



---

# KÄRNKRAFTENS SLUTSTEG

---

## Teknik och kostnader för rivning av svenska kärnkraftverk

Juni 1994

# **Teknik och kostnader för rivning av svenska kärnkraftverk**

Juni 1994

## SAMMANFATTNING

När ett kärnkraftverk tas ur drift är delar av det radioaktiva, och måste rivras och tas om hand om på ett säkert sätt. I denna studie redovisas tillvägagångssätt, kostnader, avfallsmängder och personaldos vid rivning av de svenska kärnkraftverken. Några försök till optimering, tekniskt eller kostnadsmässigt, har inte gjorts.

Studien har inriktats på två referensanläggningar Oskarshamn 3 (O3) och Ringhals 2 (R2). O3 är referensanläggning för kokarvattenreaktor (BWR) och R2 för tryckvattenreaktor (PWR). Därefter har resultaten från dessa översatts till övriga anläggningar.

Rivningen antas starta snarast efter borttransport av använt bränsle, styrstavar, neutrondetektorer och driftavfall. Detta innebär att rivningen kan påbörjas ett till fyra år efter slutavställning. Kraftverksplatsen återställs efter rivning så att den fritt kan användas för annan industriell verksamhet.

Studien visar att man kan riva ett kärnkraftverk på ett ur strålskyddssynpunkt säkert sätt. Huvuddelen av den utrustning, som erfordras vid rivningen, finns redan tillgänglig och används rutinmässigt vid underhåll och ombyggnader på kraftverken. En del specialutrustning förutses dock behövas som måste specialtillverkas eller modifieras. Detta är till exempel utrustning för kapning av reaktortanken och de interna delarna. Även utrustning för viss byggnadsrivning kan komma att behöva specialtillverkas. I studien ges exempel på utrustning och arbetsmetodik som kan användas vid rivningen.

Rivning av ett reaktorblock kan genomföras på ca 5 år, med en genomsnittlig personalinsats på ca 150 man. Maximalt har för Oskarshamn 3, personalstyrkan beräknats uppgå till ca 300 man. Detta inträffar under de första åren då aktiva system rivs på flera fronter i anläggningen. Under de sista åren då byggnaderna rivs behövs ca 50 man.

För att begränsa arbetsinstasen och dosbelastningen till personalen, tas materialet ut i så stora bitar som möjligt. Detta innebär till exempel att rör kapas i längder om ca 2 m, för att sedan packas i ISO-containers. Ett antal större komponenter tas ut och transporteras hela eller med endast måttlig delning. Detta gäller bland annat större värmeväxlare och vissa turbindelar, där sönderdelning skulle orsaka onödig aktivitetsspridning.

Kostnaden för att riva Oskarshamn 3 har beräknats till ca 940 MSEK i penningvärde januari 1994. Rivningskostnaden för Ringhals 2 har beräknats till 640 MSEK. För de övriga svenska kärnkraftverken ligger kostnaderna i intervallet 590-960 MSEK. Detta är de direkta kostnaderna för rivningsarbetet.

Ytterligare kostnader tillkommer för avställningsperioden från det att reaktorblocket tas ur drift till dess att rivning påbörjas. Verksamheten under denna period domineras av borttransport av bränslet och den systemdekontaminering som bedöms behövas för att underlätta rivningsarbetet. Under avställningsdriften sker även den slutliga rivningsplaneringen. Kostnaderna för avställningsdriften är strakt beroende av i vilken takt blocken ställs av och hur snabbt bränslet kan transporteras bort.

Kostnader för att transportera bort och slutförvara rivningsavfallet har beräknats till totalt ca 980 MSEK. Den totala förvarsvolymen i SFR 3 har beräknats till ca 140 000 m<sup>3</sup>. På anläggningarna finns det betydande mängder material och utrustning som kan användas i samband med att anläggningarna läggs ned och rivs. I denna studie har man inte tagit hänsyn till några restvärden.

