

SKBF
KBS

TEKNISK
RAPPORT

79-21

**Teknik och kostnad för rivning av
svenska kärnkraftverk**

Utarbetad av en särskild arbetsgrupp inom SKBF/KBS,
oktober 1979

TEKNIK OCH KOSTNAD FÖR
RIVNING AV SVENSKA KÄRNKRAFTVERK

Utarbetad av en särskild arbetsgrupp
inom SKBF/KBS

Oktober 1979

En förteckning över hittills utkomna rapporter i denna serie, som påbörjades 1979, återfinns i slutet av rapporten. Uppgift om KBS tekniska rapporter nr 1 - 120 i en tidigare serie kan erhållas från SKBF/KBS.

Innehållsförteckning

SUMMARY	i
SAMMANFATTNING	ii
1 BAKGRUND	1
2 FÖRUTSÄTTNINGAR	2
3 MATERIALMÄNGDER OCH AKTIVITETSINNEHÅLL	4
4 RIVNINGSSEKVENS OCH METODER	8
5 TRANSPORTER OCH AVFALLSLAGRING	10
6 TIDPLAN OCH PERSONALBEHOV	13
7 RADIOLOGISKA KONSEKVENSER	15
8 KOSTNADSUPPSKATTNING	16
9 BILAGOR TILL HUVUDRAPPORTEN	19
9.1 Referenslista	
9.2 Tvärsnitt av kraftverksbyggnaden	
9.3 Reaktortank med interna delar	
9.4 Systemschema med aktivitetsklassning	
BILAGEDEL	
Bilaga 1 ASEA-ATOM PM TK 79-217 Rivning av svenska kärnkraftverk	
Bilaga 2 ASEA-ATOM PM RD 79-489 Demontage av reaktortank med interna delar	
Bilaga 3 ASEA-ATOM PM RF 79-413 Aktivitetsmängder och strålningsnivåer	
Bilaga 4 VBB Rapport 88435-000 19791005 Rivning av svenska kärnkraftverk	
Bilaga 5 Barsebäcksverket Teknisk Information Beskrivning av en referensanläggning	

SUMMARY

Various estimates concerning the costs of decommissioning a redundant nuclear power reactor to the green fields state are given in the literature. The purpose of this study is to provide background material for the Swedish nuclear power utilities to estimate the costs and time required to dismantle an ASEA-ATOM Boiling Water Reactor.

The units Oskarshamn II and Barsebeck 1, both with an installed capacity of approximately 600 MW, serve as reference plants. The time of operation before final shutdown is assumed to be 40 years. Dismantling operations are initiated one year after shutdown. When the dismantling of the plant is finished the site shall be released for unrestricted use.

The costs for dismantling and subsequent final disposal of the radioactive waste are estimated to approximately 500 million Swedish crowns (~ 115 MUS\$) in terms of 1979 crowns. The sum includes 25% contingency. The dismantling cost is equivalent to 10-15% of the installation cost of a corresponding new nuclear power plant. The exact percentage is dependent on the interest rate used during the construction period.

It is shown in the study that a total dismantling can be accomplished in less than five years.

This report is a compilation of studies performed by ASEA-ATOM and VBB based on premises given by KBS.

The reports from these studies are collected in appendices, where also a short technical description of one of the reference plants is given.

SAMMANFATTNING

Varierande uppgifter har lämnats om kostnaderna för att riva ett uttjänt kärnkraftverk. Denna studie har genomförts för att de svenska kärnkraftföretagen skall kunna ange en på egna bedömningar grundad uppfattning om kostnader och tidsåtgång för rivning av en kokarreaktor av svensk tillverkning.

Referensanläggningar är Oskarshamnsverket II och Barsebäcksverket 1, bägge med en installerad effekt av ca 600 MW. Drifttiden före slutavställning har förutsetts vara 40 år. Rivningsstart har antagits ske ett år efter slutavställning. Efter rivningen skall platsen kunna användas för annan ospecificerad verksamhet.

Kostnaderna för rivningen inklusive slutdeponering av avfallet har uppskattats till ca 500 Mkr vid penningvärde sommaren 1979. I beloppet ingår ett pålägg på 25% för oförutsett. Kostnaden motsvarar 10-15% av anläggningskostnaden i samma penningvärde. Procentsatsen är beroende av vilka antaganden som görs om räntekostnader under byggnadstiden.

Studien har visat att rivning kan genomföras på ca 5 år.

Huvudrapporten bygger på förutsättningar specificerade av KBS och resultat av utredningar utförda av ASEA-ATOM och VBB. Underlagsmaterialet har sammanförts i bilagedelen, där även en kort beskrivning av en av referensanläggningarna återfinns.

1 BAKGRUND

I diskussionen om kärnkraftens slutkostnader har mycket varierande uppgifter om kostnaden för att riva ett kärnkraftverk angetts. I samband med den av regeringen tillsatta utredningen om organisations- och finansieringsfrågorna för hantering och förvaring av använt kärnbränsle och radioaktivt avfall har frågan ånyo aktualiserats.

Hittills gjorda kostnadsuppskattningar för rivning av svenska kärnkraftverk (exempelvis ref 6) har baserats på utredningar gjorda i USA och Västtyskland (ref 7-9). För ASEA-ATOMs reaktorer som till sin konstruktion skiljer sig från amerikanska och tyska kokarreaktorer kan resultaten av dessa utredningar vara svåra att applicera på ett tillförlitligt sätt. Till detta kommer svårigheten att jämföra kostnader för arbetskraft, material etc.

Denna studie har därför genomförts för att ge en preliminär uppskattning av kostnaden och tidsåtgången för att riva en kokarreaktor av ASEA-ATOMs konstruktion. Studien har genomförts på ca tre månader för att resultaten skall kunna utnyttjas i den nämnda utredningens arbete. Med hänsyn härtill är vissa avsnitt översiktliga medan andra går mera i detalj. Den framräknade kostnaden för rivning av ett kärnkraftverk är därför ungefärlig.

I två av de utländska studierna (ref 7 och 9) har en jämförelse mellan kostnaden för rivning av en BWR och en PWR gjorts. Skillnaden uppskattas vara mindre än 15%, PWR något billigare. De i denna studie framräknade kostnaderna bör således även vara tillämpliga för rivning av en PWR-anläggning.

I studien har ASEA-ATOM och VBB (Vattenbyggnadsbyrån) medverkat. Arbetet har letts av en styrgrupp bestående av

Bertil Mandahl	OKG
Karl-Erik Sandstedt	Vattenfall
Bengt Norman	Sydskraft
Hans Forsström	KBS

Styrgruppen har sammanställt denna rapport baserad på ASEA-ATOMs och VBBs rapporter (ref 1-4).

2 FÖRUTSÄTTNINGAR

De förutsättningar som gäller för studien är generella, och inte grundade på några försök till optimering. Vissa av här redovisade förutsättningar kan därför diskuteras ur olika synpunkter.

Referensanläggningar: Oskarshamnsverket II, Barsebäck 1.
Drifftid före slutavställning: 40 år.

- 1 Rivning startas snarast efter slutavställning och borttransport av använt bränsle, styrestavar, neutrondetektorer samt driftavfall, dvs efter ca ett år.

