införes under topplattan.
6. Ett gaffelformat don föres in under topplattan för att fixera stavarna. Det blir då lättare för gripverktyget att hitta rätt, eftersom stavändarna annars kan förskjutas något då topplattan avlägsnas.
7. Topplattan lyfts av. För att stavarna inte skall följa med skjuts först ett gaffelformat don in under plattan. Plattan placeras i en separat transportlåda.
8. Spridarhållarstaven vrids och lyfts bort till transportlådan. En särskild grip med vridrörelse används för detta moment.
9. Bränslestavar lyfts och flyttas till ett kopparställ. En grip krävs för vardera normala och gängade (bärande) stavar.

Kopparstället består av en ingjutningsdel, som deponeras tillsammans med bränslet, och en styrdel, som ger en hög packningsgrad och som efter fyllning med bränsle tas bort och flyttas till nästa ingjutningsdel.

Ingjutningsdelen består av ett centrumrör, förbundet med en bottenskiva, på vilken stavarna står. Centrumröret utgör även bärande del, då enheten lyfts. På bottenskvans periferi står en tunnväggig perforerad kopparcylinder som håller stavarna på plats, sedan styrdelen avlägsnats.

Styrdelen består av ett hexagonalt gitter av rör med innerdiameter 13 mm och godstjocklek 0,5 mm. Den har ett större hål i mitten, som passar kring ingjutningsdelens centrumrör och den fyller utrymmet mellan centrumröret och den perforerade cylindern. Några positioner i gittret har större öppningar för svällt eller deformerat bränsle.

Bränslestavarna sätts ner en och en i gittrets rör. Styrningen till rätt position sker därvid med en instyrningsträtt som genom en koordinatstyrning stegar sig fram över gittrets positioner. Vid lyftet ur patronen kan stavens diameter indikeras, så att man får en signal om den ej kan införas i gittrets normala positioner. Staven föres då till de större öppningarna i gittret. En minidator registrerar och lagrar tomma och fyllda positioner i gittret.

Stavarnas längd indikeras vid lyftet, vilket möjliggör information om brustna stavar. Den nedre delen av en sådan stav hanteras med separata verktyg och placeras i gittrets större öppningar.

10. Rester från bränslepatronen, spridare och bottenplatta plockas med eget verktyg över i transportlådan. Då denna fyllts, flyttas den över till den ena förrådsbassängen där kompakterings- och kapningsutrustning finns. Resterna placeras i en tunnväggig korg, som dräneras och torkas i gjutcellen, försluts i svetscellen och deponeras i betong i ett bergrum.

Bränsleboxar behandlas på samma sätt.

11. Sedan kopparstället fyllts, lyfts gittret över till en ny ingjutningsdel. I ingjutningsdelens nedre del sitter två styrplåtar. De har samma form som styrdelen och kan sägas utgöra två av styrdelen avsågade skivor. Bränslestavarna är således instuckna genom hålen i dessa plåtar.

Den undre styrplåten är fast och stannar i sin position då styrdelen lyfts. Den övre är rörlig och följer med styrdelen vid lyftningen. Den stannar i ingjutningsdelens övre ände där den låses med en låsanordning. Sedan styrdelen avlägsnats

hålls stavarna på plats av de båda styrplåtarna och kopparcylindern. För att förhindra stavarna att följa med i lyftet (enstaka stavar kan kärva mot gitterrören) förses gripen med en vibrator. Alternativt utföres lyftdonet med utstötningsstavar.

12. Ingjutningsdelen med bränsle lyfts till slussvagnen för transport till gjutcellen.
13. Övrig hantering likartad med den för hela patroner.

#### A.2 Stavplockning vid PWR-bränsle. Avvikelser från A1

2. Boxar saknas
4. Skruvhuvuden i bottenplatta fräses bort. Alternativt behöver endast svetslåsningsen vid skruvhuvudena fräsas bort med rörfräs, varefter skruvarna kan skruvas bort på likartat sätt som BWR moment 5. Patronen vändes.
5. Topplattan, som nu står neråt, lämnas orörd
6. Ett verktyg håller den översta spridaren i läge
8. Momentet utgår
9. Gripen för PWR-stavar har större diameter.

Ett antal patroner ur första härden i PWR-reaktorerna är försedda med borglasstavar. Dessa medföljer till slutförvaringen och behandlas som metallskrot.

#### A.3 Demontering av BWR-bränsle från Exxon

Exxonbränsle har en något annorlunda uppbyggnad än AA-bränsle. De fyra centrumstavarna är massiva zirkaloystavar, varav en tjänstgör som spridarhållarstav.

8 av de yttre stavarna är bärande. De är gängade i bottenplattan och fästs i topplattan med en sorts bajonettfattning.

Det behövs ett verktyg för att lossa bajonettfattningarna i topplattan, ett verktyg för att skruva de bärande stavarna ur bottenplattan och som reservmöjlighet ett fräsverktyg, som med en rörfräs tar bort gängningen i bottenplattan, om det inte skulle gå att gänga ur de bärande stavarna.

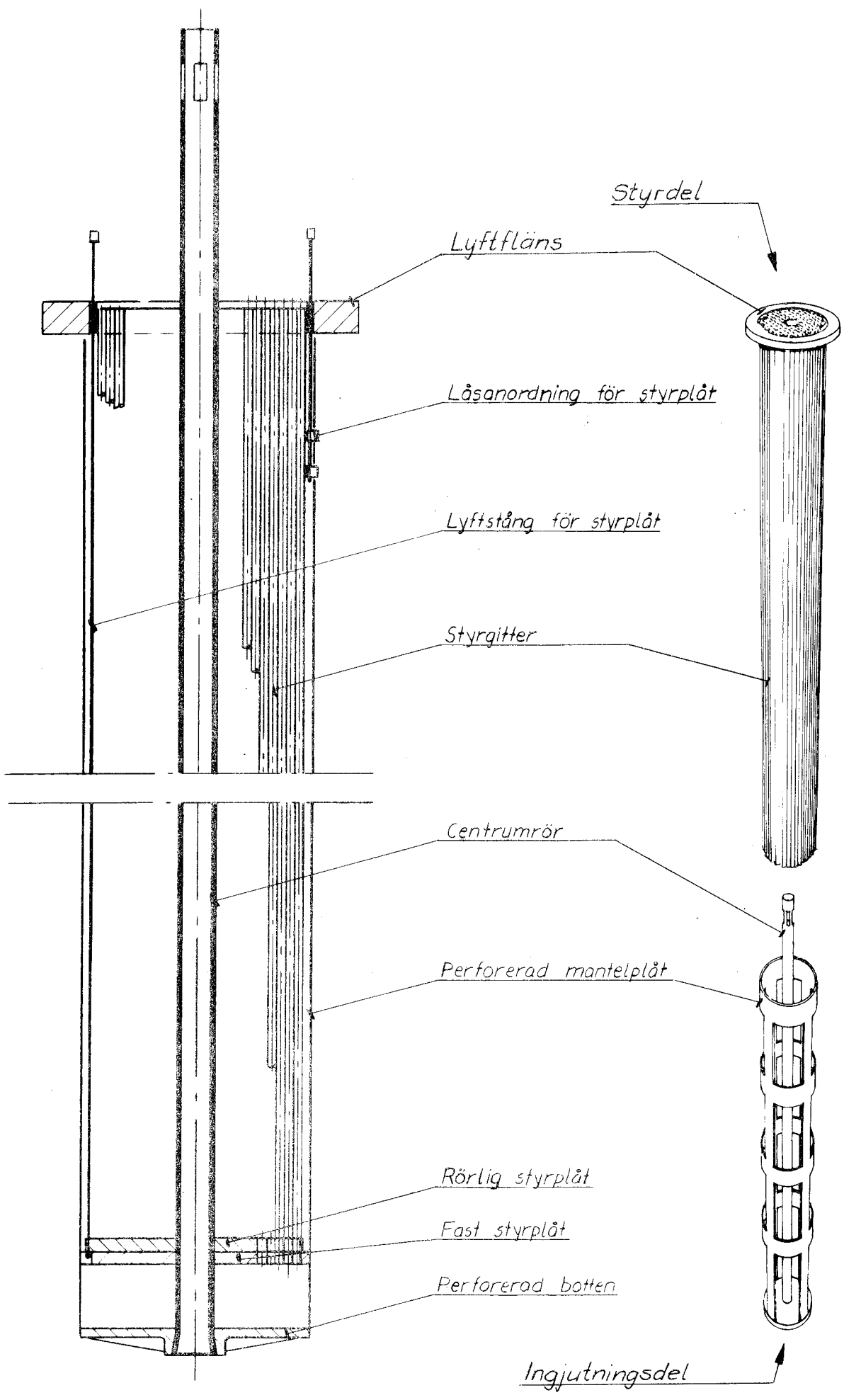
Spridarna i Exxonbränslet är högre än AA-spridarna (ca dubbla höjden).

Hanteringsgången blir följande

Moment 1-3 motsvarar hanteringen enligt punkt A1

4. Ett verktyg appliceras på topplattan. Verktöget lossar bajonettfattningarna på de 8 bärande stavarna.
5. Ett gaffelformat don föres in under topplattan för att fixera stavarna.
6. Topplattan lyfts av och placeras i transportlådan för metallkomponenter. För att stavarna inte skall följa med skjuts ett gaffelformat don in under topplattan.
7. Spridarhållarstaven vrids och lyfts bort till transportlådan.
8. Zirkaloystavarna lyfts över till transportlådan.
9. Bränslestavarna, utom de bärande, lyfts över till kopparstället.
10. De bärande stavarna skruvas ur bottenplattan och flyttas till kopparstället. För detta fordras ett verktyg med vridrörelse. Vridmomentet begränsas så att man undviker att vrida sönder stavar, som kärvar i bottenplattan. Sådana stavar lossas från bottenplattan genom att en rörfräs förs upp under bottenplattan. Fräsen bearbetar bort materialet runt gängan.

Övriga moment överensstämmer med punkt A.1 moment 10 och följande.



Ställ av koppar för bränslestavar



B Hanteringstider, personalbehov

Tiderna redovisas endast för BWR-bränsle. Hanteringen av PWR-bränsle är så likartad att bedömningen av den totala arbetsinsatsen bör bli samma oavsett bränsletyp. Endast extra tid utöver hanteringen av kompletta patroner anges.

Mom enl A1	Beskrivning	Tid min/patron
2, 3	Framflyttning av bränsle till demonteringspositon.	10
4	Fräsning av bottenmuttrar.	5
5, 6, 7	Toppmuttrar och -platta tas bort. Fixeringsdon sätts in.	10
8	Spridarehållarstav avlägsnas.	5
9	Stavplockning.	65
10	Bottenplatta och spridare flyttas bort.	5
11, 12	Styrdel flyttas, ingjutningsdel lyfts till slussvagn.	10
-	Reserv för trasigt bränsle, spec. händelser, spilltid	40
		Totalt 150

Vid varje station förutsätts dubbla, parallellt arbetande plockutrustningar, som vardera för över en stav på två minuter.

Med 10 BWR-patroner per dag blir total arbetstid 1500 min/dag eller 25 h/dag. 4 stationer vid enskift ger viss marginal för reparationer. Tillfälligt 2-skift bör ge tillräcklig extra reparations- och servicemarginal.

En separat station för PWR-bränsle förutses.

Personalbehov

Varje station betjänas av 2 personer vartill kommer en huvudansvarig för hela hanteringen.

I en senare konstruktion bör automatisering i viss utsträckning användas, men för denna kostnadsjämförelse beaktas inte detta alternativ.

4 stationer	8 pers
Arbetsledare	1 pers
Reserv	<u>1 pers</u>

Totalt 10 pers

Personalkostnader grundas på 1800 h/år och 100 kr/h.

Kostnader för utrustning grundas på 3 Mkr/station med prisindikation från utrustning som använts i Oskarshamn och Barsebäck.

C Kapsel- och kokillldata

		BWR	PWR/R2	PWR/R3+4
Antal stavar/kapsel (Patroner/kapsel ca		498 8	498 2.5	636 2.5)
Antal kapslar		5300	590	1190
Kapselns innerdiameter	mm	-	370	-
" inre längd	mm	-	4150	-
" ytterdiameter	mm	-	770/800	-
" yttre längd	mm	-	4700	-
" vikt (Cu)	kg	-	15600	-
Bränslets vikt	kg	2000	ca 1950	1800
därav U	kg	1410	ca 1400	1300
Blyfyllningens vikt	kg	2450	2500	2600
Betongkokiller för konstruktionsdetaljer				
Yttermått		1,6 x 1,6 x 1,6 m		
Innermått		0,8 x 0,8 x 0,8 m		
	resp ( för boxar och koppar- rester)	1,0 x 1,0 x 1,0 m		
Innervolym		0,5 m <sup>3</sup>		
	resp	1 m <sup>3</sup>		
Antal, BWR-detaljer		385		
boxar		420		
PWR-detaljer		325		
borglasstavar		5		
koppar från blybearbetningen		25		

D Kostnader

Kostnaderna räknas först nominellt och därefter görs en variabelanalys.

D.1 Nominella kostnader

Använda materialpriser

Cu: 15 kr/kg, Pb: 4 kr/kg

Antal kapslar	7100
Cu per kapsel, 15600 kg	234000:-
Pb per kapsel, ca 2500 kg	10000:-
Kostnad per kapsel	~ 245000:-
Summa kapselkostnad	~ 1750 Mkr

Personalkostnader vid stavplockning

10 pers x 1800 h/år x 100 kr/h = 1,8 Mkr/år  
 eller 54 Mkr/30 år.

Utrustning vid stavplockning

5 stationer x 3 Mkr/station = 15 Mkr  
 5 års avskrivningstid ger totalt 90 Mkr/30 år.

Totalkostnaden blir då ~ 1900 Mkr

Alternativet hela bränslepatroner

Antal kapslar	7900
Cu per kapsel, 22000 kg	330000:-
Pb per kapsel, 11000 kg	44000:-
Kostnad per kapsel	~ 375000:-
Totalkostnad	~ 3000 Mkr

Det är alltså ekonomiskt fördelaktigt att demontera patronerna.

## D.2 Variabelanalys

Följande variabler studeras

- materialpriser
- kopparkapselns tjocklek
- personalbehov
- kostnad för utrustning

Blypriset påverkar resultatet högst obetydligt. En ökning med 1 kr/kg ger en kostnadsökning på 18 Mkr.

Kopparpriset har en viss inverkan. Ökar Cu-priset med 1 kr/kg blir kostnadsökningen 110 Mkr.

Personalbehovet och utrustningen vid stavplockning ger ganska liten inverkan på totalkostnaden. En ändring på 25% av personal- och utrustningskostnad ger endast 35 Mkr ändring i slutresultatet.

Kostnaden för att ta hand om bränslets konstruktionsdetaljer i betongkokiller kan beräknas bli några tiotal Mkr.

## E Bedömning av svårighetsgraden vid vissa hanteringsmoment

Momenten enligt A1.