I nedanstående tabell ges en sammanställning av kostnaderna vid direkt rivning av de svenska kärnkraftverken.

Tabell S.1 Sammanställning av kostnader för rivning mm av de svenska kärnkraftverken.

	Barsebäck 1-2	Forsmark 1-3	Oskarshamn 1-3	Ringhals 1-4
Avställningsdrift	340	750	750	1 170
Rivning	1 290	2 690	2 180	2 640
Transport och slutförvar av avfall	130	330	230	280
<b>Totalt</b>	<b>1 760</b>	<b>3 770</b>	<b>3 160</b>	<b>4 090</b>

## INNEHÅLLSFÖRTECKNING

## SAMMANFATTNING

<b>1</b>	<b>BAKGRUND</b> .....	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>PROGRAM OCH STRATEGI FÖR RIVNINGSOMRÅDET</b> .....	<b>3</b>
2.1	ALLMÄNT .....	3
2.2	PLANERING INFÖR NEDLÄGGNINGENS OLIKA SKEDEN .....	4
2.3	RIVNINGENS GENOMFÖRANDE .....	8
<b>3</b>	<b>ÖVERGRIPANDE FÖRUTSÄTTNINGAR</b> .....	<b>10</b>
3.1	ALLMÄNT .....	10
3.2	TEKNIK .....	10
3.3	AKTIVITET OCH AVFALL .....	10
3.4	KOSTNADER .....	11
3.5	PLATSEN EFTER RIVNING .....	12
<b>4</b>	<b>AKTIVITETSINNEHÅLL</b> .....	<b>13</b>
4.1	ALLMÄNT .....	13
4.2	MATERIAL MED INDUCERAD AKTIVITET .....	13
4.3	MATERIAL MED YTKONTAMINATION .....	16
<b>5</b>	<b>TEKNISK BESKRIVNING AV RIVNINGEN</b> .....	<b>20</b>
5.1	ALLMÄNT .....	20
5.2	VERKSAMHET VID AVSTÄLLNINGSDRIFT .....	21
5.2.1	Allmänt .....	21
5.2.2	Bränslehantering .....	21
5.2.3	Systemdekontaminering .....	22
5.2.4	Anskaffning av specialutrustning .....	23
5.3	SYSTEMRIVNING .....	23
5.3.1	Allmänt .....	23
5.3.2	Systembehov under rivningen .....	25
5.3.3	Rivningsmetoder .....	26
5.3.4	Kommunikation och materialtransporter .....	27
5.3.5	Rivning av rör och komponenter i aktiva rörsystem .....	28
5.3.6	Demontage och sönderdelning av reaktorns interna delar .....	29
5.3.7	Omhändertagande av reaktortankar .....	32
5.3.7.1	Allmänt	
5.3.7.2	Heltanksalternativet	
5.3.7.3	Sönderdelning av reaktortankar	
5.4	BYGGNADSRIVNING OCH ÅTERSTÄLLNING .....	39
5.4.1	Aktiv byggnadsrivning .....	39
5.4.2	Inaktiv byggnadsrivning .....	40
<b>6</b>	<b>AVFALLSHANTERING</b> .....	<b>41</b>
6.1	KLASSNING AV AVFALL .....	41
6.2	AVFALLSMÄNGDER .....	42
6.4	TRANSPORT AV RIVNINGSAVFALL .....	47
6.5	SLUTFÖRVARING AV RIVNINGSAVFALL .....	49