Tidigare start än efter ett år kan knappast ske med hänsyn till ovan angivna driftåtgärder. Borttransporten av bränsle blir troligen tidsstyrande och ställer med hänsyn till den korta tiden relativt hårda krav på transportsystem till och mottagningsanordningar vid mottagande bränslelager.

En vinst av tidig start är, att drifts- och underhållspersonalen fortfarande är tillgänglig och deras kunskaper i viss utsträckning kan utnyttjas vid planering och som arbetsledning vid demontage.

- 2 Rivningen skall utföras med nu känd teknik.
- 3 Händelser som medfört större aktivitetsspridning har ej inträffat under driftperioden. Aktivitetsspridning inom kontrollerat område har således begränsats till normala läckage.
- 4 Val av arbetsmetod skall ske med hänsyn till personskydd och skydd mot utsläpp till omgivningen. I de fall tillfälliga strålskärmar, avståndsmanövrering eller provisoriska ventilationssystem med filter erfordras bör detta anges.
- 5 Inventarium av radioaktiva ämnen skall beräknas. Jämförelse skall ske med publicerade utländska utredningar, där så är möjligt. Svenska undersökningar rörande aktivitetssuppbbyggnad i system (de s k MADAC-undersökningarna) skall beaktas.
- 6 Dekontaminering (rengöring från aktivitet) med kemikalier av hela system eller komponenter förutsätts ej ske. Enklare dekontamineringsmetoder skall däremot användas, t ex bortbilning av kontaminerad betong och vattentvättning med högtrycksspruta.

Möjligheten att rengöra turbiner och turbinsystem skall beaktas med hänsyn till att aktivitets-spridningen dit som regel är liten och aktiviteten ofta lätt att ta bort.

Orsaken till att rengöring med kemikalielösningar inte skall beaktas i denna studie är att avfallshandlingen för många kända dekontamineringslösningar inte är klarställd. Kemikaliedekontaminering är dock av stort intresse såväl med hänsyn till dosreducering som ökade möjligheter till återanvändning.

- 7 Ytor skall betraktas som rena om försmutsningen med aktivitet (kontaminationen) understiger 10^{-4} $\mu\text{Ci}/\text{cm}^2$ för β^- , γ -strålare och 10^{-5} $\mu\text{Ci}/\text{cm}^2$ för α -strålare.

Material med inducerad eller absorberad aktivitet understigande $0,002$ $\mu\text{Ci}/\text{g}$ skall betraktas som inaktivt.

Allmänt accepterade värden på vad som ur aktivitets-synpunkt skall betraktas som rent eller icke aktivt finns inte. De värden som användes för tillåtlig försmutsningsgrad motsvarar dem, som enligt internationella rekommendationer är tillåtliga på utsidan av förpackningar med aktivt material vid transport med allmänna transportmedel. Värdet på vad som inte skall betraktas som aktivt material ansluter sig till det värde som i strålskyddslagen är övre gränsvärde för när tillstånd inte erfordras för innehav, bearbetning etc.

Beräkningar för att fastställa tillåtliga värden pågår på många håll. Det kan dock förutses att det kommer att ta lång tid innan sådana värden blir fastställda för de aktivitetssammansättningar som är av intresse vid rivning.

- 8 För aktivitetsspridning till betong skall följande gälla:
- a) för större bassänger med rostfri täckplåt antas läckage ha medfört aktivitetsinträngning till ett djup av 5 cm över hela ytan bakom plåten. Sprickor i betongen antas dessutom ha medfört att ytterligare ca 5 m^3 betong försmutsats
 - b) i pumpgropar antas att betongen förorenats till ett djup av 10 cm och att sprickbildning medfört att ytterligare ca 1 m^3 betong förorenats

- c) spill i rum med begränsad mängd aktiv process-
utrustning har medfört att 1% av golvytan
försmutsats. I rum med större läckagerisk
antas 10% av golvytan vara försmutsad.

Begränsad erfarenhet motiverar dessa grova antaganden.

- 9 Vid rivningen förutsätts att ingen annan verksamhet
pågår på platsen. Detta kan i praktiken innebära
en vänteperiod innan rivningsarbetet påbörjas.
Beräkning av vad en vänteperiod innebär för dosbe-
lastning, kostnader etc skall ej utföras.
- 10 Slutförvar av aktivt avfall skall beräknas ske i
en central avfallsanläggning i enlighet med
Programrådet för radioaktivt avfalls ALMA-utredning.
Transporten till förrådet skall ske i enlighet med
vad som förutsatts i samma utredning.
- För transportförpackningar skall gälla regler i
enlighet med internationella rekommendationer.
- 11 Icke aktivt rivningsavfall skall behandlas på
konventionellt sätt. Möjligheten att använda dem
som fyllmassor för återställning av kraftverks-
platsen skall beaktas.
- Möjligheter till återanvändning skall anges men ej
krediteras i pengar.
- 12 Kraftverksplatsen skall iordningställas så att den
fritt kan användas för icke specificerad verksamhet.
- 13 Uppskattade kostnader skall anges i det penning-
värde som gäller sommaren 1979. I möjlig utsträck-
ning skall kostnaderna anges på sätt som medger
att uppskattningarna senare även kan användas för
andra svenska kärnkraftverk än referensanläggningarna.

3 MATERIALMÄNGDER OCH AKTIVITETSINNEHÅLL

Som underlag för att bestämma behovet av strålskärmning
i samband med rivningsarbetena och mängden material
som måste behandlas som radioaktivt avfall har aktivi-
tetsnivån i anläggningens olika system och byggnads-
delar uppskattats. Därvid har såväl beräkningsprogram,
som erfarenhetsmaterial från driften av de svenska
kärnkraftverken, utnyttjats.

Fyra typer av aktivt material beaktas:

material med inducerad aktivitet
material med ytkontamination (crud)
material med absorberad aktivitet
sand från fördröjningstanken för aktiva gaser

Beräkningssättet för och resultaten från uppskattningen av aktivitetsnivån för dessa typer beskrivs kortfattat nedan. En utförligare redogörelse ges i referens 3.

Material med inducerad aktivitet

Den inducerade aktiviteten har bestämts med neutrontransportberäkningar. Vid beräkningarna har sammansättningen hos de ingående konstruktionsmaterialen baserats på materialintyg. För betong har sammansättningen bestämts från prov på bl a betongen i Barsebäck. Beräkningarna utgår från 40 års drift, 7200 timmar per år.

Då neutronflödet avtar mycket snabbt utanför reaktorhärden får endast reaktortanken och dess interna delar samt den närmast omgivande isoleringen och betongen en inducerad aktivitet som överstiger gränsvärdet $2\mu\text{Ci}/\text{kg}$. Se figur 3.1. Redan några meter från härden dominerar crudaktiviteten.