4. Bortfräsning av muttrar (BWR) och skruvar (PWR) i bottenplattor beräknas inte medföra några problem. Verktuget styrs till fasta lägen i bränslefixturen. Verktygsbyte sker under vatten. Spånor och förbrukade verktyg samlas i avsug eller i korg på bassängbotten. Vändning av PWR-patronen har utprovats av bl a KWU.
5. Ett don, som håller fast BWR-staven, då muttern skruvas av finns i nuvarande hantering.
7. Verktyg, som håller kvar BWR-stavarna, då toppplattan lyfts av finns redan nu i en enkel form, som används vid kraftstationerna.
3. Don, som håller fast spridare och bottenplatta finns i nuvarande hantering av BWR-knippen.
8. Vridningen av spridarhållarstaven är ett moment, känt från hantering i BWR-kraftstationer.

9. Gripning och lyft av BWR normalstavar följer samma mönster som våra kända arbeten. Gångade stavar liksom PWR-stavar behöver verktyg med andra gripdiametrar, men hanteras i övrigt lika.

Instyrningen i kopparställets styrdel sker med en tratt till fasta lägen. Tekniken kan sägas motsvara en förenklad form av automatisk styrning av verktygsmaskiner.

Inskjutning av stavar i 13 mm rör har framgångsrikt provats i AA laboratorium. Kärvning kan endast uppstå vid mycket krokiga stavar med pilhöjd  $> 3$  mm mellan spridarna. Det fåtal stavar som kan uppvisa sådan krokighet ställs i separata, rymligare positioner.

11. Då kopparställets styrdel (gittret) lyfts ur ingjutningsdelen kan i enstaka fall stavar sitta fast och vill följa med gittret. Detta förhindras genom att lyftdonet förses med en vibrator eller alternativt en enhet med utstöttningsstavar, sammanställda så att en stav går in i varje gitterrör. Stavarna styrs i de fria ändarna av en rörlig styrplatta med samma konfiguration som gittret.

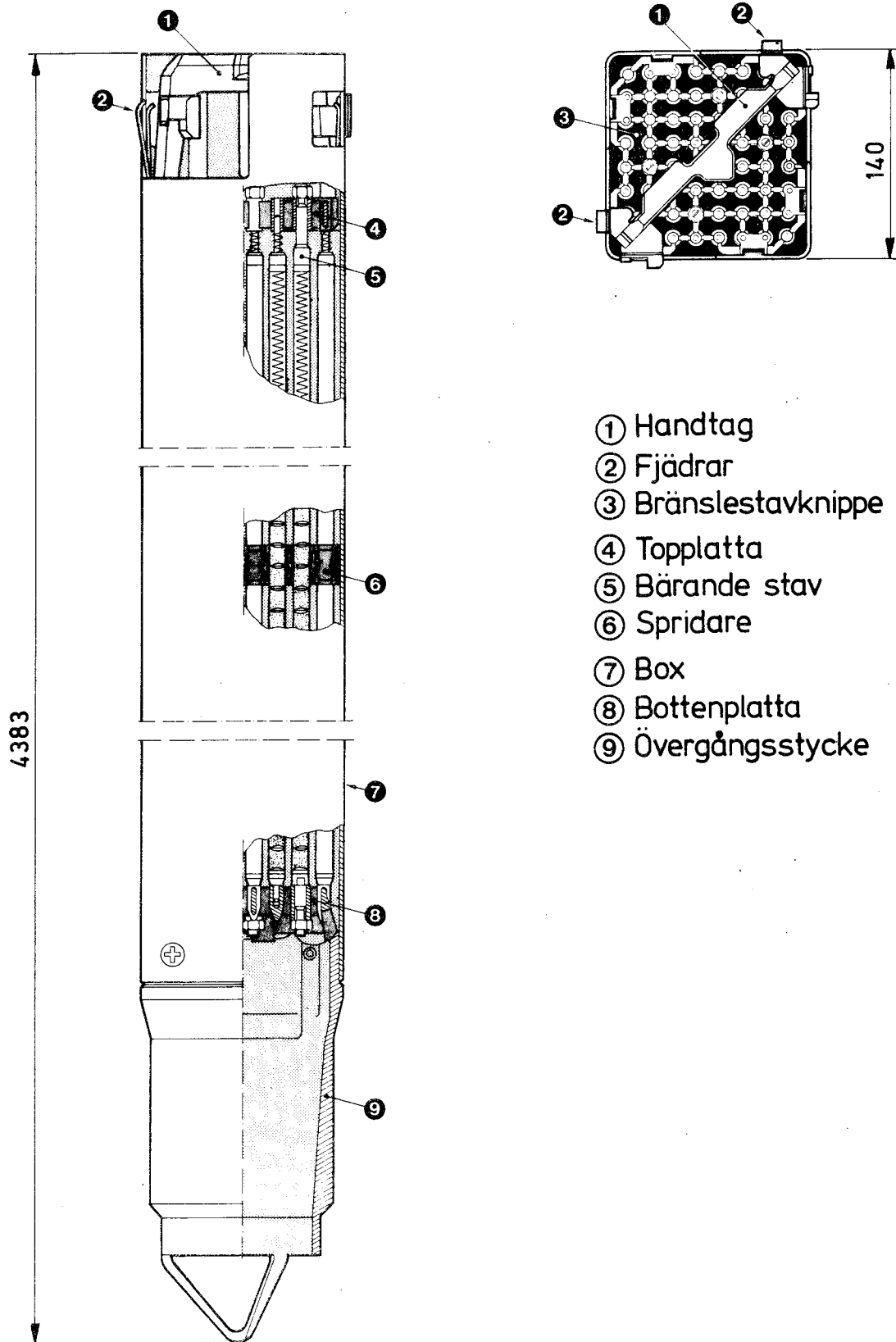
Denna teknik kan behöva prövas vid konstruktion av anläggningen, så att en väl fungerande metod kan användas. Metoden ovan bör inte medföra några större problem, men alternativt kan stavarna plockas in i en lutande ingjutningsdel utan gitter. En lutning på ca  $5^{\circ}$  motsvarar ett prov som tidigare gjorts. Stavarna lägger sig då i tämligen god ordning och en packning av 440 stavar per kapsel kan uppnås. Detta är ca 10% lägre än med gitter. En form av hjälpplåtar kan införas i den lutande ingjutningsdelen och då förbättras packningsgraden. En 10% lägre packningsgrad ger endast 175 Mkr minskning av kostnadsdifferensen.

#### Övriga synpunkter

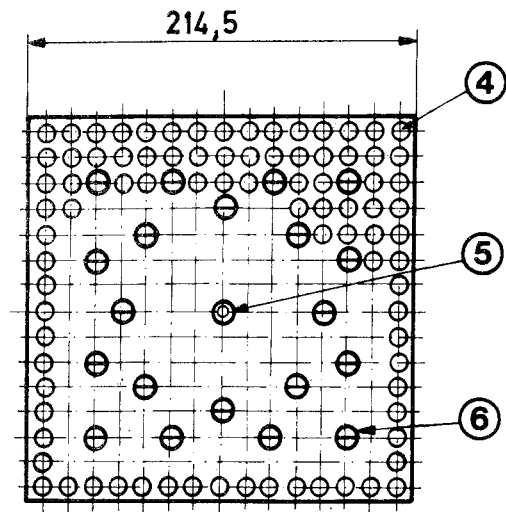
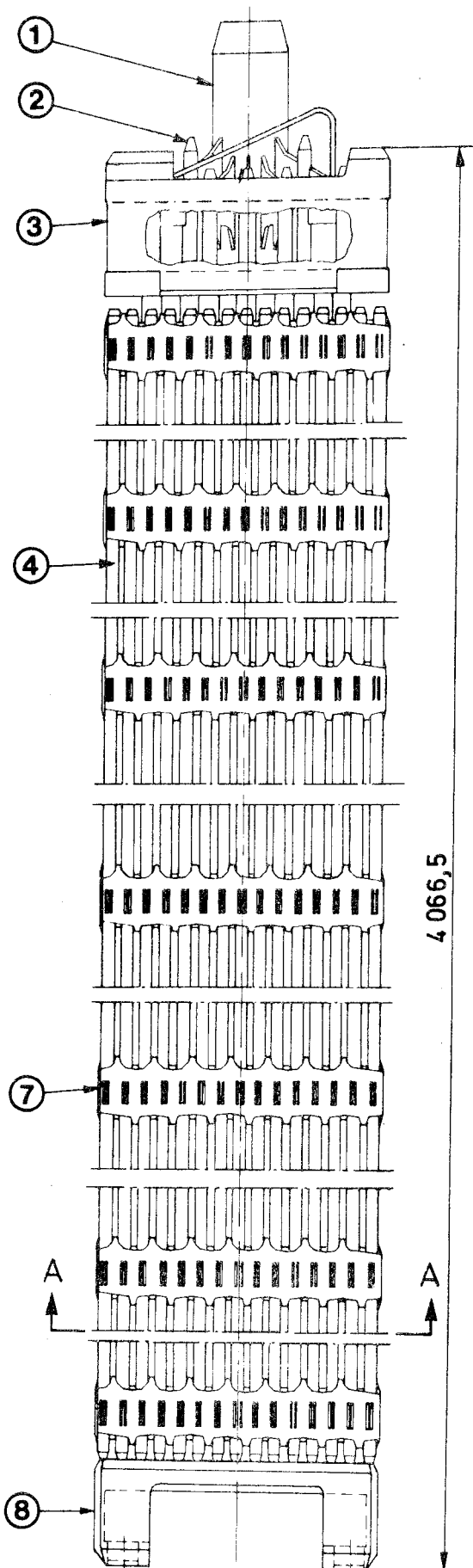
Indikering av stavarnas längd för kontroll att de inte gått av utförs med konventionell teknik. Även diameterkontroll kan utföras med tekniska hjälpmedel lika dem som används i processindustri.

Bly har visat sig flyta väl in även mellan tätstående stavar. Det utgör alltså inget problem för stavplockning.

# BWR - Bränslepatron

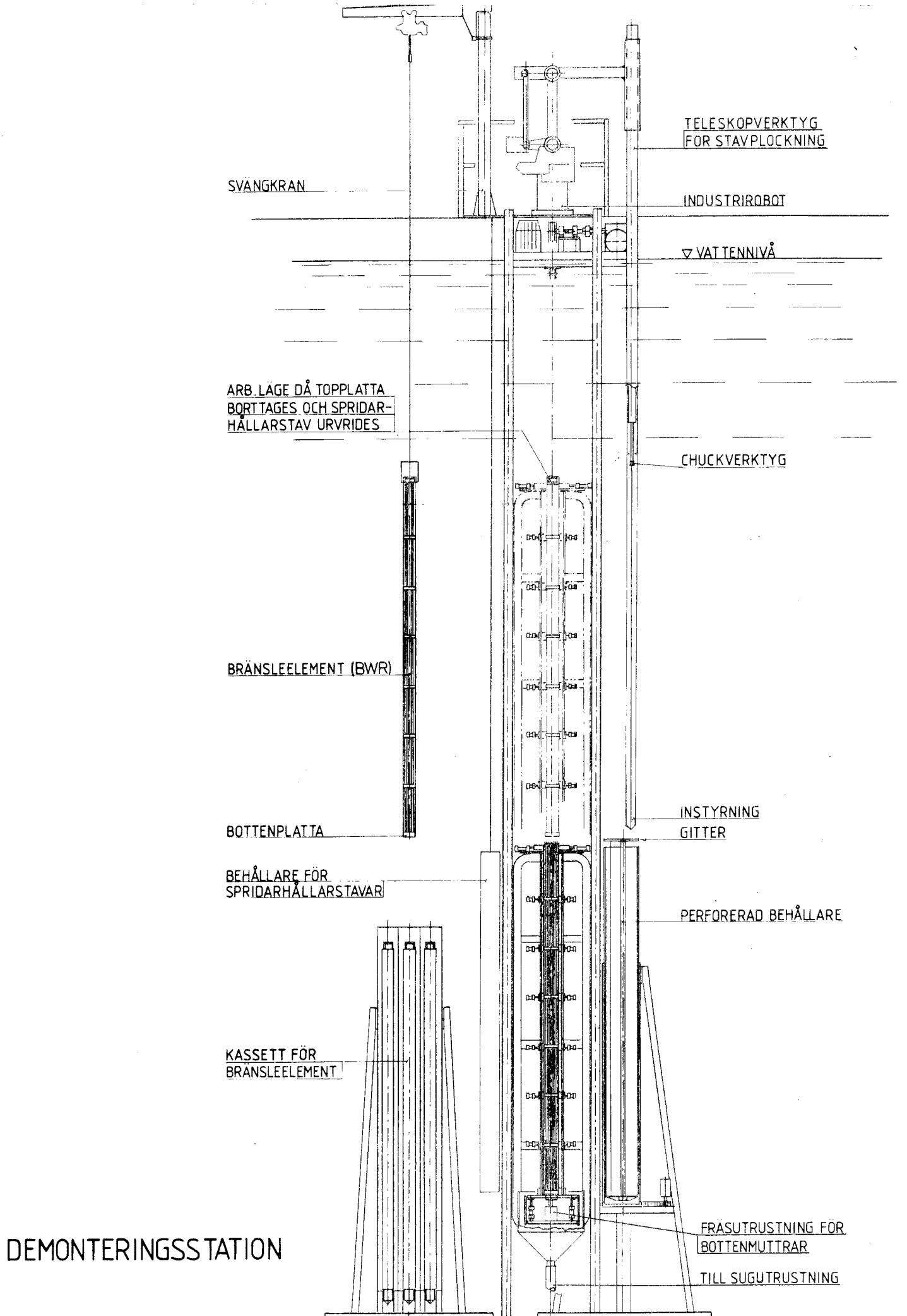


# PWR - Bränslepatron Ringhals 2



A - A

- ① Styrstavsknippe
- ② Styrstav
- ③ Topplatta
- ④ Bränslestav
- ⑤ Ledrör för neutronflödesmätning
- ⑥ Styrstavsledrör
- ⑦ Spridare
- ⑧ Bottenplatta



TELESKOPVERKTYG  
FÖR STAVPLOCKNING

SVÄNGKRAN

INDUSTRIROBOT

∇ VAT TENNIVÅ

ARB. LÄGE DÅ TOPPLATTA  
BORTTAGES OCH SPRIDAR-  
HÅLLARSTAV URVRIDES

CHUCKVERKTYG

BRÄNSLEELEMENT (BWR)

INSTYRNING  
GITTER

BOTTENPLATTA

PERFORERAD BEHÅLLARE

BEHÅLLARE FÖR  
SPRIDARHÅLLARSTAVAR

KASSETT FÖR  
BRÄNSLELEMENT

FRÅSUTRUSTNING FÖR  
BOTTENMUTTRAR

DEMONTERINGSS TATION

TILL SUGUTRUSTNING





datum  
1978.02.15  
ert datum  
1978.02.03

beteckning  
AZ/69513  
er beteckning  
88 PB 1051

AB Asea Atom  
Box 53  
721 04 Västerås 1

Konsultuppdrag:

"Metodik för utfyllnad med bly i kopparkapslar innehållande utbränt kärnbränsle och avsedda för slutdeponering".