<b>7</b>	<b>METODIK FÖR KOSTNADSBERÄKNING</b> .....	51
7.1	ALLMÄNT .....	51
7.2	AVSTÄLLNINGS- OCH SERVICEDRIFT .....	51
7.3	SYSTEMRIVNING .....	53
7.3.1	BWR .....	53
7.3.2	PWR .....	55
7.3.3	Rivning av reaktortank .....	56
7.4	BYGGNADSRIVNING OCH ÅTERSTÄLLNING .....	56
<b>8</b>	<b>TIDSPLAN OCH PERSONALBEHOV</b> .....	57
8.1	ALLMÄNT .....	57
8.2	AVSTÄLLNINGSDRIFT .....	58
8.3	SERVICEDRIFT .....	58
8.4	SYSTEMRIVNING .....	58
8.5	BYGGNADSRIVNING .....	60
8.6	DOS TILL PERSONAL .....	61
8.7	SAMMANSTÄLLNING .....	61
<b>9</b>	<b>KOSTNADER</b> .....	63
9.1	ALLMÄNT .....	63
9.2	AVSTÄLLNINGSDRIFT .....	63
9.3	SERVICEDRIFT .....	64
9.4	SYSTEMRIVNING .....	64
9.5	BYGGNADSRIVNING .....	65
9.6	SAMMANSTÄLLNING AV RIVNINGSKOSTNADER .....	65
9.7	TRANSPORT OCH SLUTFÖRVARING .....	66
9.8	RESTVÄRDE I REAKTORERNA .....	66
<b>10</b>	<b>SENARELAGD RIVNING</b> .....	67

## 1 BAKGRUND

Kärnkraftföretagen är enligt kärntekniklagen (SFS 1984:3) ansvariga för att vidta de åtgärder som behövs för att på ett säkert sätt avveckla och riva anläggningar där verksamhet inte längre bedrivs. Enligt finansieringslagen (SFS 1992:1537) åligger det även en reaktorinnehavare att upprätta en beräkning av kostnaderna för att avveckla och riva anläggningen.

De svenska kärnkraftföretagen har uppdragit åt Svensk Kärnbränslehantering AB att samordna och bedriva nödvändig verksamhet för att uppfylla dessa åligganden. SKB sammanställer därför årligen en kostnadsberäkning över de åtgärder som behöver vidtas för att ta hand om kärnkraftens restprodukter (ref 2). I kostnaderna ingår att planera, bygga och driva de anläggningar som behövs, bedriva erforderlig forskning och utveckling samt avveckla och riva kärnkraftverken.

Kostnadsberäkningen har tidigare, beträffande rivning av kärnkraftverken, baserats på en studie utförd 1986 av SKB (ref 1). Med hänsyn till ökade erfarenheter har denna studie nu uppdaterats.

Det svenska kärnkraftsprogrammet omfattar tolv reaktorer, nio BWR av ABB Atoms konstruktion och tre PWR av Westinghouses konstruktion. Det första aggregatet, Oskarshamn 1, togs i drift 1972 och de två sista, Oskarshamn 3 och Forsmark 3, 1985.

Denna studie baseras på att samtliga reaktorer drivs t o m år 2010. Den direkta kostnaden för att riva ett kraftverksblock påverkas marginellt av detta antagande. Däremot är det av betydelse för kostnaderna om samtliga reaktorer ställs av samtidigt eller om de ställs av successivt. En samtidig avställning ger en längre övervakningsperiod innan rivning kan påbörjas och därmed en högre kostnad. Den längre övervakningsperioden beror på att borttransporten av sluthärden i detta fall tar längre tid. Mottagningskapaciteten i CLAB är dimensionerande. Beräkningar har gjorts för båda alternativen.

Kostnaderna omfattar rivning av samtliga svenska kärnkraftverk. Beräkningar har utförts i detalj för Oskarshamn 3 och Ringhals 2. Oskarshamn 3 har valts bl a för att man för denna reaktor har tillgång till utförligt underlag i form av databaser. Denna reaktor är representativ för en modern BWR. Ringhals 2 är representativ för svenska PWR.

Rivningskostnader för övriga reaktorer har översatts utifrån referensanläggningarna genom proportionering mot ingående materialmängder samt uppskattningar utifrån konstruktionsskillnader.