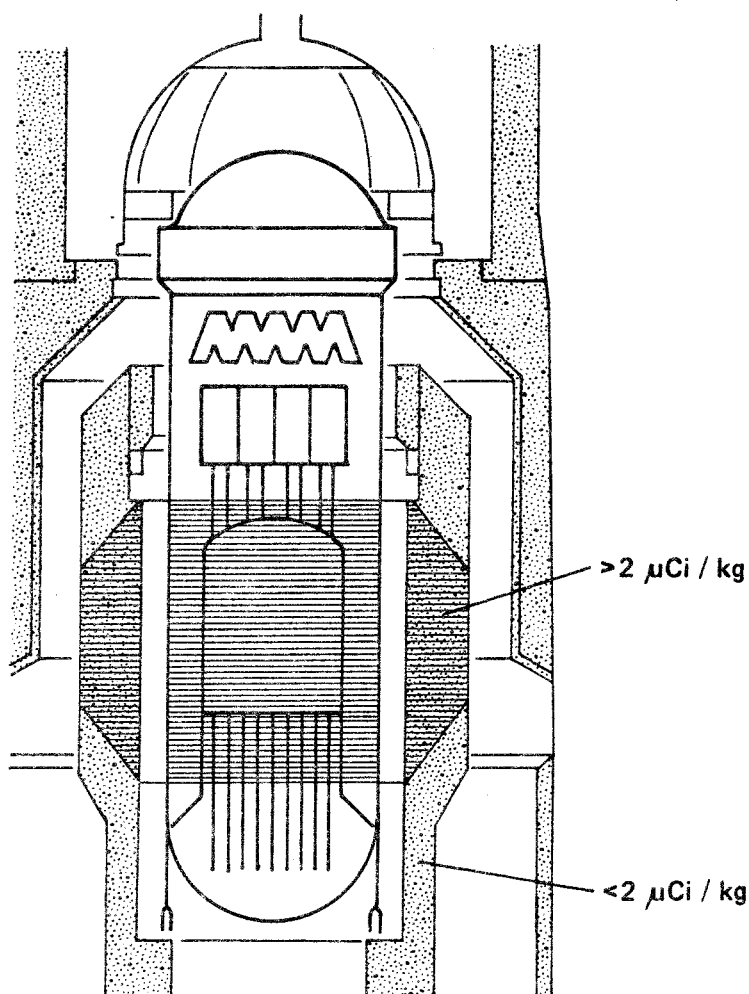


Fig 3.1 Inducerad aktivitet i reaktortanken och omgivande strålskärm (biologiska skärmen).

Den inducerade aktiviteten domineras ur dossynpunkt av Co-60. I de mest aktiva delarna, exempelvis härdgallret, är koncentrationen beräknad till ca 10 Ci/kg, vilket motsvarar dosrater på mer än 10^4 rem/h.

I den biologiska skärmen är Co-60-aktiviteten betydligt lägre, <1 mCi/kg, vilket medför att dosraten på insidan av skärmen är <100 mrem/h.

Vid långtidsförvaring är långlivade isotoper som Ni-63, Ni-59, Nb-94 och Ca-41 avgörande. I denna studie har ingen ingående analys av dessa gjorts, då klassningen av material i aktivt/inaktivt görs efter ett års avställning och Co-60 då helt dominerar. I referens 3 ges även värden för nickelisotoperna.

Material med ytkontamination (crud)

Alla system som berörs av reaktorvatten blir i större eller mindre utsträckning kontaminerade med aktiva metallpartiklar s k crud. Erfarenhetsmaterial från cruduppbyggnaden på olika ställen i reaktorsystemen har samlats genom mätningar i samband med reparationsarbeten.

Med detta material som underlag har en klassning genomförts system för system av förväntad aktivitetsnivå. Vid klassningen har man inte tillgodoräknat sig någon minskning i aktivitetsnivån genom dekontaminering i reaktorsystemen. Turbinsystemen efter högtrycksturbinen har dock förutsatts kunna rengöras till stor del genom tvättning med högtrycksspruta och torkning med trasor. Klassningen visas schematiskt i process-schemat i bilaga 9.4.

Aktiviteten i cruden domineras ur stråldosynpunkt likaledes av Co-60 men ett visst bidrag erhålls även från fissionsprodukter som Cs-137 (<10%). Hittillsvarande MADAC-mätningar har visat att ytaktiviteten av Co-60 är ca 10 mCi/m² i system som berörs av orenat reaktorvatten. Efter 40 års drift uppskattas detta värde öka till högst 50 mCi/m². Dosraten från skrotet blir av storleksordningen 1 rem/h. Merparten av systemen får dock lägre aktivitet.

Material med absorberad aktivitet

Bränsle-, reaktor- och kondensationsbassängerna är klädda med rostfri plåt. Erfarenhetsmässigt är denna inte helt tät utan aktivt vatten kan läcka ut till den

omgivande betongen. Betongen har visat sig ha mycket god filtrerande förmåga, vilket medför att aktiviteten samlas i ett tunt skikt närmast ytan. Här har det antagits vara 5 cm tjockt. I samband med sprickor i betongen tränger aktiviteten dock djupare på vissa ställen. Aktivitetsnivån i betongen beräknas dock överallt vara låg.

I samband med spill kommer även en viss del av golven i anläggningen att bli förorenad med aktivitet. Här har det antagits att 10% av totala golvytan i processutrymmen för system med varmt orenat reaktorvatten och 1% av golvytan i övriga processutrymmen blivit förorenad till 1-2 cm djup.

Sand från fördröjningstanken för aktiva avgaser

I fördröjningstanken för aktiva avgaser ansamlas radioaktiva ädelgasdöttrar. Tanken innehåller totalt 965 m³ sand och aktivitetsinnehållet har beräknats till 13 Ci varav 8 Ci Cs-137 och 5 Ci Sr-90. Merparten av aktiviteten bör finnas i botten av sandtanken medan övre delen troligen kan klassas som inaktiv.

Mängder aktivt material

Med de utförda beräkningarna som underlag har mängden aktivt material uppskattats. Det har därvid klassats i tre klasser efter den typ av transportbehållare som kommer att krävas.

- 1 Förpackas i icke-skärmande transportbehållare
- 2 Förpackas i skärmande transportbehållare
- 3 Förpackas i skärmande transportbehållare med extra skärmning

Transportsystemet och transportbehållarna beskrivs närmare i kapitel 5.

I tabell 3:1 ges en sammanställning av mängden aktivt material och antalet transportbehållare som behövs för att transportera det till slutförvar.

Om systemen dekontamineras kan mängden aktiva systemdelar som måste slutförvaras minskas. Någon uppskattning av minskningen har emellertid inte gjorts.

Tabell 3:1

Uppskattning av mängd aktivt material som erhålls vid rivning av en ASEA-ATOMS BWR av storleken ca 600 MW

	Materialvikt ton	Antal transportbehållare		
		typ 1	typ 2	typ 3
Reaktortank med interna delar och PS-kupol	700	12	30	34
Reaktortanksisolering	50	7		
Aktiva system	3700	308	61	
Biologiska skärmen	580		18	
Förorenad betong	450	12		
Sandtanken ^{x)}	500	14		
Summa ca	6000	350	150	

x) 20% antas aktiv

4 RIVNINGSSSEKVENNS OCH METODER

Nedan ges huvuddragen i den rivningssekvens som föreslagits av ASEA-ATOM och VBB i ref 1, 2 och 4.

Ett tvärsnitt av kraftverksbyggnaderna och reaktortanken med interna delar visas i bilagorna 9.2 och 9.3.

Efter att anläggningen tagits ur drift erfordras ett år för uttagning och borttransport av bränslet. Härdkomponenter som styrstavar och ledrör för neutrondetektorer m m, vilka normalt byts under driftperioden, transporteras också bort. Under denna period är reaktorns renings- och säkerhetssystem fortfarande i drift i normal utsträckning.