Konsultuppdragets handläggare: Adam Zausznica

Medarbetare i konstruktionsfrågor: Torsten Malmgren

## R A P P O R T

Föreliggande rapport utgör en redovisning av laboratorieförsök och utredningar genomförda under tiden 1977.12.12 - 1978.02.15 för fullföljande av rubricerade konsultuppdrag.

Uppdragets art och omfattning definierades preliminärt av uppdragsgivaren 1977.12.19, preciserades och utvidgades 1978.01.04 och slutligen justerades definitivt 1978.02.08. Det kan sammanfattas i följande arbetsinsatser.

1. Val av blymetallkvalitén och metodik (teknologi) för utfyllnad av kopparkapslar.
2. I samråd med tillverkaren av utrustningen för ändamålet (se separat rapport från konsulten: Firma H. Folke Sandelin) utarbetande av en optimal teknik för utfyllnaden med bly.
3. Verklighetssimulerande gjutförsök av blyutfyllnaden av ett zirkoniumstavpaket (i olika alternativ).

Huvudkontor: postadress  
Götlundagatan 34 · 124 46 Bandhagen Sweden  
Filial:  
Domkyrkoespl. 1A 722 13 Västerås

telefon  
08/99 01 70  
021/18 19 90

telegram  
Ingalfred  
Ingalfred

telex  
17827 Alfred S

bankgiro  
472-9612  
472-9612

postgiro  
25 40 41-7  
25 40 41-7

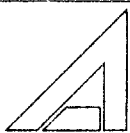
4. Utredning och beräkningar av gjuttekniska processer samt utarbetande av teknik och åtgärder i syfte att åstadkomma en optimal utfyllnad utan porer, kaviteter och spalter. (T.ex. stelningsspipe, svalningsspalt etc.)
5. Diskussion om rheologiska fenomen med bly-zirkoniumstav-  
"kompositen" under avsvaningstiden.

#### 1.1.0. Val av blymetallkvalité.

Vid val av blymetallkvalité leddes vi av samma bedömningar som framförts i vår rapport till KBS, konsultuppdrag rörande metodiken för inneslutning av förglasat högaktivt avfall efter upparbetningen. (Ref. 1).  
Användning av H.P.O.F blykvalité, enligt en materialspecifikation uppgiven i refererade rapporten rekommenderas. (Även Ref 2).

#### 1.2.0. Val av metodik för utfyllnad av kopparkapslar.

I förstudieskedet har förutsättningslöst olika utfyllnadstekniker utretts. Blymantling av stavar, prefabricering av perforerade blyskivor och "billets", extrusion av fyllnadsprofiler o s v har förkastats. Gjutningsförfarande ansågs i detta fall vara det mest lämpliga.  
Det enklaste gjutsättet: hällgjutning (tappning) ansågs dock mindre lämpligt p g a sitt okontrollerbara förlopp och farhågor för bildande av kaviteter och tomrum i blyutfyllnaden. Sänkgjutning och stiggjutning befanns



likvärdiga från gjutningsförfarandesynpunkt. Bägge kan användas i det aktuella fallet. Dock har stiggjutningsförfarande vissa fördelar ur konstruktionsteknologisk synpunkt. Det kräver nämligen bl a mindre utrymme (i höjden) och är enklare i hanteringen. I diskussion i den föreliggande rapporten har stiggjutningsförfarande adopterats och det är den teknologin som skall allsidigt analyseras. Konstruktiva lösningar av utrustning och installationer anpassas således i princip till stiggjutningstekniken. Det bör dock anmärkas att den adopterade metodiken med stiggjutning är en av framkomliga vägar för åstadkommande av en tillfredsställande fyllning av kopparcylindern. Vid användning av vissa tekniker t.ex. ultraljudbestrålning av smältan (en process som är föga utredd i vad mån den kan vara lämplig i användning med utbrända bränslestavar), kan andra varianter av gjutförfarande väl komma till pass. (Ref. 3)

#### 2.1.0. Smält- och gjututrustning

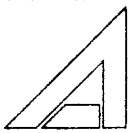
Eftersom smältutrustningen måste placeras i direkt anslutning till för radioaktivitet utsatta utrymmen och även direkt kommunicera med dessa, har speciella säkerheter byggts in i lay-outen och lämpliga avskärmningar bildats för ändamålet. I princip skall smältutrustningen baseras på grytor av standardkonstruktion. Ett par i serie samverkande enheter: 1 gryta med en kapacitet av 60-80 ton bly matad med 1 tons block, en andra gjutningsgryta med 18 tons kapacitet förberedd

för sluten inert gas, inre atmosfär (och ev. vakuum). Miljö kring grytorna: normal industriell verkstadsmiljö (med undantag för avskärmningar enligt ovan vid genomföringar till de utsatta utrymna). Stora grytan skall vara försedd med samma bly cirkulations- och raffineringssanordningar för behandling av H.P.O.F bly typ som projekterats för tillverkningen av extruderade blykapslar för förvaring av högaktiv kärnbränsleavfall (KBS Projekt, Rapport 21.13). Överföring av bly från stora grytan till tappningsgrytan sker genom pumpning. Ett andra pumpsystem är inkopplat mellan tappningsgrytan och blyutloppsröret. Detta pumpsystem, arbetande med lågt varvtal, ger ett blyflöde av ca. 4 l/min d v s 45 kg/min. Pumpsystemet är styrt av en elektrisk signal för stopp vid uppnådd fyllning. Inräknat tröghetseffekter hos pumpen samt överföringsfördröjning är doseringsnoggrannhet + 2 kg.

### 3.0.0. Verklighetssimulerande gjutförsök.

Syftet med dessa försök var att klarlägga:

- 1) Zirkoniumrörens kontaktbeteende gentemot flytande bly
- 2) fyllningsgraden, kontaktytornas beskaffenhet, gjutbarhet o.s.v. i ett bly-zirkoniumrörpaket med maximal delning "pitch".
- 3) Dito, - med minimal delning d v s zirkoniumrör i kontakt.



### 3.1.0. Zirkoniumrör i kontakt med flytande bly.

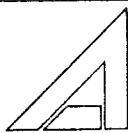
Försök gjordes med doppning av "vita" och "svarta" zirkoniumrör i ett blybad med en temperatur 375-380°C och 400-405°C. Förutom kända förändringar (beroende av temperaturen) i zirkoniumrörens utseende ("svarta" rör bleknade, "vita" mörknade en aning) har inget som skulle förebåda svårigheter vid kontakt bly-zirkonium (oxid) kunnat observeras. Detta gällde rengjorda rör. Rör utan rengöring med spår av handkontakt uppvisade tendens till "stickning" av blyet i små ibland mikroskopiska droppar. Blysmälta hålld över uppvärmda till samma temperatur och rena zirkoniumrör rann smidigt ner utan att "sticka" eller lämna spår efter sig. Zirkoniumrör sänkta i blysmälta under längre tid börjar uppvisa en färgförändring i gränsytan bly-luft och en tunn "krage" av vidhäftade "ojämnheter". I argon atmosfär var detta fenomen mycket mindre avtecknat. I reducerande miljö ovanpå smältan observerades inga ojämnheter, däremot en färgförändring åt motsatt håll d v s en ljusare smal remsa i höjd med blynivån. Allt detta tyder på att i kontaktytan mellan bly och zirkonium uppstår stökiometrisk förändringar i vilka sygen ingår som agens. Denna slutsats understryker även nödvändigheten av en betryggande neutral atmosfär vid förberedande operationer före gjutningsprocessen (i verkligheten) samt av att själva gjutningen helst borde utföras under vakuum.

### 3.2.0 Gjutning av ett modellpaket med normal delning ("pitch")

Ett modellpaket med 7 st. zirkoniumrör byggdes upp i enlighet med packningsmönstret och "pitchen" som framräknats som optimal (från krympningsbeteendesynpunkter behandlade nedan). Paketen placerades i ett bottnat stålrör och sänktes i ett blybad med en temperatur av 380° C. Någon styrning av "pipe"-bildning vid stelning var icke möjligt att åstadkomma. "Pipen" bildades oregelbundet i övre delen av paketen i mellanrummen kring centrumröret. Zirkoniumrören var utfyllda med stålstänger (simulation för "bränsle"). Som framgår av fotografierna i bilaga 2 a, b, c, d är jämnheten i blyfyllningen och i kontaktytorna mellan bly och zirkoniumrör i nedre delen av paketen i högsta grad tillfredsställande och bjuder icke att anmärka något på. (Bortsett från dåliga kvalitén på metallografisk förberedning av snittet; en teknik som för kombinationen bly-zirkonium är hittills okänd.)

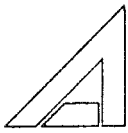
### 3.3.0. Gjutning av ett modellpaket med minimal delning ("pitch")

Syftet med detta försök var dubbelt. För det första klarlägga vad som händer med blyfyllningen ifall två stavar (till följd av "vågighet") kommer i kontakt med varandra på en viss sträcka. För det andra kombinerades detta försök med styrning av "pipen" till det centrala röret. (Anm.: blyet som användes i detta försök var av HPOF kvalitét). Även resultatet från detta försök var högst tillfredsställande. Man förväntade sig att "spetsarna" hos "trianglarna" skulle avbrytas (avtrubbas) vid kontaktpunkten (generatrisen) mellan zirkoniumrören.



Det kunde man inte alls iakttaga. (Se bilaga 3 a, b, c). Blyet tränger in mellan rören med en vass egg längs hela kontaktgeneratrisen. Detta resultat måste anses som helt betryggande sett ur den synpunkt att man strävar efter en perfekt fyllning av mellanrummen mellan stavarna utan tomrum och kaviteter. Styrning av "pipen" har åstadkommit genom att lämna det centrala röret tomt och lyfta upp det en aning (1 cm) över de andra för att underlätta flödet utåt. Stelningskaviteten var i sin helhet koncentrerad till en sektor i det centrala röret.

Resultat av de tre genomförda försöken tyder på att farhågor beträffande svårigheter att åstadkomma en tillfredsställande utfyllnadsgrad med bly av ett zirkoniumstavpaket icke besannades. Det syns icke föreligga någon fara på den punkten.



#### 4.0.0. Utredning och beräkningar i samband med gjutningsprocesser.

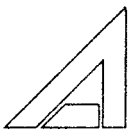
Rubricerade utredningar och beräkningar syftar till klarläggande av betingelser för åstadkommande av en optimal utfyllnad av bly-zirkoniumstavpaketen utan porer, kaviteter, spalter och dyl., som kan uppstå till följd av gjutnings-, stelnings- och svalningsprocesserna.

#### 4.1.0. Gjutningsförfarande

Gjutningens parametrar har blivit preciserade ovan i den föreliggande rapporten samt av teknologierna beskrivna i resp. sido-rapporter av andra konsulter (H.F. Sandelin AB, Ugnsbolaget Tabo AB) och uppdragsgivaren. Vad som här bör kanske påpekas är att den adopterade metodiken med långsam stiggjutning under vakuum med en stigningshastighet av blyspegeln 7-8 cm per minut påtagligt minskar möjligheter till bildandet av porositeter i gränsskiktet mellan bly och zirkoniumrör. Det under gjutningen rekommenderade vakuum bör vara bättre än  $10^{-4}$  torr och åstadkommet av en vakuumpump som kan underhålla detta vakuum under volymminskningen genom fyllning av kopparcylindern.

Ett sätt att öka blyets fluiditet (flytförmåga) vid kontakt med zirkoniumrören och smältans penetration i alla förträngningar mellan stavarna är att låta för-

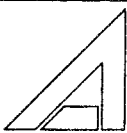




värma stavpaketen till en högre temperatur än blysmältans. Den marginal som nämndes ovan  $380^{\circ} - 400^{\circ} \text{ C}$  räcker till fullo för att åstadkomma en sådan befrämjande effekt för flytbarheten. Stavpaketen rekommenderas således att bli uppvärmd till en temperatur med  $10^{\circ} \text{ C}$  högre än blysmältans i tilloppsroret. Dock kan blytemperaturen (tills ev. försök med H.P.O.F bly icke skall tyda på annat) ej underskrida  $380^{\circ} \text{ C}$ .

#### 4.2.0 Krympningsfenomen vid stelning av blyutfyllnaden

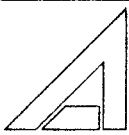
De i facklitteraturen förekommande uppgifter betr. volymkrympningen vid stelning av blysmälta till fast metall vid samma temperatur ( $327,4^{\circ} \text{ C}$ ) är mycket varierande och osäkra. De uppgivna data varierar från 3,2 till 3,9 % volymminskning. Denna variation mellan litteraturkällorna bör tillskrivas odefinierbarheten av det som av resp. författare betraktades som "pure lead" samt, i icke mindre grad, stelningsformens värmeöverföringsegenskaper, material osv. I synnerhet, av erfarenhet från försök på Asea-Kabel har vi kunnat konstatera att krympningskavitetsens utbredning för avoxiderat bly (Britannia Lead, HPOF-lead) är mindre än den som förekommer hos konventionella blytyper. Den geometriska uppmätningssmetoden är bristfällig i princip. Vi har därför använt oss, för bestämning av volymminskningen vid stelningen, av en metod bestående av mätning av densitetsförändring vid  $327,4^{\circ} \text{ C}$



mellan smält och fast bly. Dessa mätningar har givit ett värde för den teoretiskt möjliga krympningskaviteten till 2,9% av smältans volym.

I vårt fall är den axiella dimensionen av krympningskaviteten av mindre relevans då krympningen avtecknar sig som en "trattbildning" på kroppens övre plan och är lätt att påfylla i efterhand. Det som måste i denna studie analyseras närmare är den ytmässiga utbredningen av krympningskaviteten i kapselkroppens tvärsektion, samt med vilka åtgärder bortskaffas en sådan kavitet.

Om man på goda grunder kan anta att den longitudinella (axiella) krympningen av den komplicerade "cylindriska" fyllningskroppen av bly är 0,9 % så blir värdet för ytkrympningen i tvärsektionen ca 2 % av blyarean. Vid det av oss antagna optimala packningssystemet upptar blyet ca 45 % av kopparkapselns sektionens area d v s (avrundat)  $485 \text{ cm}^2$ . Detta skulle ge en krympningskavitetsarea i tvärsnittet (2%) av  $9,7 \text{ cm}^2$  d v s en cirkulär kavitetssektion med en diameter av 35 mm. Problemet består således i att genom uppläggning av ett lämpligt kylningsförlopp styra in kavitetsbildningen till den centrala delen av stavpaketen d v s i praktiken till det centrala röret utgörande det bärande elementet för korgen och inhysande tilloppsledningen för blysmältan.



#### 4.2.1. Efterfyllning av krympningskaviteten

Enligt inkapslingssystemets förutsättningar för fyllningen av kopparkapseln skall uppkomst av tomrum och kaviteter minimeras. Den till det centrala röret lokaliserade kaviteten måste således bortskaffas. Nedan beskrives ett av möjliga sätt för genomförande av "pipens" bortskaffande. Under vakuumbehandling av de uppvärmda stavpaketen i kopparcylindern införes i korgens centrala rör, ett teleskopiskt manövrerat tillloppsrör för blysmälta, överdimensionerad i diametern. I detta rör är även en värmeelementstav koaxialt instucken. Mellan värmeelementet och rörets inre vägg förutses en spalt vars area är lika med arean för rörledningarna i blypumpsystemet förslagsvis  $500 \text{ mm}^2$  ( $\varnothing = 1''$ ).