Studien har genomförts i nära samarbete med personal på kärnkraftverken.

Arbetet har delats upp enligt följande:

- Avställnings- och servicedrift för Ringhals 1-4  
Vattenfall Ringhals
- Rivning av system i Ringhals 2  
Vattenfall Ringhals
- Avfallshantering vid rivning av Ringhals 2  
Vattenfall Ringhals
- Rivning av system i Oskarshamn 3  
ABB Atom
- Bygggrivning  
Rivteknik AB
- Sönderdelning av reaktortank och interna delar i Forsmark 1  
Siemens
- Studie för demontage och utlyft av hel reaktortank i Ringhals 1 och 3  
Vattenfall Energisystem AB
- Utredning om smältning av kontaminerat skrot  
Menon Consulting AB och Stensand AB

Delområdena har redovisats i ett antal arbetsrapporter (ref 4-11).

Arbetet har letts av en styrgrupp bestående av:

Mats Clementz	Barsebäck Kraft AB
Hans Forsström	SKB
Milan Korostenski	Forsmarks Kraftgrupp AB
Bengt Löwendahl	OKG AB
Shankar Menon	Menon Consulting AB
Stig Pettersson	SKB
Gunnar Wickström	Vattenfall, Ringhalsverket

Sammanställning av rapport och beräkningar:

Maria Wikström	SKB
----------------	-----



## 2 PROGRAM OCH STRATEGI FÖR RIVNINGSSOMRÅDET

### 2.1 ALLMÄNT

Planeringen för rivningsstudien för de svenska kärnkraftverken baseras på drift av samtliga reaktorer t o m år 2010. I Sverige har SKB på uppdrag av kärnkraftindustrin ansvar för rivningsstudien.

Denna rapport, liksom tidigare utredningar, grundar sig på att arbetet med att riva kärnkraftverken påbörjas snarast möjligt efter elproduktionsstoppet. Bedömningen grundar sig bland annat på möjligheten att då kunna utnyttja kompetent och anläggningskunnig personal och därmed visa att anläggningarna kan rivas och återställas på ett säkert och till alla delar acceptabelt sätt. Någon optimering vad gäller tidpunkt för rivning har ännu inte gjorts.

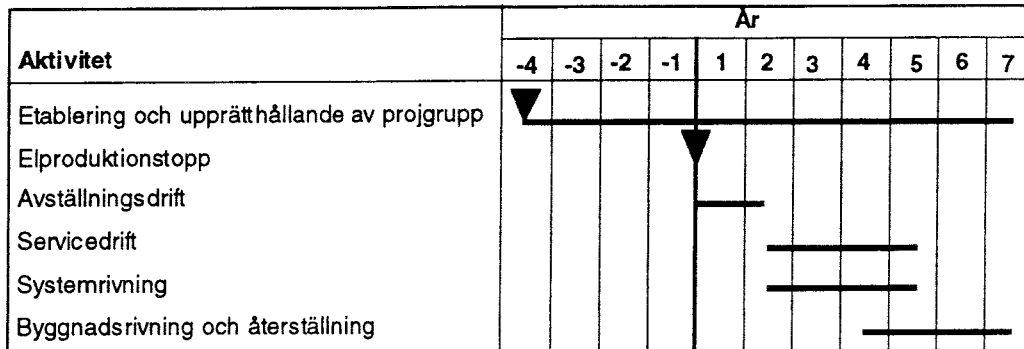
Alternativet att skjuta upp rivningen har valts av andra länder t ex, Storbritannien. Härigenom utnyttjar man den radiologiska avklingningen av aktiverade och kontaminerade ämnen och kan utföra rivningsarbetet i en mindre dosintensiv miljö och avfallshanteringen förenklas.

Planering och genomförande av rivning av de svenska kärnkraftverken planeras ske enligt nedan beskrivna steg och principer. Härefter räknas inte det förarbete i form av FoU-verksamhet och andra arbeten som redan gjorts och bedrivs av SKB inom rivningsområdet.