Rivning av reaktortank med interna delar, övriga aktiva rörsystem och aktiverad eller radioaktivt nersmutsad betong utförs inom till det yttre orörda kraftverksbyggnader. Därigenom underlättas filtrering och kontroll av ventilationsluft under den tid arbeten pågår. På så sätt undviks spridning av radioaktivitet till omgivningen. Kraftverkets avfallsanläggning för omhändertagande av förorenat vatten är i normal drift.

Nedmonteringen av reaktortanken med interna delar är tidsstyrande för hela rivningsarbetet och inleds så fort som möjligt.

De delar av reaktorn som befinner sig närmast bränslet, moderatortank, moderatortanklock, härdgaller och uppställningsplattor m m, har under driften blivit starkt radioaktiva. Dessa komponenter är av rostfritt stål i relativt klena dimensioner och sönderdelas t ex med plasmaskärning under vatten till delar av lämplig storlek. Skrotet packas under vatten i särskilda innerlådor, vilka sedan fungerar som extra strålskydd i transportbehållarna.

Reaktortanken demonteras genom skärning i luft. Under arbetet användes en strålskärmande specialutrustning. Denna kan utformas på olika sätt. Ett exempel har skisserats i ref 2.

Parallellt med arbetena på reaktortanken påbörjas demontage av rörsystem i reaktorbyggnaden. Vid nedkapning av rör, ventiler etc användes samma metoder och förfaranden som vid service- och ombyggnadsarbeten i kärnkraftverk.

Normalt användes rörsvarv eller kallsåg för grövre material. Kapning av klenrör sker med hydrauliska klippverktyg. Större enheter som värmeväxlare och tankar styckas till lämpliga enheter med t ex plasmaskärning.

Nedkapning av rör och komponenter i aktiva utrymmen sker i så stora enheter som möjligt för att minska uppehållstiden för personalen. Enheterna transporteras till ett angränsande utrymme där uppkapning sker till bitar som passar avfallsbehållarna.

Demontage av inaktiva system, framför allt kylsystem och delar av turbinsystemen, utförs med konventionella metoder.

Den rostfria inklädnaden av bassängerna i reaktorhallen och i reaktorinneslutningen klipps eller slipas upp i skarvarna.

När huvuddelen av rörsystemet rivits vidtar betongarbeten. I första hand rivs och borttransporteras den aktiverade betongen närmast reaktortanken och aktivt nersmutsad betong innanför bassängplåtar, i golvbrunnar och ytlagret av en del golvytor.

Det största och mest förorenade betongpartiet är den biologiska skärmen närmast reaktortanken. Aktiviteten i denna del är dock inte så hög att omfattande skyddsåtgärder erfordras. Den aktiverade delen, totalt ca 240 m³, sönderdelas i block genom borrning och spräckning eller genom skärning med s k termisk lans.

Övrig förorenad betong tas bort i huvudsak genom mejsling eller spräckning av större ytor. All förorenad betong förpackas i transportbehållare. Varje behållare rymmer 14 - 18 m³ löst packat betongavfall. Totalt erfordras ca 30 st transportbehållare för betongen.

För aktiva rörsystem och komponenter inklusive reaktortanken erfordras ca 450 transportbehållare varav ca 130 med särskild strålskärning. Dessutom tillkommer behållare för svagt förorenad sand från fördröjnings-tanken för aktiva avloppsgaser.

Rivning av inaktiva byggnadsdelar sker på konventionellt sätt. Takkonstruktionen kan i allmänhet lyftas bort i bitar med mobilkran. Betongstommen sprängs i lagom stora bitar så att massorna faller ner i källarplanen.

Reaktorinneslutningen med tillhörande bassänger är särskilt kraftigt byggd och här erfordras viss kompletterande skärning och spräckning för att få ner konstruktionen på ett kontrollerat sätt och för att få en god packningsgrad i lägre liggande utrymmen.

Vid rivning av avfallsstationen erhålls smärre mängder flytande och luftburet avfall vilket tas om hand i ett provisoriskt system.

Efter avslutad rivning avjämnas stationsområdet och täcks med ett lager naturmaterial. Hur detta i detalj skall ske beror på hur man avser att använda området i fortsättningen.

5 TRANSPORTER OCH AVFALLSLAGRING

Aktivt avfall

I kapitel 3 anges mängden material som har en aktivitetsnivå som gör att det måste tas om hand som radioaktivt avfall. Då aktivitetsnivån varierar starkt mellan olika avfallskollin skulle man kunna använda olika deponeringsmetoder för de olika kategorierna exempelvis

markdeponering och placering i berggrum. I denna studie har dock konservativt antagits att allt avfall skall deponeras i berggrum. Som modell för ett slutförvar har därvid använts det av Programrådet för radioaktivt avfall studerade slutförvaret för låg- och medelaktivt avfall, ALMA. För transport av rivningsavfallet till ALMA utnyttjas det transportsystem som föreslagits av Prav. En kort beskrivning av transportsystemet och slutförvaret ges nedan. De beskrivs utförligare i ref 11-13.

Transportsystem

Transportsystemet är baserat på containertransport med ett specialbyggt roll-on-roll-off-fartyg. Detta fartyg som har en lastkapacitet på ca 1100 ton skall även kunna utnyttjas för transport av bränsleflaskor med använt kärnbränsle. För en stor del av avfallet från rivning torde även konventionella fartyg kunna utnyttjas.

För hantering av transportbehållarna vid kärnkraftverken resp vid slutförvaret utnyttjas en speciell typ av terminalfordon.

Två typer av transportbehållare kommer att användas, en icke-skärmande stålbehållare och en skärmande betongbehållare (35 cm väggtjocklek). Båda har innermått 2,5 x 3,7 x 2,7 m, b x l x h. De väger tomma 10 resp 52 ton. Totalvikten för behållarna med last får ej överstiga 100 ton.

Merparten av avfallet faller under kategorin "low-level solid waste" enligt IAEAs transportbestämmelser och får därför transporteras i s k "strong industrial package", vilket behållarna är. Dosraten får ej överstiga 200 mrem/h på ytan av behållaren och 10 mrem/h på 2 m avstånd.

För att uppfylla dessa regler måste ytdosraten på avfall som placeras i icke-skärmande resp skärmande behållare vara lägre än 30 mrem/h resp 1 rem/h. För hantering av avfallet i slutförvaret har likaledes gränsen 1 rem/h använts.

En mindre del av avfallet, främst reaktortankens interna delar har så hög aktivitet att de behöver ytterligare strålskärning utöver vad den skärmande behållaren ger. (Upp till 70 cm betong extra). För dessa används extra innerbehållare som deponeras i slutförvaret tillsammans med avfallet.

I kapitel 3 har redovisats att totalt en volym motsvarande ca 500 behållare behövs för att transportera bort allt rivningsavfall. Frekvensen med vilken behållarna fylls är högst under de två första åren, då reaktortanken med interna delar samt aktiva system rivs. Maximalt kommer då ca 25 behållare att fyllas per månad, av vilka 10 är skärmande och 15 icke-skärmande.

Varje båtlast tar mellan 14 och 24 behållare, beroende på behållarnas vikt och en rundresa kärnkraftverk - ALMA - kärnkraftverk tar maximalt 7 dygn inklusive tid i hamn för lastning och lossning av behållare. För att behållarantalet inte skall bli begränsande för rivningsarbetet behövs därför ca 80 behållare, varav ca 30 är skärmande.