Efter införande av röret med värmeelementet till kopparkapselns botten kan tappning av blyet (strömmande i spalten mellan elementet och skyddsröret) börja.

Gjutning utföres och vakuum underhålles under 1 timme. Neutral gas införes och kylningsprocessen påbörjas; i början snabbare, med ett antaget temperaturfall med ca  $10^\circ \text{ C/tim}$  ner till  $340^\circ \text{ C}$  och sedan långsammare med ca  $5^\circ \text{ C/tim}$  ner till en temperatur av  $330^\circ \text{ C}$ . Kring denna temperatur och smältpunkt  $327,4^\circ \text{ C}$  och ner till  $320^\circ \text{ C}$  styrs kylningen mycket långsamt; temperaturfall  $2^\circ \text{ C/tim}$ .

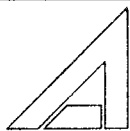
Under detta skede bildas "pipen". Vid en temperatur av fyllningskroppen av  $315-320^\circ \text{ C}$  kopplas värmelemen-

tet på och det i skyddsroret innehållna ev. rester av bly smälts ner samt nytt bly tillförs tilloppsroret som rinner in i den bildade krympningskaviteten utanför skyddsroret och det centrala roret. Under ständig tillförsel av nytt bly lyftes skyddsroret med värmeelementet upp långsamt (förslagsvis med en hastighet 4-6 cm/min) ur kapseln. Den eventuellt uppkomna "tratten" på ytan fylls med flytande bly (om den ej skall skäras bort vid senare bearbetning). Kapselsystemet lämnas för fortsatt kylning enligt scheman. Förfarandet enligt ovan tillförsäkrar i praktiken en i det närmaste fullständig fyllning av krympningskaviteten.

#### 4.2.2 Värmeelementet

Elementstaven är av, inom industrin förekommande, gängse konstruktion. Den är påtänkt att sättas samman av 3 stycken parallellt inbyggda element varav bara ett i taget kommer i funktion. Man åstadkommer därigenom en tredubbel säkerhet för funktionen. En effekt-täthet  $2,5 - 4 \text{ watt/cm}^2$  av aktionsyta är tillfyllest för att genomföra operationen. De tre elementen inhyses i ett hölje (rör) som fylls med små kulor av metall (förslagsvis Ni) med syfte att förbättra värmeöverföringen. Värmeelementstaven omslutes med ett skyddsror utgörande även tilloppsroret för bly. Detaljer för inpassning av tilloppsroret med värmeelementstaven till det centrala roret uppvisas i rapporten av H.F. Sandelin.

Anm. Värmeelementstaven kan förses med ett antal på höjden utspridda termoelement för indikering av temperaturen under kavitetsbildning och tidpunkten för starten av uppvärmningen av staven.



#### 4.3.0 Krympningsfenomen vid avsvälning av kapselsystemet

Svälningens rheologiska förlopp hos de i kapslings-system ingående metaller bestäms av den valda proportionen mellan resp. mängder av de ingående metaller (d v s blyutfyllningen och zirkoniumrör) vilken proportion anses också vara optimal ur konstruktions-synpunkt.

Låt oss studera krympningseffekter vid svälningen (inom den antagna temperaturintervallen  $327^{\circ}\text{C} - 80^{\circ}\text{C}$ ) först i två extrema fall: a/ Kopparkapseln med enbart bly-utfyllnaden och b/ Kapseln packad med tätt intilliggande zirkoniumrör. Man beräknar areakrympningen för bägge alternativ i kapselns tvärsektion.

Anm: Alla materialdata för beräkningarna nedan enligt bilaga 1 till den föreliggande rapporten.  $\emptyset$  koppar =

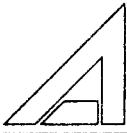
$$\emptyset k = 370 \text{ mm} \quad A_k = \frac{\pi}{4} \emptyset^2 = 107.521 \text{ mm}^2$$

$$\text{Areakrympningen } \Delta A_k = 2 \times 20,2 \cdot 10^{-6} \times (327^{\circ} - 80^{\circ}) \\ \times 107.521 = 1073 \text{ mm}^2.$$

Vid alternativ a/

$$\text{areakrympning bly: } \Delta A_{pb} = 2 \times 31,2 \times 10^{-6} \times 247^{\circ} \times \\ 107.521 = 1657 \text{ mm}^2$$

D v s mellan det avsväljade blyet och kopparkapseln en spalt med en yta av  $1657 - 1073 = 584 \text{ mm}^2$  uppstår, vilket motsvarar 0,5 mm radiell spalt.



vid alternativ b/

Diameterkrympningen zirkoniumrörpaket:

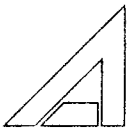
$$\Delta \varnothing_z = 5,7 \cdot 10^{-6} \cdot 247^\circ \times 370 = 0,52 \text{ mm}$$

Diameterkrympningen av kopparkapseln:

$$\Delta \varnothing_k = 20,2 \cdot 10^{-6} \cdot 247^\circ \times 370 = 1,85 \text{ mm}$$

De avsvalnade zirkoniumrörpaketen ger en "negativ" radiell spalt:  $\frac{0,52 - 1,85}{2} = -0,67 \text{ mm}$  d v s expanderar (trycker ut) kopparkapseln med 0,67 mm på radien. Resultatet av denna studie visar att vid ett lämpligt val av proportionen mellan andelen av zirkoniumrörens area (= antal rör och packningssystem) och blyutfyllnadsarean kan en önskad spalt mellan kopparkapselns inre yta och den utfyllande metallkompositen åstadkommas.

Både: en helt spaltfri och spänningsfri kontakt (spalt = 0) och en spaltfri men icke spänningsfri inpassning ("negativ" spalt) kan skapas. Det är självklart att vid bestämning av rörpaketens komposition d v s adoption av packningssystem och nätkonstant ("pitch") kan man icke enbart styras av hänsyn till kapslingsystemets "verkningsgrad", med vad menas: största antal bränslestavar per kapsel. Överväganden av krympningsförlopp optimerade mot bakgrund av resultat av de extrema fall redovisade ovan måste ingå som ett avgörande element i sammanhanget.



#### 4.3.1 Beräkning av krympningen inom kapselsystemet

Av optimering mellan krav ställda av gjutteknologien och systemets rheologiska förlopp vid avsvälningen har erhållits ett värde för avstånd mellan zirkoniumrören: ca 1,75 mm; d.v.s. s.k. "pitch" 14 mm samt en hexagonal packning. Den i kapslingssystemet adopterade konstruktionen av innanmätet innehåller således 498 bränslestavar inneslutna i en omskriven cirkel med diametern 354. Paketet är omslutet av en cylindrisk skyddsplåt med yttre diameter 362 mm. Kopparkapselns inre diameter är 370 mm. Utgående från dessa data samt i antagande att korgens bärande samt skyddande element (upptagande ca 1,5% av sektionen) försummas i beräkningen, kan följande krympningsförlopp erhållas. (Anm: Kompressibilitetseffekter ej tas i beräkning.) Svalningsförloppet delas upp i tre intervaller av hänsyn både till krav på krymp- och spänningsrelaxationsprocesser i blyet och olineariteten av dilatationsfunktionen hos metallerna ifråga.

$$(1) 327,4^{\circ}\text{C} - 275^{\circ}\text{C} \quad t' = t_m - t_1 = 52,4^{\circ}\text{C}$$

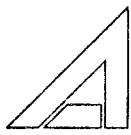
$$(2) 275^{\circ}\text{C} - 150^{\circ}\text{C} \quad t'' = t_1 - t_2 = 125^{\circ}\text{C}$$

$$(3) 150^{\circ}\text{C} - 80^{\circ}\text{C} \quad t''' = t_2 - t_3 = 70^{\circ}\text{C}$$

I analogi med tidigare beräkningsprinciper beräknas areakrympningen i kopparkapselns tvärsektion och krympningen uttryckes av storleken hos spalten mellan blykroppen och kopparcylindern.

$$\text{Vi har } \emptyset \text{ (koppar)} = 370 \text{ mm. Area } A_k = 107.521 \text{ mm}^2.$$

Areakrympningen av kopparcylindern  $A_k$  i de respektive temperaturintervallerna är:



$$\Delta Ak (1) = 2 \times 20,4 \cdot 10^{-6} \times 52,4^{\circ} \times 107.521 = 230 \text{ mm}^2$$

$$\Delta Ak (2) = 2 \times 19,8 \cdot 10^{-6} \times 125^{\circ} \times 107.521 = 532 \text{ mm}^2$$

$$\Delta Ak (3) = 2 \times 17,5 \cdot 10^{-6} \cdot 70^{\circ} \times 107.521 = 263 \text{ mm}^2$$

I sektionen har vi 498 zirkoniumstavar med en sammanlagd area:

$$498 \times \frac{\pi}{4} \times (12,25)^2 = 58.694 \text{ mm}^2, \text{ upptagande således}$$

55 % av sektionen. Resten: 45 % utgör bly (ca 1,5 % bärande element av koppar kan försummas i detta sammanhang).

Areakrympningen i bly/zirkonium fyllningen  $\Delta Af$  inom resp. temperaturintervaller blir således:

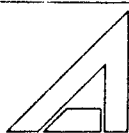
$$\Delta Af (1) = (0,45 \times 2 \times 31,6 + 0,55 \times 2 \times 5,7) \times 10^{-6} \times 52,4^{\circ} \times 107.521 = 196 \text{ mm}^2$$

$$\Delta Af (2) = (0,45 \times 2 \times 30,8 + 0,55 \times 2 \times 5,7) \times 10^{-6} \times 125^{\circ} \times 107.521 = 457 \text{ mm}^2$$

$$\Delta Af (3) = (0,45 \times 2 \times 29,6 + 0,55 \times 2 \times 5,6) \times 10^{-6} \times 70^{\circ} \times 107.521 = 249 \text{ mm}^2$$

Man sammanfattar de erhållna resultaten i nedanstående tabell 1.

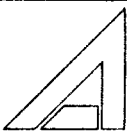




Tabell 1

Temp. Intervall C°	Areakrympn. av kapseln $\Delta A_k$ mm <sup>2</sup>	Areakrympn. av Pb/Zu kropp $\Delta A_f$ mm <sup>2</sup>	Krympn. Spaltarea $\Delta A_f - \Delta A_{k_2}$ mm	Uttryckt som övermått på radien $\Delta R$ mm	Skjuvtöjn. motsv. bortskaffn. av övermått : $= \frac{\Delta R}{R}$
327,4 - 275	230	196	- 34	0,029	$1,57 \cdot 10^{-4}$
275 -150	532	457	- 75	0,065	$3,51 \cdot 10^{-4}$
150 -80	263	249	- 14	0,012	$0,65 \cdot 10^{-4}$
327,4 - 80	1025	902	- 123	0,106	$5,73 \cdot 10^{-4}$

"Övermåttet"  $\Delta R$ , (som kan liknas vid ett presspassningsförband) frambragt av utfyllnadskroppens krympnings-dekrement i förhållande till kopparcylinderns svalkrympning, ger upphov till skjuvspänningstillstånd i blyet och till därav följande skjuvkryp av metallen till relaxation. Det är självklart att man måste bringa blypaketen till fullt relaxationstillstånd för att undvika spänningar i kopparcylindern. För att få full klarhet om att ett spänningsfritt "förband" mellan kopparkapseln och bly-zirkoniumkroppen etablerats, beräknas den tid det tar för blymetallen i paketen att under rådande temperaturbetingelser åstadkomma den kryptöjning i skjuvning som motsvarar övermåttet  $\Delta R$ .



För detta ändamål använder vi oss av M.F. Ashby's beräkningsmetod (Ref 4,5,6) uttryckt i formler och diagram (Se bilaga 4). Vid "manuell" beräkning av kryphastigheten i skjuvning har följande formel använts:

$$\dot{\gamma} = \frac{42 \cdot \zeta \cdot \Omega}{k \cdot T \cdot d^2} \cdot D_v \left( 1 + \frac{\pi \delta}{d} \cdot \frac{D_B}{D_v} \right)$$

I ekvationen ovan är:

$\dot{\gamma}$  - kryphastigheten i skjuvning

$\zeta$  - skjuvspänning

$\Omega$  - atomvolym

K - Boltzmanns Konstant

T - temperatur i °K

d - korndiametern

$D_v$  - volymdiffusivitetfaktor

$D_B$  - korngränsdiffusivitetfaktor

$\delta$  - korngränsarea

Diagrammen utfördes av Prof. Ashby på vår anhöllan (1972) för en blykvalité liggande nära H.P.O.F. bly.

Utgångsdata för användning av dessa diagram vid temperaturer: 275°C, 150°C och 80°C (utgörande även ränser till ovan nämnda temperaturintervaller) är följande:

Absskissan:  $X = \text{Log } \frac{\zeta}{C}$ . Ordinatan:  $Y = \frac{T}{T_m}$

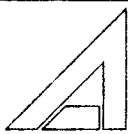
i vilka:

T - den aktuella temperaturen i °K.  $T_1 = 548$   $T_2 = 423$   $T_3 = 353$

$T_m$  - smälttemperaturen i °K = 600,5° K

$\zeta$  - skjuvspänningen ( $\zeta_1, \zeta_2$  vid motsvarande  $T_1$  och  $T_2$ , se bil 1)

G - skjuvmodul (enl formel:  $7,32 \cdot 10^{10} [1 - (T-300) \cdot 1,12 \cdot 10^{-3}]$ )



Värden motsvarande de beräknade talen för X och Y för de tre temperaturerna  $t_1$ ,  $t_2$ ,  $t_3$  föres in i Ashby's diagram för 4 st. kornstorlekar ( $10\mu$ ,  $100\mu$ ,  $316,2\mu$  och  $1000\mu$ ) och resp. kryphastigheter vid skjuvning  $\dot{\gamma}$  bestäms av punkterna  $P_1, P_2$  och  $P_3$ . Eftersom kryptöjningen är känd är det lätt att framräkna tiden som behövs för att åstadkomma den (töjningen).

Vi skall ställa upp de från diagrammet avlästa värdena i en tabell 2.