- Upprättande av en specifik projektgrupp med uppgift att förbereda och planera rivningen. Detta sker ca 3 - 4 år före produktionsdriften av kärnkraftenheten upphör. Projektorganisationen existerar och verkar sedan tills hela rivningsarbetet är avslutat och återställning av kraftverksområdet genomförts. Tiden från elproduktionsstoppet fram till färdig återställning beräknas till ca 7 år för det första blocket på en plats.
- Avställningsdriften startar vid elproduktionsstopp och varar tills rivningen av blocket påbörjas. Under denna tid sker bl a borttransport av allt klyvbart material (bränsle) från anläggningen och förberedelser inför rivningen, t ex dekontaminering. Under denna period reduceras personalen successivt.

- Servicedrift startar då rivningsarbetet påbörjas och upprätthålls av en reducerad driftorganisation.
- Rivning av system och byggnader samt återställning.

Figur 2.1 visar huvudskedena för rivning av ett reaktorblock om arbetet påbörjas tidigast möjligt efter elproduktionsstoppet.



Figur 2.1 Huvudskedena vid rivning av ett reaktorblock

Beroende bland annat på tillgången på resurser för att genomföra rivningen är en successiv rivning av de svenska kärnkraftverken mest fördelaktig. SKB's bedömning är att hela rivningsverksamheten i Sverige kommer att pågå under en femtonårsperiod.

## 2.2

### PLANERING INFÖR NEDLÄGGNINGENS OLIKA SKEDEN

Då det gäller metoder och teknik sker uppföljningen av den internationella utvecklingen på området först och främst genom ett aktivt engagemang i OECD/NEA's Technical Advisory Group inom rivningsområdet. SKB är också representerat i UNIPEDA's kommitté för avfallshantering och rivning.

Olika alternativ för rivning av reaktortank har studerats. Hantering och deponering av hel reaktortank har redovisats i en studie 1992 (Ref 10) och en studie gällande sönderdelningsalternativet har genomförts under 1993 (Ref 12). Denna studie behandlar även teknik för sönderdelning av interndelar.

Övriga erforderliga teknik- och metodstudier beräknas genomföras ca fem år före avställning.

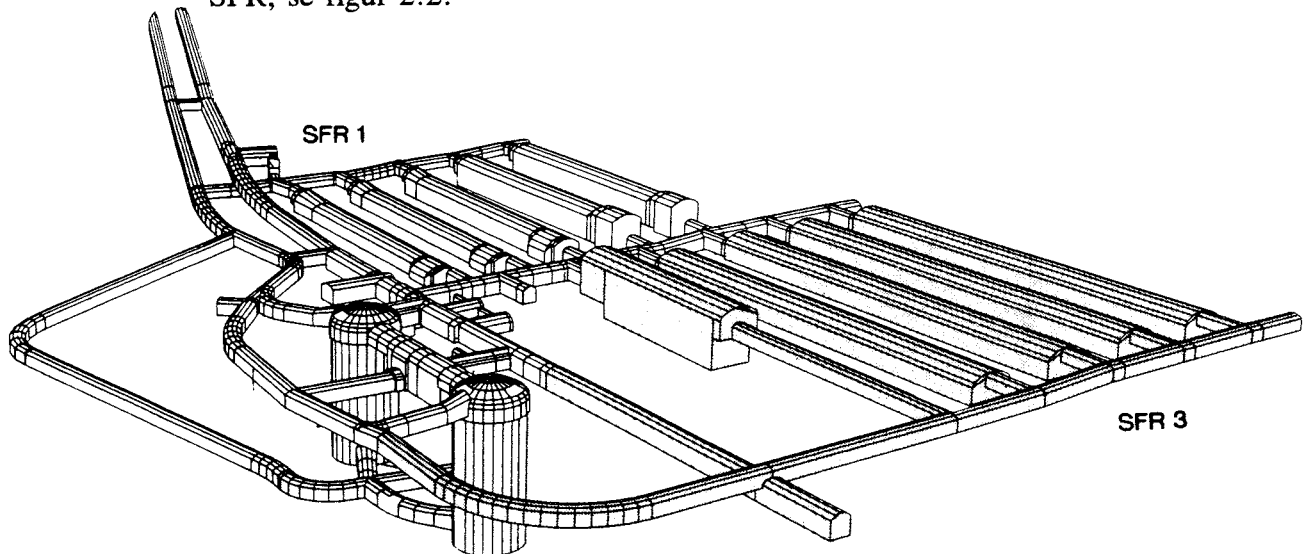
Platsspecifika rivningsstudier kommer att startas av kraftbolagen och beräknas pågå under en femårsperiod. Dessa studier skall sedan ligga till grund för framtagning av rivningslogik för de olika anläggningarna. En färdig rivningslogik kommer att föreligga 2 -3 år innan rivningsarbetet