Kostnaden för borttransport av rivningsavfallet har beräknats utgående från den kostnadsuppskattning som gjorts i ref 11. Kostnadsvärdena har därvid räknats upp till nivån sommaren 1979.

Kostnaden för transporten blir ca 30 000 kronor per behållare och transport. Totalt skall ca 500 behållare transporteras vilket medför en total kostnad på 15 milj kronor för transportererna.

Slutförvar

Slutförvaret för låg- och medelaktivt avfall ALMA är enligt förslaget i ref 13 utformat som bergsalar med ca 25 m spännvidd och 150-300 m längd. I salarna lagras avfallet i stora tråg av betong. Väggarna i träget fungerar därvid som stöd för stapling samt som strålskärm. Efter hand som trägen fylls med avfall gjuts de igen med betong. Vid förseglingen av förvaret fylls mellanrummet mellan tråg och bergvägg med en blandning av sand och bentonitlera.

I slutförvaret finns fjärrmanövrerad utrustning för urlastning av behållarna och stapling av avfallet i förvaret samt igengjutning av trägen.

Kostnaden för slutförvaring uppskattas till ca 3500 kr/m³ avfall. Detta inkluderar såväl investerings- som driftkostnader. Totalkostnaden för slutförvaring av rivningsavfallet blir ca 35 milj kronor.

Det bör i detta sammanhang påpekas att ett enklare deponeringsalternativ exempelvis i anslutning till rivningsplatsen för en stor del av rivningsavfallet torde medföra en avsevärd minskning av kostnaden.

Inaktivt avfall

Avfallsmängden från rivning av inaktiva byggnadsdelar utnyttjas i första hand till att fylla groparna under reaktor- och turbinbyggnaderna. Eventuellt kan sådant material också deponeras i kylvattenvägarna. Vid Oskarshamnverket kan då allt material deponeras på platsen medan ca 25 000 m³ blir över vid Barsebäcksverket. Detta transporteras på vanligt sätt till en yttre tipp.

Inaktiva systemdelar och kablage torde vara värdefulla som skrot. Det har därför förutsetts att dessa säljs till skrothandlare, som ombesörjer borttransporten.

6 TIDPLAN OCH PERSONALBEHOV

Rivningsarbetet antas påbörjat ca ett år efter att anläggningen tagits ur drift. Tidplanen framgår av fig 6.1. Under det första året, år noll, sker borttransport av bränsle m m och detaljplanering av demontgearbete. Under år noll förutsätts kraftverkets driftorganisation vara i stort sett intakt. För ett aggregat motsvarar detta ca 140 personer.

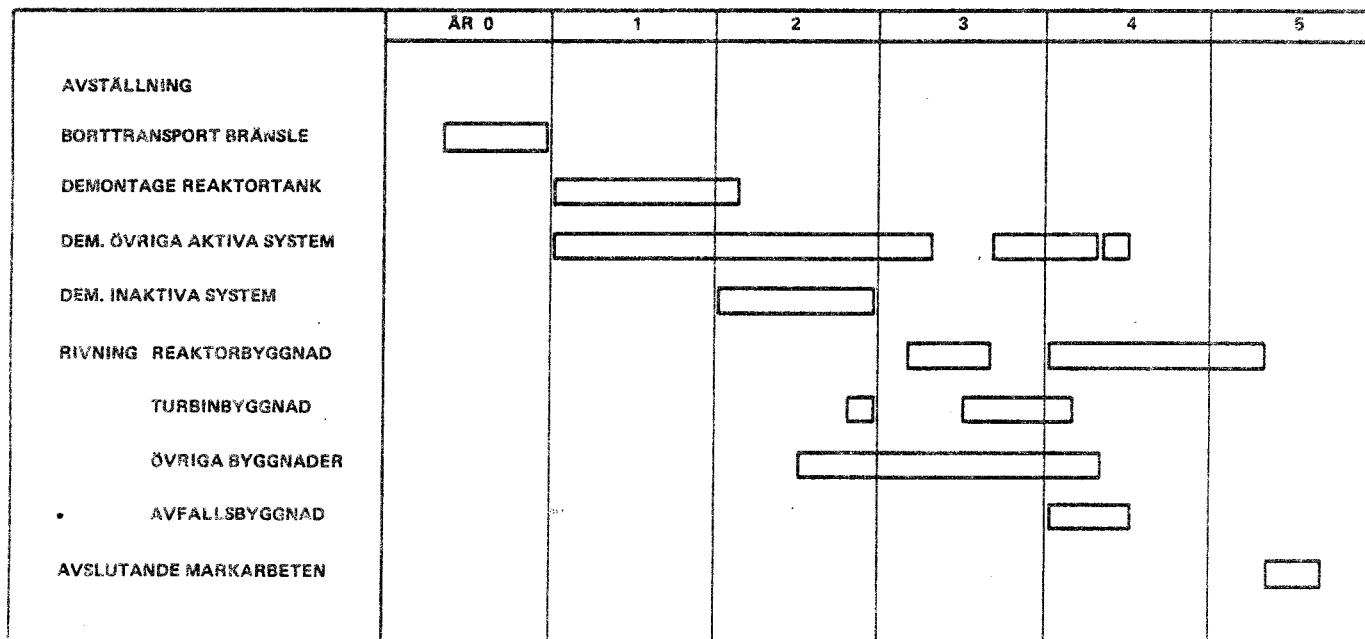


Fig 6.1 Huvudtidplan

Tidsstyrande för hela rivningen är den sekvens som startar med reaktortanken och fortsätter med rivning av reaktorinneslutning med bassänger och sist själva reaktorbyggnaden. Tidplanen har gjorts upp under förutsättning att endast normalt dagtidsarbete under fem dagar per vecka utnyttjas.

Det inledande demontaget av reaktortank och interna delar beräknas ta drygt ett år.

Demontage av övrig mekanisk utrustning pågår i viss utsträckning under år 1 men huvuddelen av arbetet utförs under år 2.

Rivning av byggnader sker i huvudsak under år 3 och 4.

De personalinsatser som krävs för själva rivningen redovisas i ref 1 och 4. Dessutom erfordras viss skiftgående driftpersonal (2-4 man/skift) för skötsel av avfallsanläggning, ventilationssystem m m. För bevakning av rivningsplatsen erfordras två väktare dygnet runt under de första tre åren. Resurser för projektledning, kontorsarbete, strålskydd, arbetarskydd, brandskydd och sanering tas i huvudsak från driftorganisationen.

I tabell 6:1 visas personalbehov utöver direkt rivningspersonal som anges i ref 1 och 4.

Tabell 6:1

Kategori	År 1	År 2	År 3	År 4	År 5
Projektledning	10	10	10	7	5
Drift	20	20	12	12	2
Kontorsservice	5	5	5	5	4
Skyddsverksamhet	10	10	8	6	4
Sanering	10	10	10	5	5
Summa	55	55	45	35	20

Personalbehovet under hela rivningsfasen sammanfattas i fig 6.2.