T	$\frac{T}{T_m} = \frac{Y}{X}$	$\tau$ dyn/cm <sup>2</sup> ( $\times 10^6$ )	G dyn/cm <sup>2</sup> ( $\times 10^{10}$ )	Log $\frac{\tau}{G} = \frac{X}{Y}$	$\dot{\gamma}$ i diagr. f. kornstorl.			
					1000 $\mu$	316,2 $\mu$	100 $\mu$	10 $\mu$
548	0,91	9,8	5,3	-3,73	$3 \cdot 10^{-4}$	$3 \cdot 10^{-4}$	$3 \cdot 10^{-4}$	$2 \cdot 10^{-4}$
423	0,70	34,3	6,3	-3,27	$3 \cdot 10^{-4}$	$3 \cdot 10^{-4}$	$3 \cdot 10^{-4}$	$1 \cdot 10^{-4}$
353	0,59	49	6,9	-3,15	$10^{-5}$	$10^{-5}$	$3 \cdot 10^{-5}$	$4 \cdot 10^{-5}$

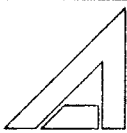
Inom ifrågavarande krypmekanismernas områden är diagrammen rätt otydliga (genom anhopning av punkterna och datorns stegvisa koordinatavkänning) därför har värden i tabellen ovan justerats genom manuella kontrollberäkningar. Av tabellen kan avläsas att kryphastigheterna ifråga inom hela temperaturområdet och för kornstorlekar varierande från  $10\mu$  till  $1000\mu$  håller sig inom gränser  $\dot{\gamma} = 10^{-4} - 10^{-6}$ .

Vi utgår för beräkning av skjuvkryptiden från:  $\dot{\gamma} = 10^{-7}$ .

Då  $\gamma$  enligt tabell 1 i de resp. temperaturintervallerna var

$$\gamma_1 = 1,57 \cdot 10^{-4} \quad \gamma_2 = 3,51 \cdot 10^{-4} \quad \text{och} \quad \gamma_3 = 0,65 \cdot 10^{-4}$$

och kryptiden bestäms av formeln  $\theta = \frac{\gamma}{\dot{\gamma}}$ , blir resp. kryptingstider följande:



$$\theta_1 = \frac{1,57 \cdot 10^{-4}}{10^{-7}} = 1,57 \cdot 10^3 \text{ sek} = 1570 \text{ sek} = \text{ca } 25 \text{ min}$$

$$\theta_2 = \frac{3,51 \cdot 10^{-4}}{10^{-7}} = 3,51 \cdot 10^3 \text{ sek} = 3510 \text{ sek} = \text{ca } 1 \text{ tim}$$

$$\theta_3 = \frac{0,65 \cdot 10^{-4}}{10^{-7}} = 0,65 \cdot 10^3 \text{ sek} = 650 \text{ sek} = \text{ca } 10 \text{ min}$$

Alla (ovan erhållna) krypningstider vilka funnits behövligen för åstadkommande av ett spänningsfritt förband (samspel) mellan inkapslingselement med god marginal underskrider de tider vilka av tekniska hänsyn vi har valt att adoptera. (Se bilaga 6. Svalningsdiagram)

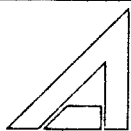
#### Anmärkning

Varsamhet måste visas med att ej kyla "över" kopparkapseln. Irreversibla krypningseffekter i samspelet mellan kopparkapseln och bly-zirkonium paketen kan uppstå med bildande av en varaktig spalt mellan blyet och kopparcylindern som följd. Ovan sagda är även relevant för ev. temperaturväxlingar under förvaringstiden.

#### 5.0.0. Slutsatser

Utredningar och försök i laboratorieskala utförda inom ramen för uppdragets uppgiftsdefinition visar, att sättet <sup>med</sup> utfyllnaden av kopparkapslar inneslutande utbrända bränslestavar med smält bly, är en framkomlig metodik för en betryggande förvaring av kapslarnas innehåll inom förvaringssystemet.

Under förutsättningar man kommit fram i utredningen att:



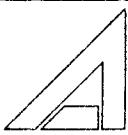
1. Blyet som skall användas som utfyllnadsmetall bör vara av H.P.O.F. kvalitet.
2. Smältutrustning (grytor, separationsanordningar, omrörare, pumpar etc) skall vara utrustad med installationer möjliggörande en vidare raffinering av smälta.
3. Gjutning skall genomföras enligt stiggjutningsprincipen och under i rapporten föreskrivna betingelser.
4. Stelning och svalningsprocesser till förvaringstemperatur i mellanlager (80° C) skall följa den föreskrivna tids-scheman. Förutsättningen för ett spaltfritt och spänningsfritt förband mellan inkapslingssystemets olika element är att man följer alla ingående parametrar (packningssystemet, "pitchen", temperaturintervaller, kylningshastighet inom dessa o s v).
5. Stelningskaviteten "pipen" måste begränsas till ett minimum och i senare skede helt elimineras t ex enligt förfarandet som exemplifierats i rapporten.

kan den målsättningen som ställts upp i uppdraget verkställas.

Anslutningsvis bör påpekas att alla råvaror, produkter, maskinell utrustning och kringutrustning involverat i verkställigheten av det aktuella inkapslingssystemet, är tillgängliga inom landet, eller kan göras det inom en rimlig tid av 2-3 år. All teknologi know-how och utvecklingsresurser finns också tillgängliga och till fullo behärskade av vår forsknings-, teknisk- och produktionsapparat.

Konsultuppdragets handläggare

*Lars August*

Referenser

1. A. Zausznica "Tillverkningsmetodik för inneslutning av förglasat högaktivt avfall".
2. A. Zausznica "High Purity Oxygen Free Lead Now a Reality" 6th Intern. Conf. on Lead London 1977
3. D.H. Lane o.a. "The Application of Ultrasonic Energy to Ingot Solidification" Trans. Met. Soc. Vol. 218-1960.
4. M.F. Ashby "A First Report on Deformation-Mechanism Maps", Acta Met. vol 20 1972.
5. H.J. Frost a. M.F. Ashby "A Second Report on Deformation-Mechanism Maps" Harvard Univ. Rep. 1973
6. M.F. Ashby Private communication: "A Program Computed to Construct Deformation-Mechanism Maps for Pure Lead" Cambridge Univ. 1972
7. "Metals Handbook", Editon 1961
8. W. Hofmann "Lead ana Lead Alloys", 1970
9. R.W.K. Honeycombe, "The Plastic Deformation of Metals". Arnold Publ. 1971
10. Teknisk Uppslagsbok, "Icke Järnmetaller och Deras Legeringar", Editon 1956

A.Z.

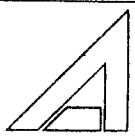
Sammanställning av materialdata för Pb, Cu och Zr av relevans från inkapslingsmetodikens synpunkt.

1.0 Fysikaliska data

	Pb	Cu	Zr
1.1 Atomtal	82	29	40
1.2 Atomvikt	207,21	63,54	91,22
1.3 Kristalstruktur	Kub.ytcentr.	Kub.ytcentr.	hexagonal (< 860°C)
1.4 Gitterkonstant kX	4,9395	3,608	3,223
1.5 Atomvolym: cm <sup>3</sup> /mol	18,27	7,09	14

2.0 Tekniska data

2.1 Smälttemperatur °C	327,4	1083,0	1850
2.2 Densitet vid 20°C: g/cm <sup>3</sup>	11,37	8,96	6,53
Densitet vid 400°C: g/cm <sup>3</sup>	10,6	8,82	6,51
2.3 Densitet vid 327,4 likv.: g/cm <sup>3</sup>	10,69	icke relevant	i.r
Densitet vid 327,4 sol.: g/m <sup>3</sup>	11,01	i.r	i.r
2.4 Utvidgningskoeff: 1/°C			
vid 20-100°C	29,2·10 <sup>-6</sup>	17,2·10 <sup>-6</sup>	5,6·10 <sup>-6</sup>
100-300°C	31,2·10 <sup>-6</sup>	20,2·10 <sup>-6</sup>	5,7·10 <sup>-6</sup>
2.5 Volymminskning vid stelning: %	3,4	i.r	i.r
2.6 Volymökning vid smältning: %	3,5	i.r	i.r
2.7 Ytspänning dyn/cm		i.r	i.r
vid 330°C	520-540	i.r	i.r
350°C	500	i.r	i.r
375°C	450	i.r	i.r
400°C	440	i.r	i.r
(600°C)	(430)	i.r	i.r
2.8 Viskositet: Poise			
vid 350°C	0,0265	i.r	i.r
375°C	0,0245	i.r	i.r
400°C	0,0232	i.r	i.r