påbörjas. Denna skall då även omfatta samplaneringen av de olika svenska rivningsprojekten.

En översyn av SKB's transportsystem, som i dag är utformat för driftavfall, måste göras för anpassning till rivningsavfallet. Rivningsavfallet skiljer sig delvis till sin karaktär men främst på grund av sin stora mängd från driftavfallet. Arbetet med översyn av transportsystemet beräknas pågå under en femårsperiod och vara redovisat ca 2 - 3 år före den slutliga avställningen. Redovisningen kommer att innehålla ett förslag till kompletterande utrustning, t ex platsspecifik utrustning, utrustning för sjötransporter, utrustning i slutförvaret och transportbehållare.

Inventering av behovet av specialutrustning för rivningsarbetet beräknas påbörjas ca 5 år före slutlig avställning och pågå med olika intensitet fram tills dess rivningsarbetet påbörjas. Målsättningen är att rivningen skall utföras med känd och beprövad teknik. Dock måste viss utrustning skraddarsys för sina speciella applikationer och anpassas till stationsspecifika förutsättningar.

För slutförvaring av rivningsavfallet planeras utbyggnad av det befintliga SFR, se figur 2.2.



Figur 2.2 Slutförvar för radioaktivt avfall, SFR. Driftavfall SFR 1 och rivningsavfall SFR 3

Vid drift av samtliga reaktorer tom år 2010 påbörjas projektering av SFR 3 runt år 2005. Anläggningen beräknas kunna börja ta emot rivningsavfall år 2012. Deponeringen av rivningsavfallet i SFR3 kommer att pågå under hela rivningsarbetet fram till år 2025 då förslutning kommer att ske.

Hårdkomponenter som aktiverats genom neutronbestrålning och är i behov av kraftig strålskärning kommer att mellanlagras i CLAB för att senare inkapslas och deponeras i djupförvaret.

I rivningsplaneringen förutsättes som nämnts att rivningen av det första kärnkraftblocket påbörjas ca ett år efter elproduktionsstoppet då bränsle och styrcavlar hunnit transporteras bort från anläggningen.

Avgörande för när rivningen av de övriga blocken kan påbörjas blir transport- och mottagningskapaciteten för CLAB samt tillgång till resurser för rivningsarbetet.

CLAB kan genom anpassning av driftskiftet ta emot maximalt 600 ton bränsle per år. Parallellt med bränsletransporterna kommer även transport av interndelar och hårdkomponenter att ske från andra anläggningar där rivning redan påbörjats.

Om specialresurser för borttransport och omhändertagande av använt bränsle och interndelar är begränsade kan det visa sig rationellt att ta sig an och tömma en förlägningsplats i taget. På samma sätt kan detta komma att gälla utnyttjandet av nödvändiga specialresurser i form av utrustning och personal för demontage och byggnadsrivning. Omhändertagande av reaktortanken antingen den delas i bitar eller tas ut som en hel enhet är exempel på sådan specialinsats där man sannolikt inte kommer att ha varken utrustning eller personalresurser att bedriva parallella verksamheter på samtliga kraftverksblock.