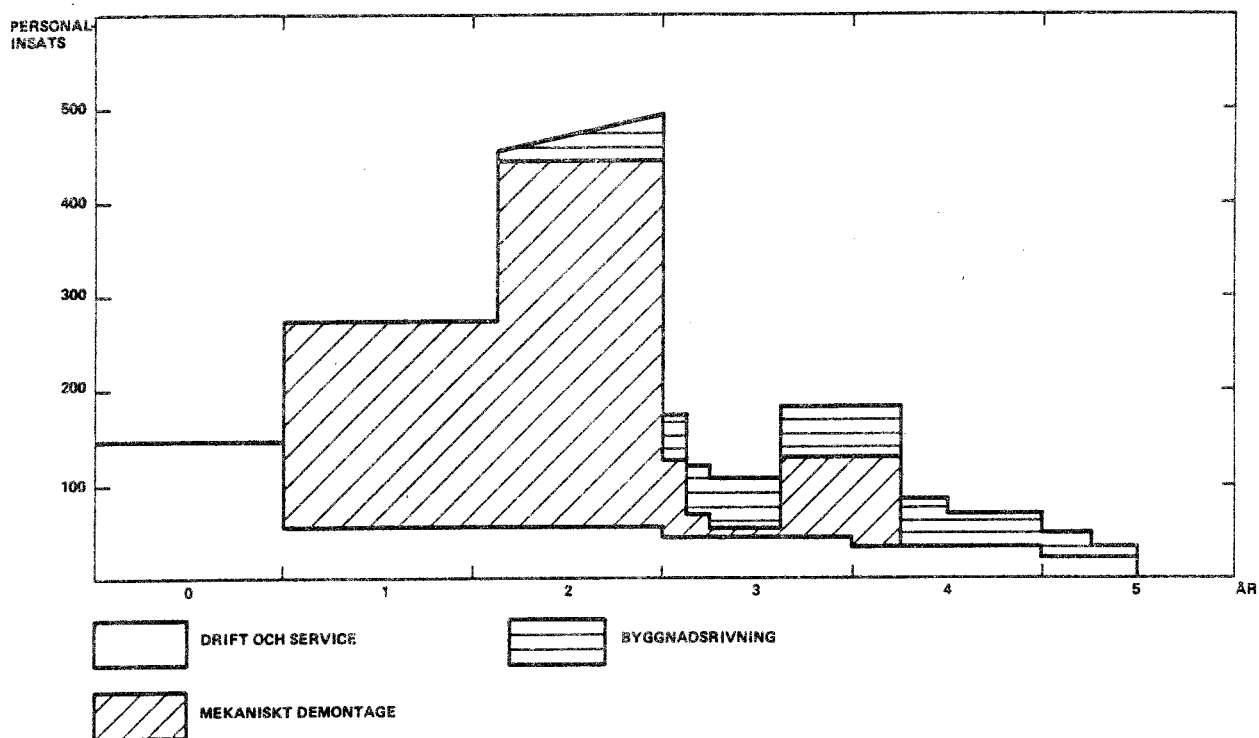


Fig 6.2 Personalresursplan

Den maximala personalinsatsen på omkring 500 personer under år 2 är av samma storleksordning som under en normal revisionsperiod i ett kärnkraftverk. Befintliga personalutrymmen liksom mathållning etc är därför dimensionerade för så stora temporära insatser.

Studien visar att ett kärnkraftverk kan rivas på kortare tid än fem år och med en rimlig personalinsats. Då har inga försök till optimering av tids- och resursplaner gjorts. Med vissa justeringar kan en jämnare personalresursplan och jämnare utnyttjning av transportkapaciteten erhållas.

7 RADIOLOGISKA KONSEKVENSER

Doserna till rivningspersonal har uppskattats. Underlaget är emellertid osäkert. Bättre bedömningsunderlag kan erhållas först sedan frågor som aktivitetsuppbyggnad i system, arbetsmetoder och arbetstider, rivningsplanering för olika utrymmen, materialflöden och avfallshantering bearbetas mer ingående.

I ref 1 har totaldosen beräknats till 1200 manrem. Även om beräkningsunderlaget som nämnts är behäftat med brister torde den beräknade dosen vara rimlig. Genomgångar med strålskyddspersonal med erfarenhet från

underhållsarbete pekar mot liknande dosvärden om hänsyn tas till möjligheterna till skärmning och snabb bortforsling av mer aktiva komponenter (ref 14). Man har i det sammanhanget även framfört att beräknade arbetstider i aktiv miljö förefaller överdrivna.

Utsläpp till omgivningen har inte beräknats. Eftersom det vid rivning främst rör sig om aktivitet i partikelform är det med lämplig filtrerad ventilation möjligt att hålla utsläppen mycket låga. Detsamma gäller vätskeburet avfall som också bör filtreras. Omgivningspåverkan bedöms kunna hållas klart under de gränsvärden som gäller vid drift.

8 KOSTNADSUPPSKATTNING

Grunder

Allmänt

Kostnaderna uppskattas i prisnivå sommaren 1979. För oförutsett görs ett pålägg av 25%.

Rivning av aktiva system

Personalbehovet för demontage av tre representativa system har detaljstuderats och jämförts med det kända personalbehovet för montage av motsvarande system. För rivning av aktiva system blir personalbehovet dubbelt så stort som för montage av systemen. Förhållandet tjänstemän/ arbetare är erfarenhetsmässigt 36/64 vid montage. För rivning räknas med förhållandet 30/70. Nedmontering av reaktortanken har specialstuderats varvid personalbehov och kostnader för utrustning uppskattats.

Rivning av inaktiva system

Rör, ventiler och elkablar bedöms kostnadsfritt kunna demonteras och bortforslas av skrotuppköpare eller följa med rivningsmassorna. För varje större apparat har kostnaden för demontage, eventuell uppskärning och transport till upplag uppskattats. Personalbehovet vid rivning har därvid satts till 70% av personalbehovet vid montage.

Rivning av byggnadsdelar

Byggnadsvolymererna är kända. Vilka av dessa delar som är aktiva har beräknats resp bedömts i förutsättningarna. För rivning av inaktiva byggnadsdelar har å-priser (kr/m²) byggda på erfarenhet använts. För rivning av aktiva byggnadsdelar har å-priserna multiplicerats med en faktor 2 å 3.

Kostnadssammanställning

De uppskattade kostnaderna för hela rivningsoperationen och slutförvaringen av aktiva delar har sammanställts i tabell 8.1. Kostnadernas fördelning i tiden anges i tabell 8.2.

Tabell 8.1 Uppskattade kostnader

Rivning av reaktortank med interna delar	50 Mkr inkl	25% pålägg
Rivning av övriga aktiva system	245 "-	
Rivning av inaktiva system	5 "-	
Rivning av aktiva byggnadsdelar	8 "-	
Rivning av inaktiva byggnadsdelar	45 "-	
Projektledning	16 "-	
Drift	24 "-	
Skydd, sanering, bevakning, kontorsservice	27 "-	
Elkraft och värme	10 "-	
Försäkringar och avgifter till myndigheter	10 "-	
Transporter av avfall	15 "-	
Slutförvar av avfall	35 "-	
<hr/>		
Summa kostnad för rivning och slutförvar	490 Mkr inkl	25% pålägg

Tabell 8.2 Kostnader fördelade i tiden

År -1	Planering, tillstånd, beställning specialutrustning	15 Mkr
0	Planering, tillstånd, leverans specialutrustning	30 "
1	Rivning reaktortank, vissa aktiva system	125 "
2	Rivning system och byggnader	215 "
3	Rivning system och byggnader	55 "
4	Rivning byggnader	35 "
5	Avslutande arbeten	15 "
<hr/>		
	Summa	490 Mkr

Rivningskostnaden 490 Mkr kan uppskattas till 10-15% av vad det i dag skulle kosta att uppföra ett 600 MWe kärnkraftverk. Procentsatsen är beroende av vilka antaganden som görs om räntekostnaderna under byggnadstiden.