1978-01-16 AZ

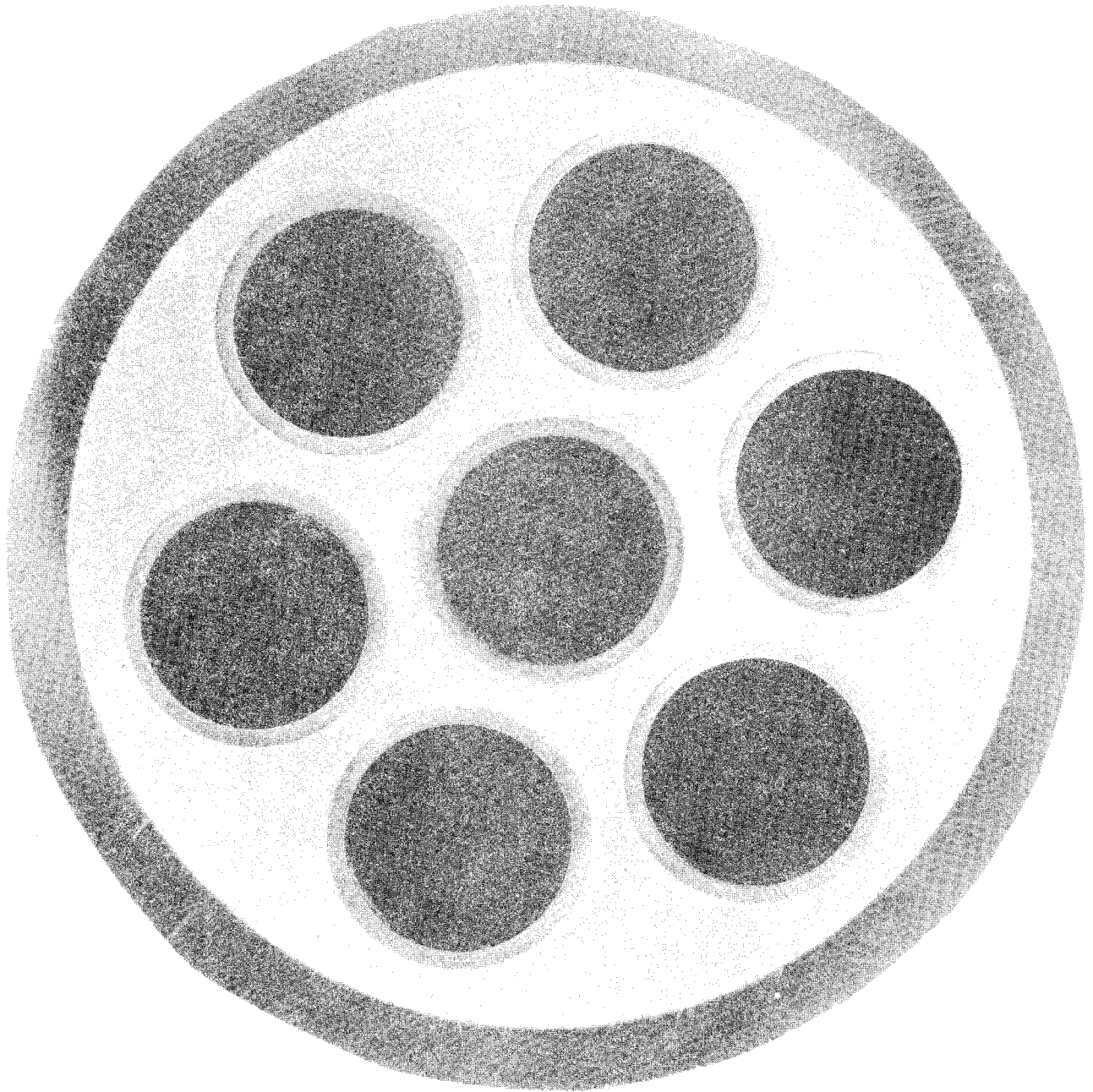
Bilaga 1

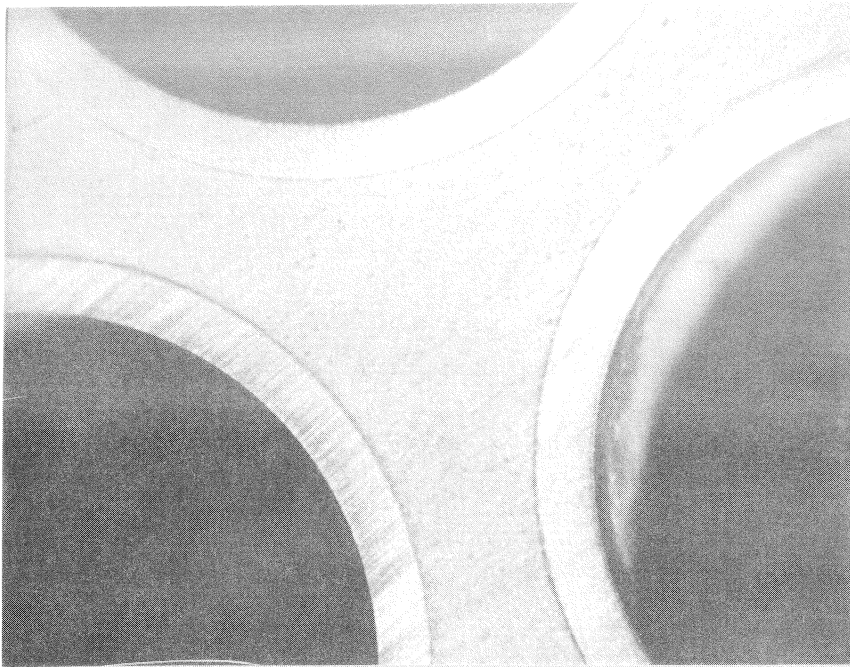
sidnr 2

ASEA ATOM Konsultuppdrag  
88 PB 1051

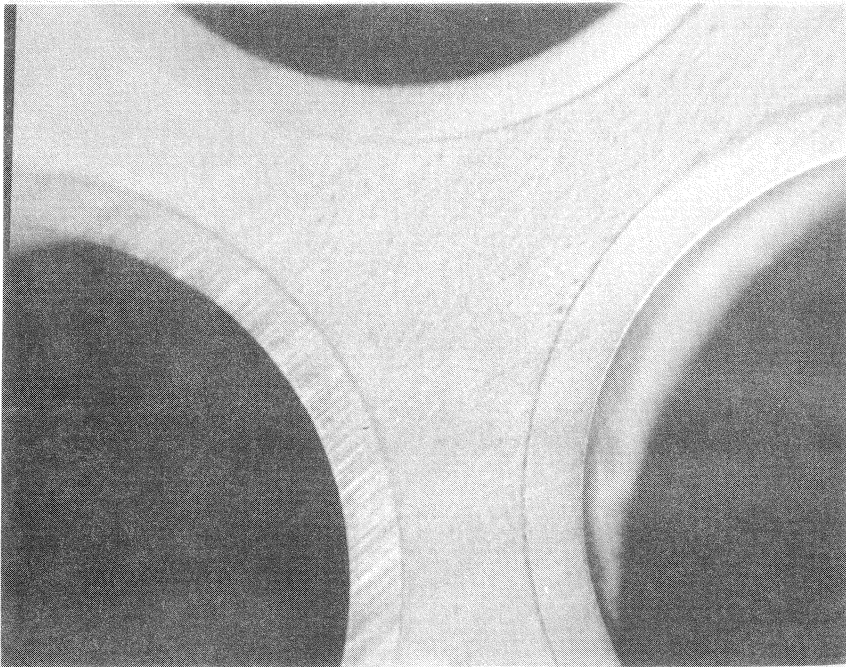
		Pb	Cu	Zr
2.9	Värmeledning: cal/cm <sup>0</sup> C sek.			
	vid 20 <sup>0</sup> C	0.083	0.94	0.04
	100 <sup>0</sup> C	0.081	0.94	0.04
	200 <sup>0</sup> C	0.077	0.94	0.04
	300 <sup>0</sup> C	0.074	0.93	0.04
	400 <sup>0</sup> C	0.038	0.92	0.04
2.10	Specifikvärme: cal/g <sup>0</sup> C			
	vid 20 <sup>0</sup> C	0.031	0.091	0.066
	100 <sup>0</sup> C-300 <sup>0</sup> C	0.0325	0.096	0.07
2.11	Smältvärme: cal/g	6.25	50.6	60
3.0	Mekaniska data.			
3.1	Hårdhet enl. Brinell HBR: kg/mm <sup>2</sup>			
	vid 20 <sup>0</sup> C	4.0	35	180
	100 <sup>0</sup> C	2.2		
	150 <sup>0</sup> C	1.8		
	200 <sup>0</sup> C	1.2		
	250 <sup>0</sup> C	0.7		
3.2	Brottspänning, kg/mm <sup>2</sup>			
	vid 20 <sup>0</sup> C	1.4	22.7	65
3.3	Skjuvspänning kg/mm <sup>2</sup>			
	vid 20 <sup>0</sup> C	0.9		
	100 <sup>0</sup> C	0.45		
	150 <sup>0</sup> C	0.35		
	200 <sup>0</sup> C	0.25		
	250 <sup>0</sup> C	0.15		
	275 <sup>0</sup> C	0.1		
	300 <sup>0</sup> C	0.05		
3.4	Elasticitetsmodul E: kg/mm <sup>2</sup>	1.4·10 <sup>3</sup>	12.7·10 <sup>3</sup>	9.0·10 <sup>3</sup>
3.5	Skjuvmodul G: kg/mm <sup>2</sup>	0.75·10 <sup>3</sup>	4.8·10 <sup>3</sup>	
3.6	Poissonstal u	0.434	0.35	