Då det gäller ordningen i vilken de svenska kärnkraftverken kommer att demonteras och rivas är det i dag mycket svårt att göra upp några planer. Det är många faktorer som kan påverka turordningen.

I samband med planeringen av rivningsarbetet skall ett antal rapporter och tillståndsansökningar tas fram. Olika myndigheter skall granska och ge sitt tillstånd till rivningen i enlighet med bland annat Kärntekniklagen och Miljöskyddslagen.

För att erhålla ett rationellt utnyttjande av rivningspersonalen kan det vara lämpligt att starttidpunkterna för rivningen förskjuts. I denna rapport förutsätts att man börjar riva det första reaktorblocket på varje plats tidigast ett år efter elproduktionsstoppet. Rivningen av övriga block på samma plats påbörjas därefter med två års mellanrum. På detta sätt kan resurser successivt flyttas från anläggning till anläggning.

Figur 2.3 visar en möjlig tidsplan för rivning av de svenska kärnkraftverken vid en samtidig avställning. Motsvarande tidsplan för en successiv avställning visas i Figur 2.4. I det senare fallet har antagits att alla reaktorer kommer att drivas lika länge. För reaktorer som är placerade nära varandra och även kan ha vissa gemensamma system har antagits att rivningen inte påbörjas i det första blocket förrän bränslet transporterats bort från "tvillingblocket". Detta gäller exempelvis för Oskarshamn 1 och 2.



## 2.3 RIVNINGENS GENOMFÖRANDE

En av kraftverksägaren tillsatt projektgrupp svarar för sammanhållningen av rivningen. Projektgruppen genomför den detaljerade planeringen, utarbetar erforderligt tekniskt underlag och säkerhetsrapporter, samt har kontakter med myndigheter etc. Projektgruppen bildas ca 3 - 4 år före start av rivningsarbetet och gruppens storlek varierar under de olika faserna. Projektgruppen tillhör organisatoriskt koncessionsinnehavaren och är ansvarig för redovisning och tillståndsfrågor gentemot myndigheter. Hur detta organiseras i detalj kan skilja mellan de olika företagen.

Vid detaljplanering av rivningen är det viktigt att tillräckliga utrymmen skapas inne i anläggningen för mellanlagring av material, uppställning av transportbehållare etc. Rivningen bör uppdelas i ett antal delprojekt så att arbetet kan bedrivas på flera fronter och den totala rivningstiden därigenom kan minskas.

Efter systemdekontaminering görs en noggrann radiologisk kartläggning av anläggningens olika systemdelar. Efter detta kan rivningsarbetet påbörjas. Syftet med kartläggningen är dels att ge ett planeringsunderlag för strålskyddsinsatserna under rivningsarbetet, dels att minska behovet av nuklidspecifika mätningar på enskilda avfallskollin och transportbehållarna före uttransport. Varje transportbehållare måste dock kontrolleras gällande dosrat och förekomst av eventuell ytkontamination före uttransport. Vid rivningsarbetet sorteras det aktiva materialet med hänsyn till hur det skall hanteras i fortsättningen.

Den kritiska linjen för rivningsarbetet går via arbetet med reaktortanken med interna delar, biologiska skärmen, kontaminerad betong och friklassning av utrymmen.

Rivningsplanen för ett PWR-block överensstämmer i stort med ett BWR-block. Omfattningen av de radioaktiva systemen är dock mindre eftersom turbinanläggningen är helt inaktiv för ett PWR-block. Bestämmande för tidsplanen för rivningens genomförande är även för PWR demontage av interna delar samt själva reaktortanken. Den totala tiden för rivning av PWR-block bedöms vara ungefär lika med den för BWR.