Kostnadsjämförelse med andra utredningar

I tabell 8.3 har sammanställts rivningskostnader som redovisas i andra utredningar. Kostnaderna hänför sig till rivning snarast efter driftens upphörande.

Tabell 8.3 Jämförelse med andra utredningar

Utredning	Reaktortyp	Kostnader 1978	Kostnader Mkr 1979
AIF amerikansk 1975 (ref 7)	ca 1200 MWe BWR och PWR	35 M\$ ^{x)}	160
NRC-BNWL amerikansk 1978 (ref 8)	ca 1200 MWe PWR	39 M\$	180
Bardtenschlager et al tysk 1978 (ref 10)	ca 1200 MWe BWR och PWR	250 MDM	650
Essman et al tysk 1978 (ref 10)	ca 1200 MWe BWR och PWR	200 MDM	520
Denna utredning KBS 1979	ca 600 MWe BWR	-	490

x) Uppräknat till 1978 års kostnadsläge av ref 6.

Av ovanstående tabell framgår att rivningskostnaden enligt denna utredning är högre än i de amerikanska trots att den studerade reaktortypen har lägre effekt. Förklaringen torde vara ett allmänt sett högre kostnadsläge samt att vi i denna utredning räknat med att större maninsats erfordras och att kostnaderna för avfallshantering är högre.

Uppskattning av kostnaden för att riva andra svenska kärnkraftverk

I referenserna 1 och 4 ges uppgifter om massor för såväl system som byggnader i Oskarshamnsverket samt kostnaden för att riva dessa. För att göra en grov uppskattning av kostnaden för att riva ett annat svenskt kärnkraftverk kan en enkel proportionering baserat på materialmängderna göras.

9 BILAGOR TILL HUVUDRAPPORTEN

- 9.1 Referenslista
- 9.2 Tvärsnitt av kraftverksbyggnaden
- 9.3 Reaktortank med interna delar
- 9.4 Systemschema med aktivitetsklassning

REFERENSLISTA

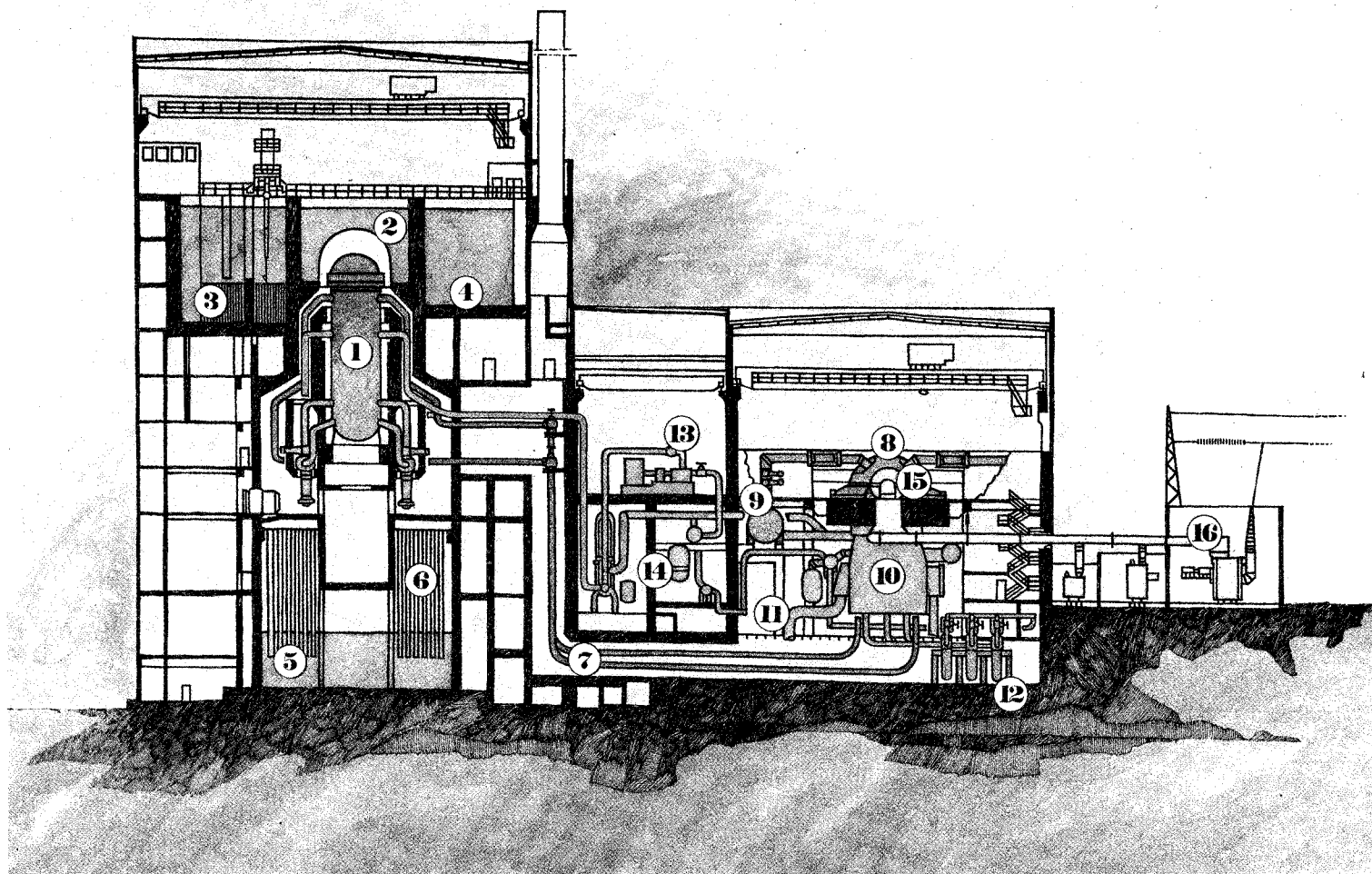
(Referenserna 1-5 sammanställda i bilagedelen)

- 1 ASEA-ATOM PM TK 79-217
Rivning av svenska kärnkraftverk
- 2 ASEA-ATOM PM RD 79-489
Demontage av reaktortank och interna delar
- 3 ASEA-ATOM PM RF 79-413
Aktivitetsmängder och strålningsnivåer
- 4 VBB Rapport 88435-000 19791005
Rivning av svenska kärnkraftverk
- 5 Barsebäcksverket Teknisk Information
Beskrivning av en referensanläggning
- 6 Scandpower Report 2.34.06 19790117
Kjernekraftens kostnader
- 7 AIF/NESP-009 Atomic Industrial Forum Inc., Nov
1976
An engineering evaluation of nuclear power reactor
decommissioning alternatives
- 8 NRC-BNWL NUREG/CR-0130, June 1978
Technology, safety and cost of decommissioning a
reference pressurized water reactor power station
- 9 Nuclear Engineering and Design vol. 45, 1978
Bardtenschlager et al
Decommissioning of light water nuclear power
plants
- 10 IAEA-SM-234/2, november 1978
Essman et al
Provision for decommissioning of the German
utilities for LWR power plants
- 11 T Milchert (Saltech) Rapport Prav 1.15, 1978
Transport av låg- och medelaktivt radioaktivt
avfall till avfallslagret ALMA
- 12 T Milchert (Saltech) Rapport Prav 1.21, 1979
ALMA Transportbehållare. Mekanisk påverkan vid
olyckor och principkonstruktion
- 13 M Cederström et al (Vattenfall) Rapport Prav
1.36, 1979
ALMA Konstruktionsstudie. Principlösningar
- 14 Personlig kommunikation
Sven-Gunnar Håkansson, Oskarshamnsverket
Lars Venner, Barsebäcksverket