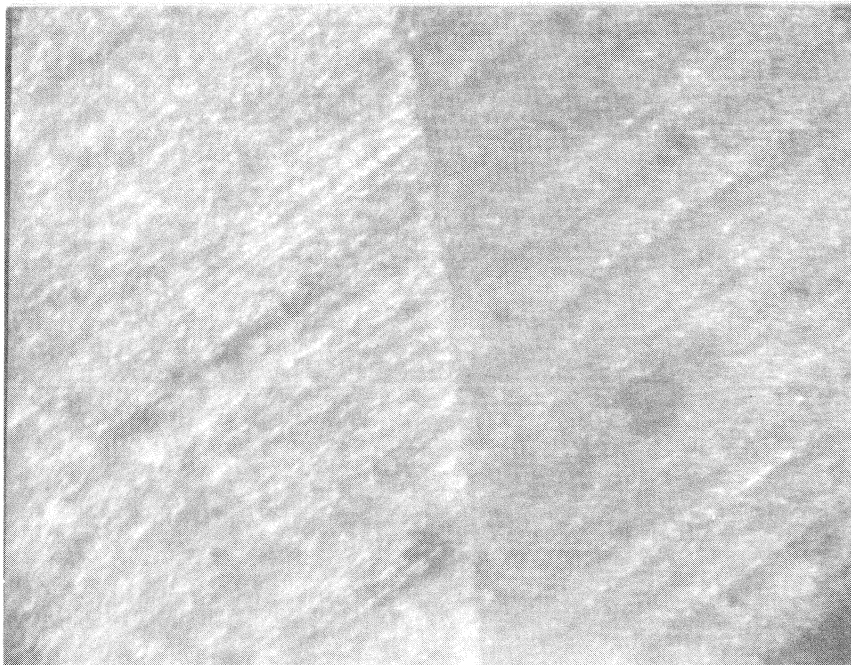




b  
x 10

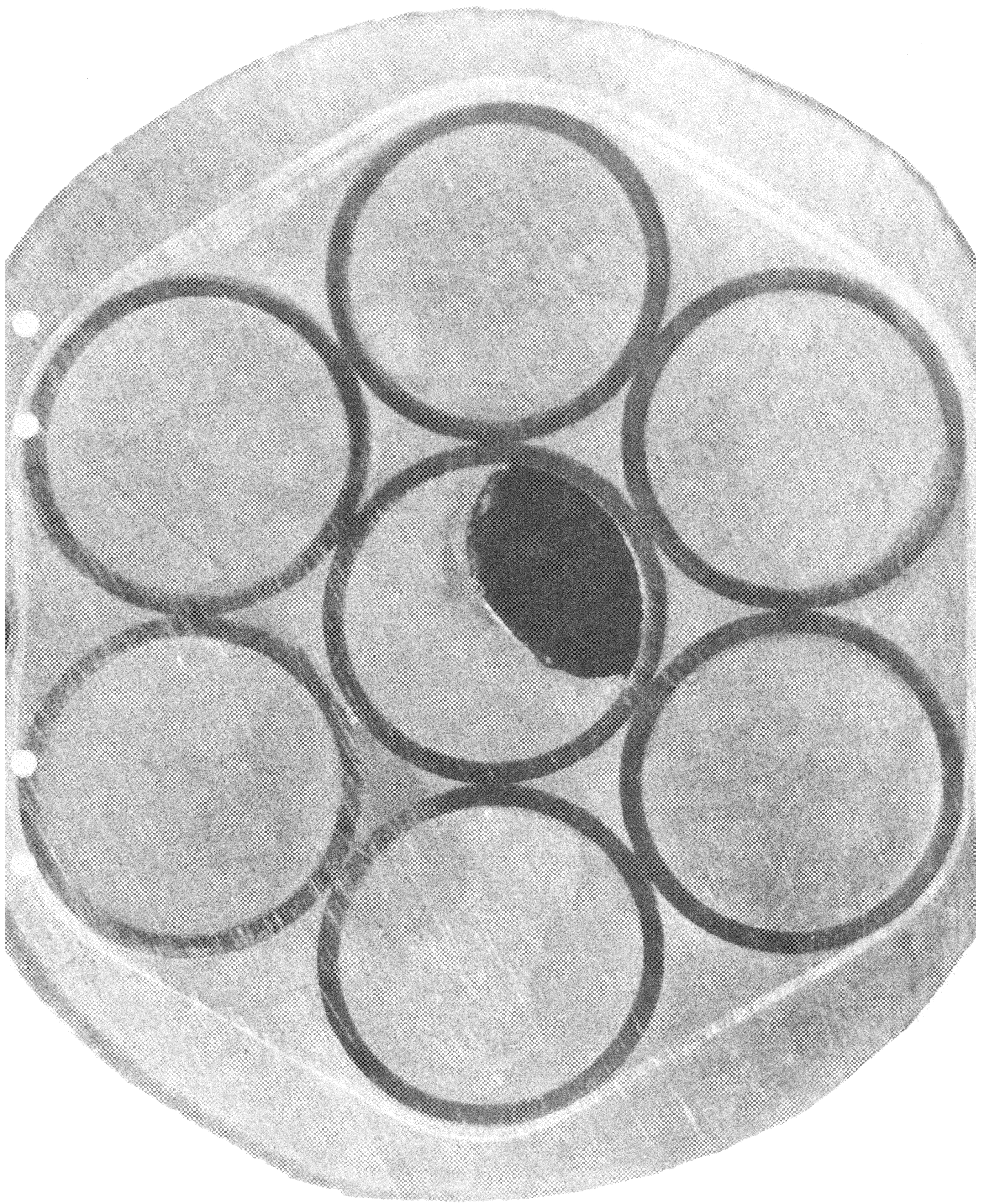


c  
x 10

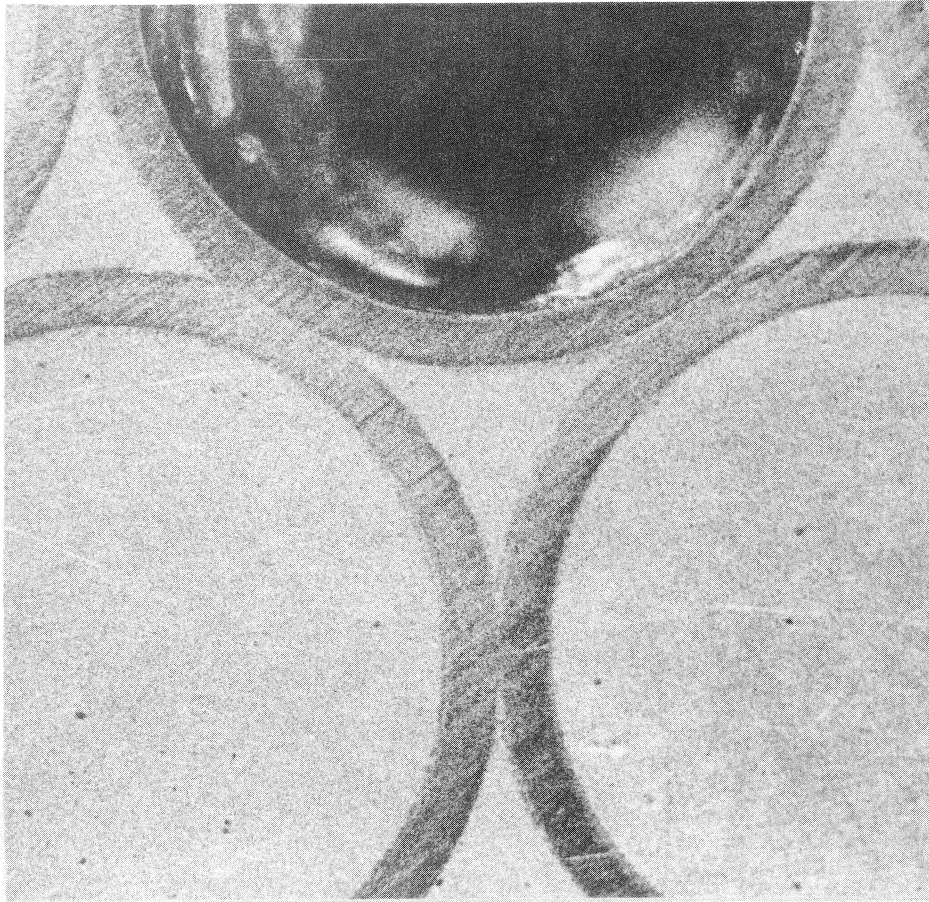


d  
x 135





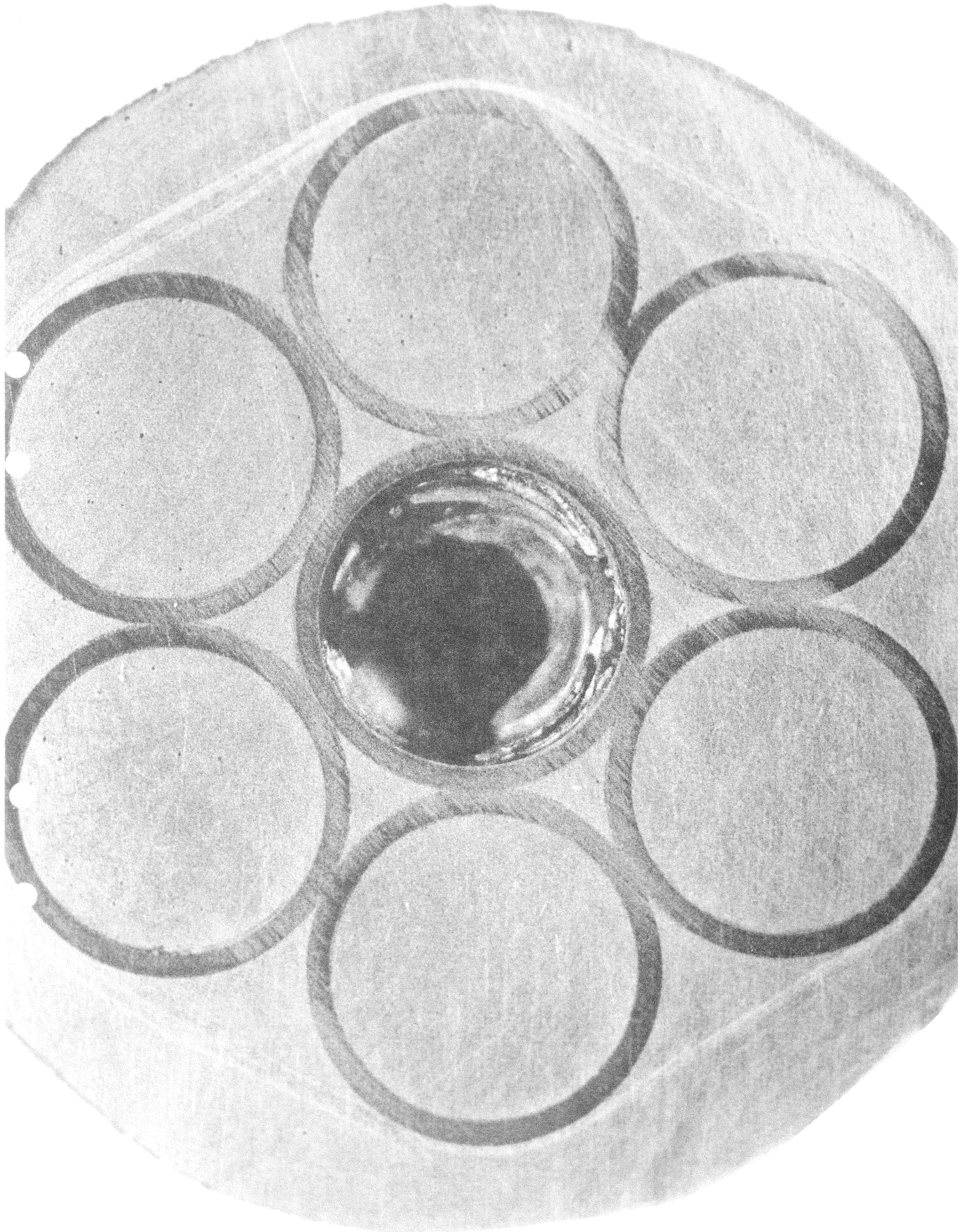
BILAGA 3c



C

x ca 10





## LEAD, REVISED DATA NUMBER 1.

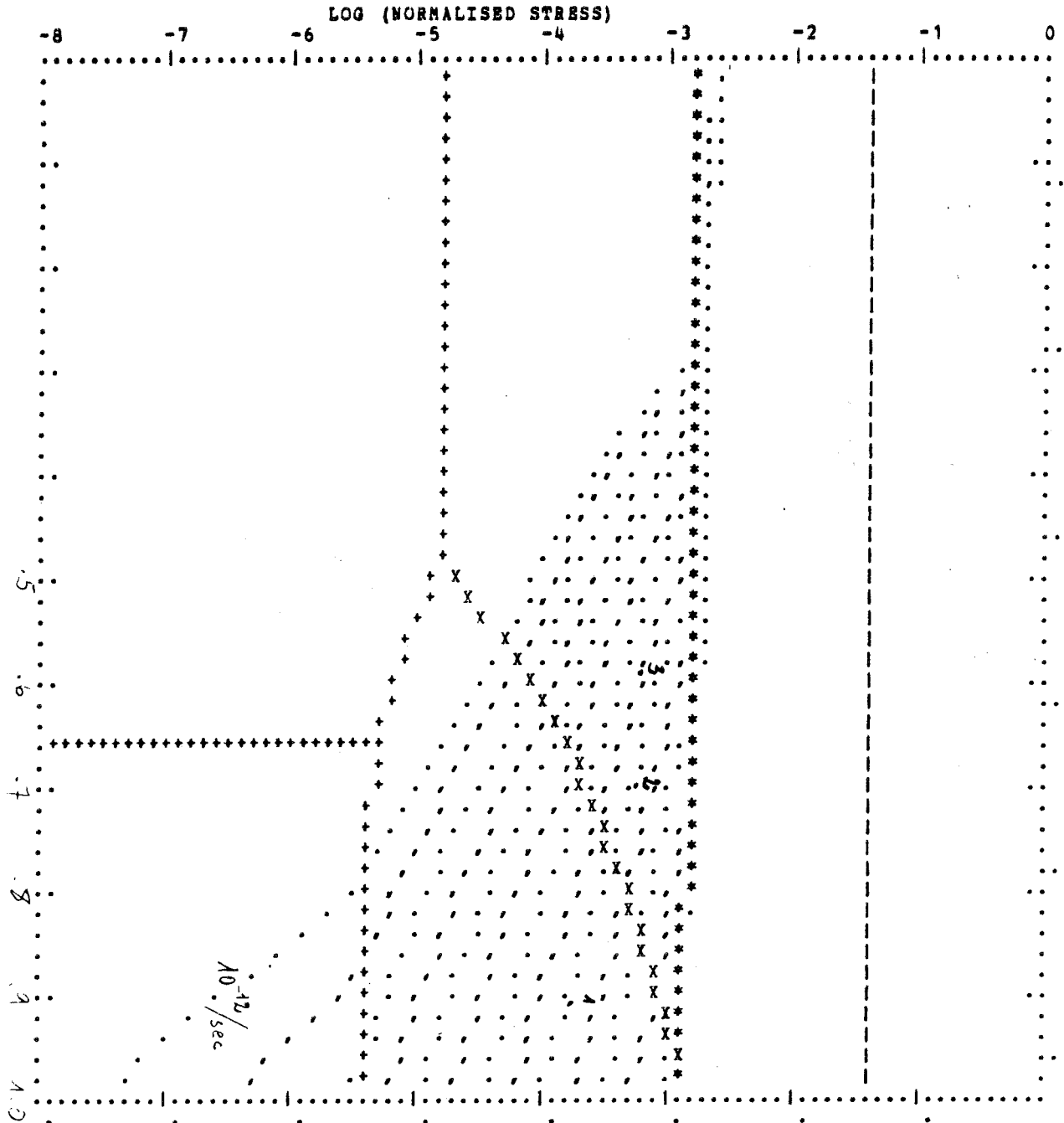
VERSION 304

BOLTZ	=	1.380E-16	ATVOL	=	3.030E-23
BURGV	=	3.490E-08	TMELT	=	6.005E 02
SHMOD	=	7.320E 10	X (1. - (T-300.) X 1.120E-03 )		
DOV	=	1.370E 00	QVOL	=	1.812E-12
DOB	=	1.160E 00	QBDRY	=	1.090E-12
EN	=	4.200E 00	A	=	3.780E 04
EL	=	1.500E-05	GAMZRO	=	1.000E 06
TAUZRO	=	7.678E-04	TAUTH	=	3.900E-02
TAUPLS	=	1.000E-10	GAMPLS	=	1.000E 10
UK	=	1.000E-16			
GAMPST	=	1.000E-12	DGRAIN	=	1.000E-04
GAMMLT	=	1.000E 01	DGRMLT	=	3.162E 00
NGAM	=	13	NDGR	=	9

PEIERLS STRESS IS NOT INCLUDED.

LEAD, REVISED DATA NUMBER 1.

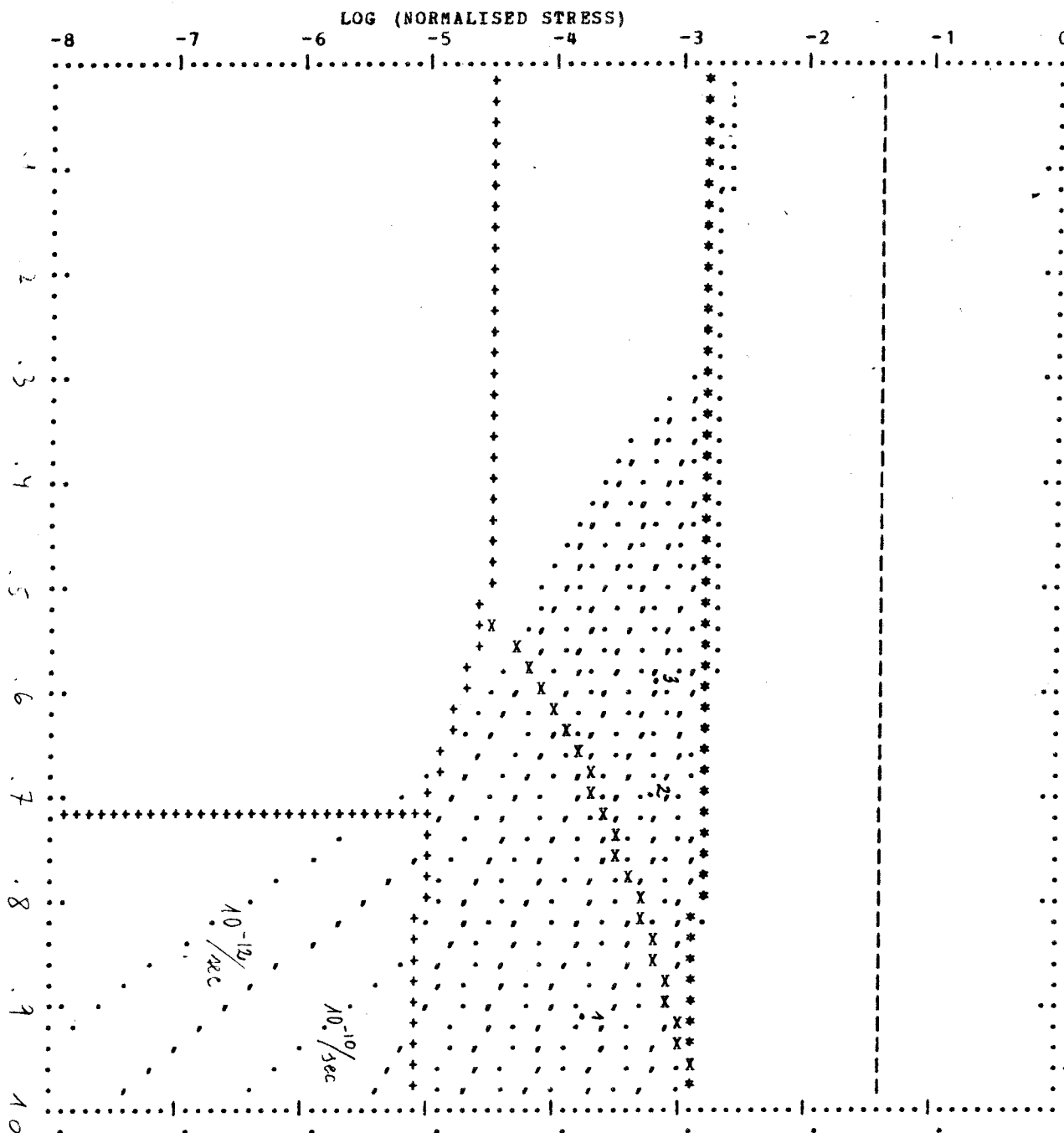
VERSION 304



DGRAIN = 1.000E-01 GAMFST = 1.000E-12 GAMLST = 1.000E 00 TCRTI = 6.601E-01  
EL = 1.500E-05 TPST = -2.000E 02 TINTVL = 1.000E 02 STRES1 = 1.000E-04

LEAD, REVISED DATA NUMBER 1.

VERSION 304

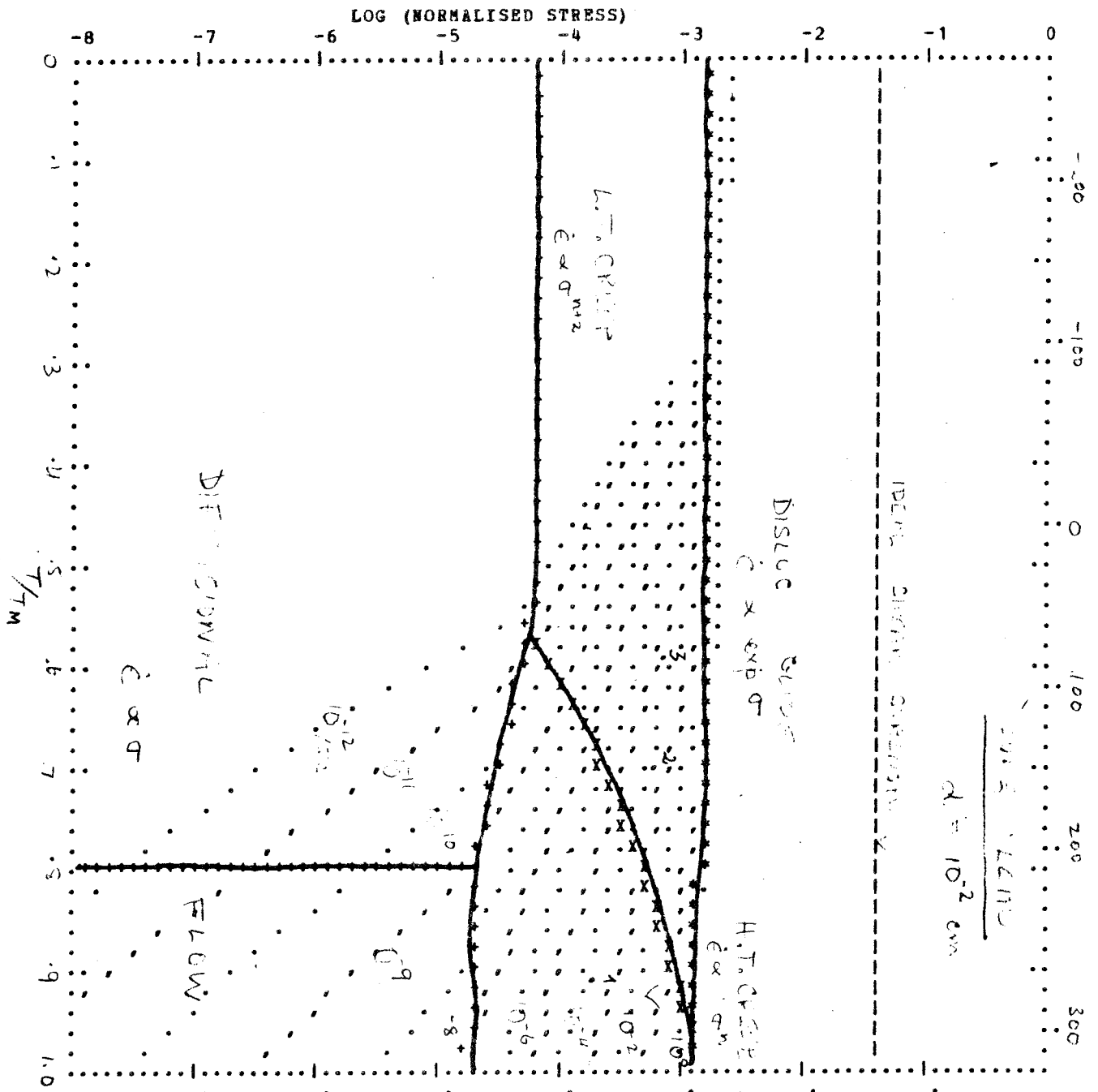


DGRAIN = 3.162E-02 GAMFST = 1.000E-12 GAMLST = 1.000E 00 TCRT = 7.232E-01  
EL = 1.500E-05 TPST = -2.000E 02 TINTVL = 1.000E 02 STRES1 = 1.000E-04



LEAD, REVISED DATA NUMBER 1.

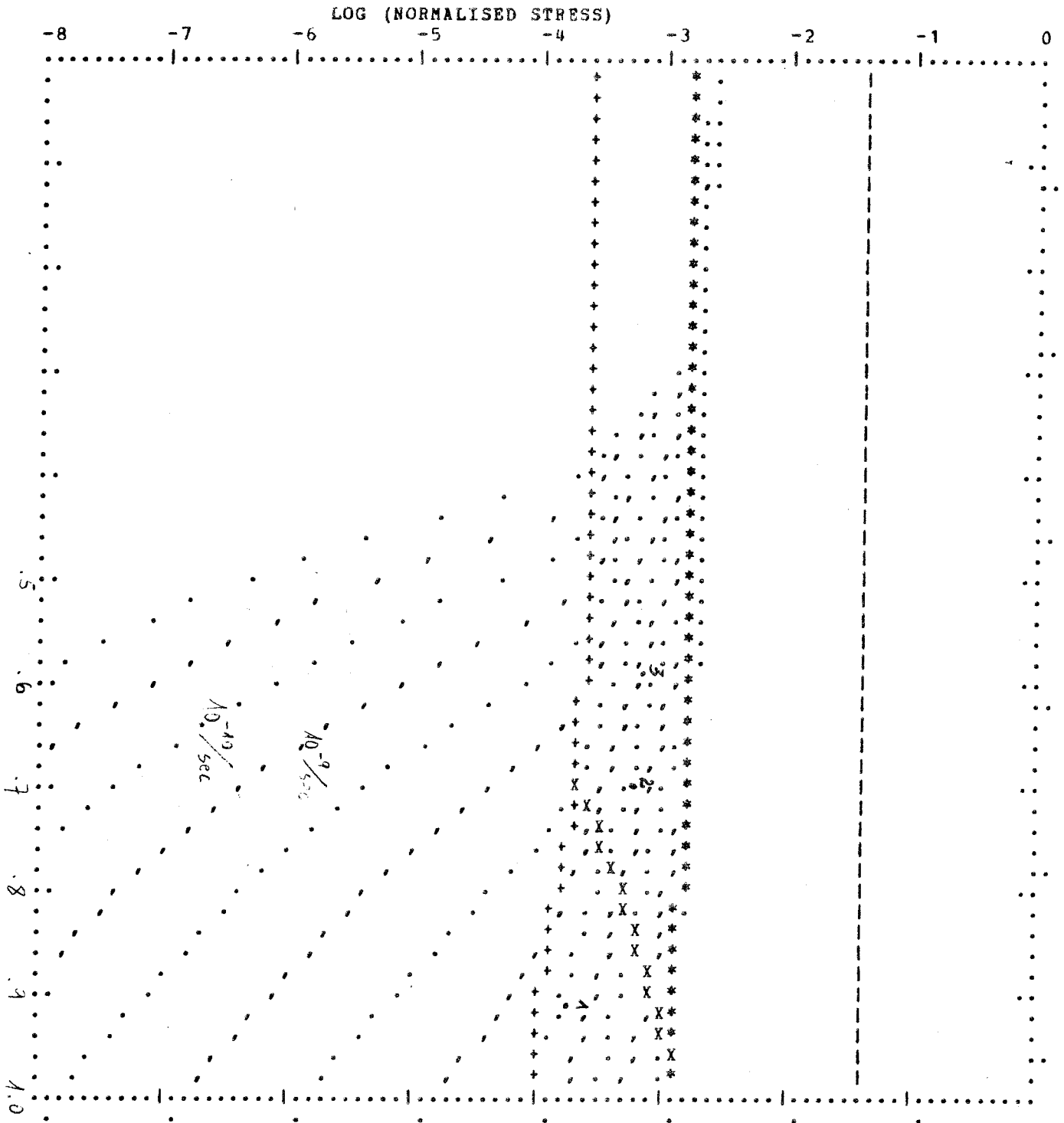
VERSION 304



DGRAIN = 1.000E-02 GAMFST = 1.000E-12 GANLST = 1.000E 00 TCRT = 7.997E-01  
 EL = 1.500E-05 TPST = -2.000E 02 TINTVL = 1.000E 02 STRES1 = 1.000E-04

LEAD, REVISED DATA NUMBER 1.