Barsebäcksverket

Tvärsnitt genom kraftverksbyggnaden

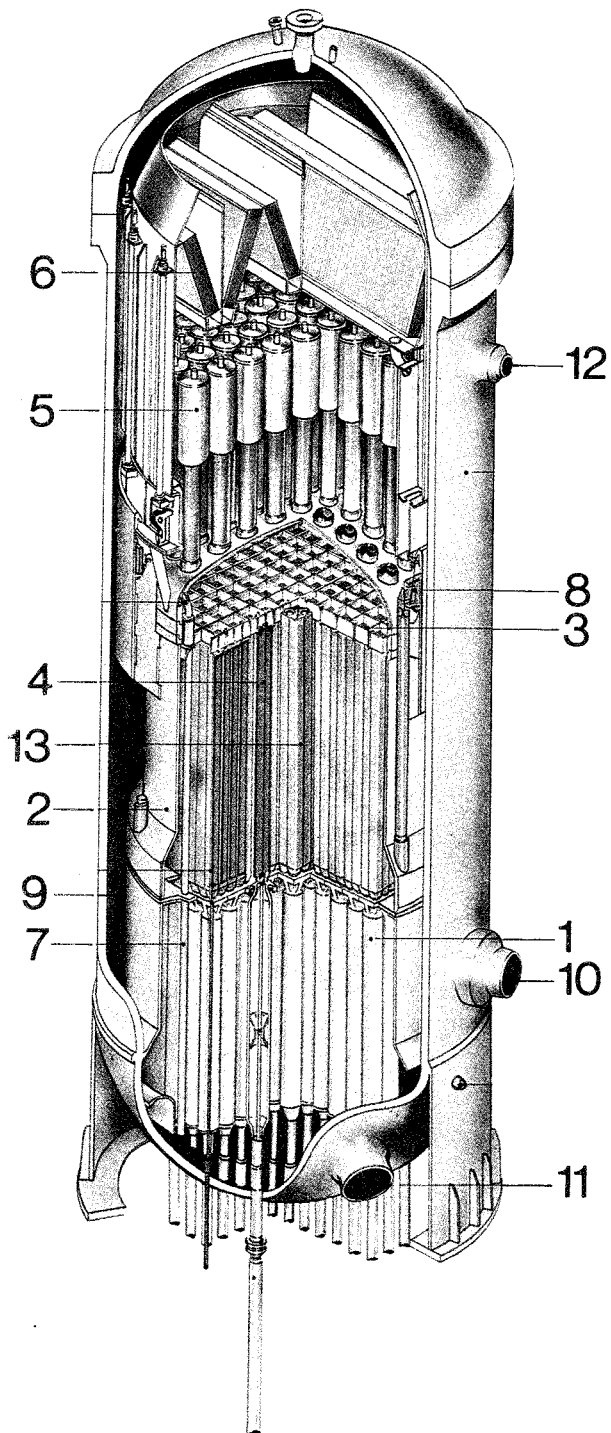
Barsebäckverket—tvärsnitt genom reaktor-och turbinbyggnaderna.



- | | | |
|---------------------------------------|----------------------|---------------------------|
| 1. Reaktortank | 7. Huvudångledningar | 12. Kondensatpumpar |
| 2. Reaktorbasäng | 8. Turbin | 13. Matarvattenpumpar |
| 3. Bränsleförvaringsbasäng | 9. Mellanöverhettare | 14. Matarvattenförvärmare |
| 4. Förvaringsbasäng för interna delar | 10. Kondensor | 15. Generator |
| 5. Kondensationsbasäng | 11. Kylvatten | 16. Huvudtransformator |
| 6. Nedblåsningsrör | | |

Reaktortank med interna delar

Reaktortank med interna delar



1. Ledrör för styrstav
2. Moderator tank
3. Härdgaller
4. Styrstav
5. Ångseparator
6. Fuktavskiljare
7. Härdstrilrör
8. Matarvattenfördelare
9. Fallspalt
10. Utloppsstuds för kylvatten till HC-pump
11. Inloppsstuds för kylvatten från HC-pump
12. Ångutlopp
13. Bränsleelement.

Systemschema - Aktivitetsklassning

PROCESSHEMA

2 REAKTOR MED SERVICEUTRUSTNING

- 213 Härdstril
- 214 Ångavskiljare
- 215 Fuktavskiljare
- 243 Utrustning i förvaringsbassäng för bestrålade bränslepatroner och styrestavar
- 244 Utrustning i upplagsutrymme för interna delar

3 REAKTORNS HJÄLPSYSTEM

- 311 Huvudångledning
- 312 Matarvattensystem
- 313 Cirkulationssystem
- 314 Avblåsningssystem
- 316 Kondensationssystem
- 321 Kylsystem för avställd reaktor
- 322 Kylsystem för reaktorinneslutningen
- 323 Sprinklersystem för reaktorhärden
- 324 Kyl- och reningssystem för bränsleförvaringsutrymme
- 326 Sprinklersystem för reaktortankens lock
- 327 Hjälpmatarvattensystem
- 331 Reningssystem för reaktorvatten
- 332 Reningssystem för kondensat, pulver

- 341 System för radioaktiva avloppsgaser
- 342 System för behandling av vätskeformigt aktivt avfall
- 351 Borinsprutningssystem
- 352 Dränagesystem för reaktordelen
- 353 Läckageövervakningssystem
- 354 Hydrauliskt system för drivdon

4 TURBINGENERATORANLÄGGNING

- 431 Högtrycksturbin
- 433 Lågtrycksturbin

- 452 Mellanöverhettare och fuktavskiljare
- 454 Läckage- och hjälpångsystem
- 461 Kondensor-, evakuerings- och rekombinatorssystem
- 462 Huvudkondensatsystem
- 463 Matarvattensystem
- 471 Generatorkylsystem (yttre kretsar)
- 472 Kondensor- och hjälpkylvattensystem
- 482 Dränerings-, tömnings- och torkningssystem

7 SERVICESYSTEM

- 711 Rensverk för havsvatten
- 712 Havsvattenkylsystem för start och avställning
- 713 Havsvattenkylsystem för driftbehov
- 714 Havsvattenkylsystem för dieslar
- 721 Sekundärkylsystem för start och avställning
- 723 Sekundärkylsystem för driftbehov
- 731 System för råvattenbehandling
- 732 Totalavsaltning
- 733 System för lagring och distribution av totalavsaltat vatten
- 734 System för tillsatsvatten för processpumpar
- 741 Gasbehandlingssystem för reaktorinneslutningens atmosfär
- 742 Ventilationsanläggning för övriga aktiva utrymmen
- 754 Tryckkvävesystem