VERSION 304



DGRAIN = 1.000E-03 GAMFST = 1.000E-12 GAMLST = 1.000E 00 TCRT = 1.014E 00  
EL = 1.500E-05 TFST = -2.000E 02 TINTVL = 1.000E 02 STRES1 = 1.000E-04

B I L A G A 5  
Anslutning för bly-  
tillförsel med  
värmeelement

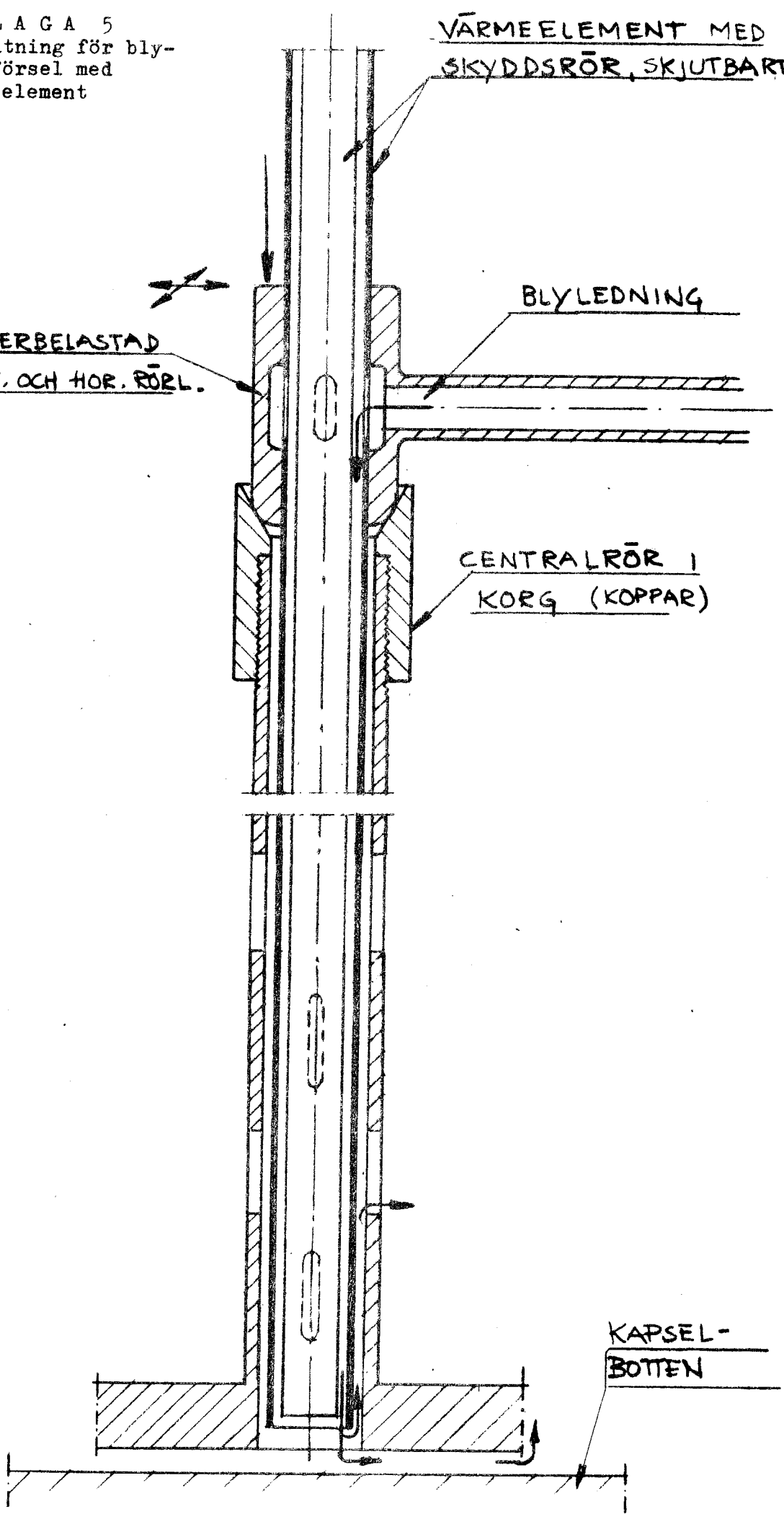
FJÄDERBELASTAD  
VERT. OCH HOR. RÖRL.

VÄRMEELEMENT MED  
SKYDDSRÖR, SKJUTBART

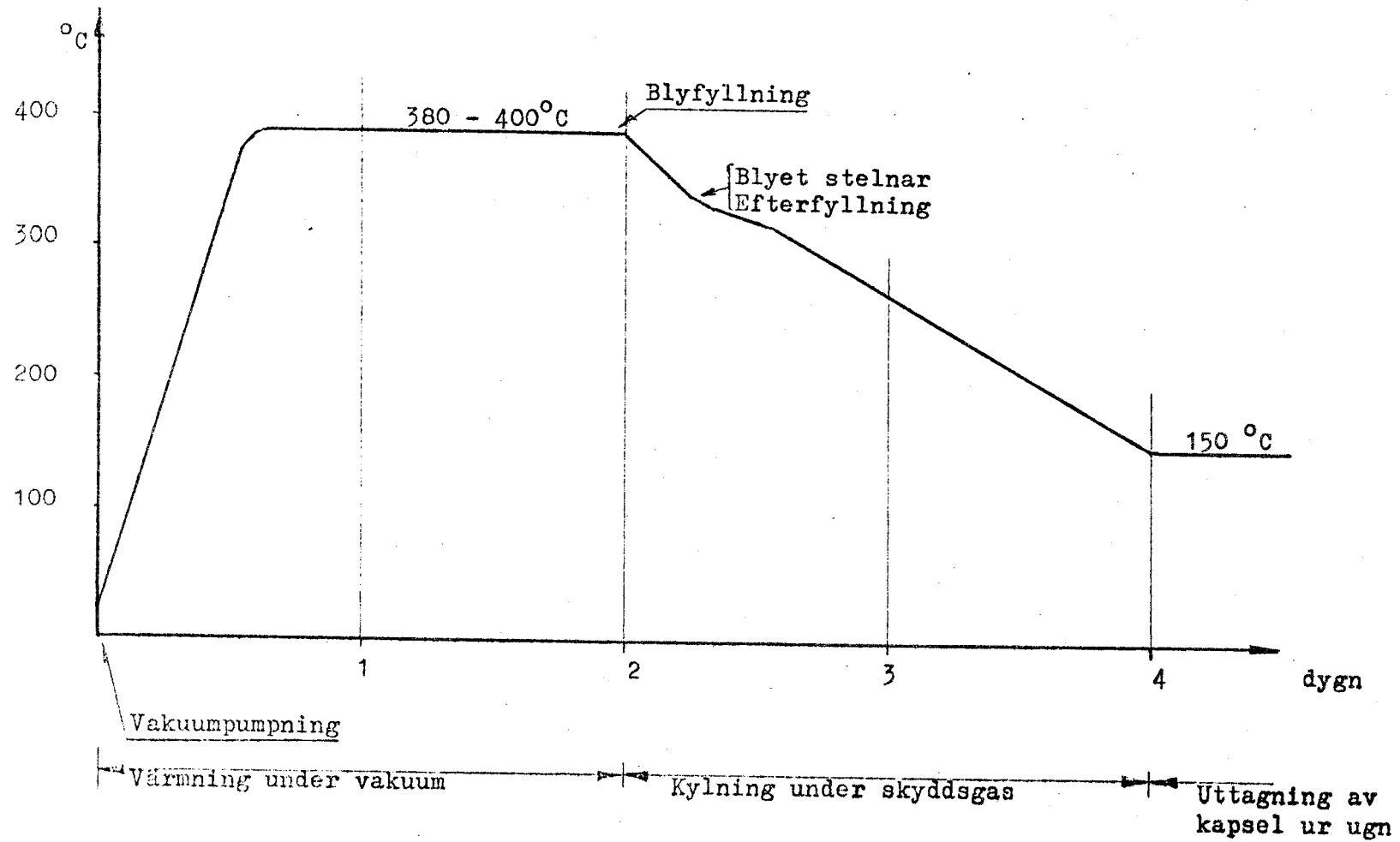
BLYLEDNING

CENTRALRÖR I  
KORG (KOPPAR)

KAPSEL-  
BOTTEN



Värnings- och kylförlopp i ugnen.



AB ASEA-ATOM  
Box 53  
721 04 VÄSTERAS 1

Eder ref: 88 PB 1050

#### KONSULTUPPDRAG

Förslag till smält- och gjututrustning för bly för utfyllnad i kopparkapslar avsedda för slutdeponering av utbränt kärnbränsle.

Konsultuppdragets handläggare: Agar Runevall  
Medarbetare i konstruktionsfrågor: Uwe Germer

---

För processen i sin helhet avses att till mer än 95% begagna tidigare levererade och väl utprovade standardenheter.

Den föreslagna anläggningen bör utgöras av följande enheter.  
(Ritning A-758.)

1 st automatisk inmatningsanordning för blytackor upp till 1 tons vikt.

1 st 70 tons smältstation

2 st 35 tons smältstationer

4 st blypumpar

10 st pumpledningar

2 st ventilblock

1 st höj- och sänkbart värmeelement

#### TEKNISK BESKRIVNING

Inmatningsanordningen, för lyftning och nedsänkning i smältan av 1 tons block, styres från mekaniska nivåkännare. Hela inmatningsproceduren avses ske under skyddsgas.

#### 70 tons smältstation

Smältstationen, enligt ritning C-598, är uppbyggd kring en 3 kammars svetsad stålbehållare. Den är elektriskt uppvärmd (360 kW) genom element placerade i frästa spår på behållarens utsidor. Effekten är uppdelad på ett antal värmezoner. Smälttemperaturen 380°C, regleras inom en tolerans på  $\pm 5^{\circ}\text{C}$ . Smältstationen levereras med en komplett instrumentutrustning för nivåkontroll, start- och stoppfunktioner för inmatningsanordning och blypumpar. Smältstationen är väl isolerad.

### Blypumpar standardmodell

Blypumparna (centrifugalpumpar) har reglerbar kapacitet mellan 1-40 liter/min. Start och stopp kan regleras såväl genom nivåkännare som tidsinställning. Blypumparna äro mycket driftsäkra och har begagnats i standardanläggningar i mer än 15 år.

### 35 tons smältstation standardmodell

Denna smältstation, ritning A-6876, är bortsett från dimension och totaleffekt (240 kW) identiskt lika med 70 tonsanläggningen. Från vardera smältstation utgår 4 pumpledningar till 4 kapselklockor (ritning A-758).

### Pumpledningar (av standardmodell)

Pumprörens diameter är 48,3 mm och vägg tjocklek 7,1 mm. Dess längd kan variera från 6 meter upp till 40 meter. Rören är elektriskt uppvärmda och väl isolerade.

### Ventilblock (nykonstruktion)

Blocken placeras direkt i smältan i de båda 35 tons smältstationerna. Härigenom kommer de alltid att ha en konstant temperatur. Ventilblocket motorregleras genom motorer placerade ovanför smältstationens lock. Blocket öppnas och stänges individuellt önskad utgående pumpledning.

### Höj- och sänkbart värmeelement

Elementets konstruktion är beskrivet i Dr. Zausznicas rapport AZ 69513. Nedsänkning och lyftning av elementröret sker hydrauliskt med en hastighet av 4-6 cm/min.

Allt ovan beskriven utrustning bortsett från ventilblocket och det förlängda elementet finns redan nu tillverkade och har flera av enheterna varit i kontinuerlig drift i mellan 5-15 år.

### FUNKTION OCH ARBETSSÄTT

Inmatningsanordningen matar, under skyddsgas, blytackor upp till 1 tons vikt in i 70 tons smältstationens första kammare den s.k. smältzonen. Inmatningen regleras genom nivåregulatorer. Härigenom kan en jämn och hög blynivå ständigt hållas i smältstationen. Smältan passerar sedan med låg hastighet genom de tre kamrarna. För att möjliggöra en vidare raffinering av blysmältan tvingas denna att passera kamrarna diagonalt i såväl horisontalt som vertikalt plan. Den låga hastigheten möjliggörs tack vare smältstationens stora volym. Eftersom skillnaden i densitet mellan bly och blyoxid är ytterst liten är en långsam passage av blysmältan ytterst viktig. Man ger härigenom eventuella kvarvarande oxider tid att separera.

Från 70 tons stationens tredje kammare pumpas sedan smältan vidare över till 35 tons smältstationernas första kammare. Konstruktion och arbetsätt är detsamma som för den större stationen. Smältan passerar således genom ytterligare 3 kammare. Temperaturvariationerna i den tredje kammaren beräknas icke överstiga  $\pm 3^{\circ}\text{C}$ .

Via ventilblocken pumpas sedan blyet över till kapselklockan där fyllning sker från toppen.

Efterfyllning av krympningskavitet sker sedan i enlighet med Dr. Zausznicas rapport. Vid efterfyllningen reduceras pumpkapaciteten till önskad blymängd, exempelvis 1 liter/min.

All blyhantering i såväl smältstationer som kapselklockor förutsättes ske under skyddsgas.

- - -

Som riktpolis för ovan nämnda anläggning kan nämnas kronor 3,4 - 3,6 milj. Leveranstiden kan beräknas till 20-24 månader.

Stockholm den 3 mars 1978

Konsultuppdragets handläggare

  
Ragnar Runevall