I samband med planerings- och rivningsarbetet kan följande rapporter behöva tas fram för att utgöra underlag för planeringen och olika tillståndansökningar:

- Avställningsrapport eller statusrapport är ett första dokument som tas fram av den etablerade projektgruppen för att beskriva förutsättningar för i första hand avställnings- och servicedriften. Rapporten skall bifogas ansökan om avställnings- och servicedrift.

- Miljörapport som skall beskriva förutsättningar och probleminventering enligt Miljöskyddslagen och Arbetarskyddslagen. Även miljörapporten bifogas ansökan om avställnings- och servicedrift.
- Säkerhetsrapport enligt Kärntekniklagen som behandlar hur befintliga säkerhetsfunktioner, i anslutning till hantering av klyvbart och radioaktivt material, kan förenklas efter hand.
- Rivningsrapporten är en tekniskrapport som beskriver metoder och utrustning och hur de olika momenten måste planeras för att säkerställa en säker och effektiv rivning och återställning av kraftverksområdet. I tekniskrapporten bör ingå klassificering av avfallstyper, aktivitetsmätmetoder samt beskrivning av friklassningskriterier. Rivningsrapporten skall utgöra underlag för ansökan om rivningstillstånd.

I ansökan om tillstånd för avställnings- och servicedrift skall även beaktas frågor som till exempel minskning av personalstyrkan vid kärnkraftblocket.

### 3 ÖVERGRIPANDE FÖRUTSÄTTNINGAR

#### 3.1 ALLMÄNT

Målsättningen med studien har varit att göra en uppskattning av avfallsmängder, personaldos samt kostnader vid avveckling och rivning av de svenska kärnkraftverken. Några försök till optimering, tekniskt eller kostnadsmässigt, har inte gjorts. Kostnaderna behövs för att bedöma avgiftsbehoven.

Studien har inriktats på två referensanläggningar, Oskarshamn 3 och Ringhals 2. Därefter har resultaten från dessa översatts till övriga anläggningar.

Rivningen antas starta snarast efter borttransport av använt bränsle, styrstavar, neutrondetektorer och driftavfall. Detta innebär att rivningen kan påbörjas ett till fyra år efter slutavställning.

Kraftverksplatsen återställs så att den fritt kan användas för annan verksamhet.

#### 3.2 TEKNIK

I studien förutsättes att rivningen utförs med idag känd teknik. Val av arbetsmetod sker med hänsyn till personskydd och skydd mot utsläpp till omgivningen, som normalt vid ombyggnadarbeten på kärnkraftverk. Vid rivningen förutsättes att ingen annan verksamhet som stör rivningsarbetet pågår.

#### 3.3 AKTIVITET OCH AVFALL

Händelser som medför större aktivitetsspridning har ej inträffat under driftperioden. Aktivitetsspridningen inom kontrollerat område har således begränsats till normala läckage. En uppskattning av aktivitetsinventariet görs utifrån tidigare studier, mätningar och beräkningar. Denna aktivitetssuppskattning baseras på ett antagande om 40 års drifttid. För spridning av aktivitet till betong antas följande gälla:



- 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<sup>3</sup> betong förorenats.
- I pumpgropar antas betongen förorenats till ett djup av 10 cm och att sprickbildning medfört att ytterligare ca 1 m<sup>3</sup> betong förorenats.
- Spill i rum med begränsad mängd aktiv processutrustning har medfört att 1 % av golvytan försmutsats. I rum med större läckagerisk antas 10 % av golvytan vara försmutsad.

Dessa antaganden är grova och medför en överskattning av mängden radioaktivt material.

En dekontaminering av reaktorsystemen görs innan rivningen påbörjas. Dekontamineringsmedel, som är lämpliga med hänsyn till såväl effektivitet som avfallshantering, förutsätts användas. Erfarenheter från t ex systemdekontaminering i Oskarshamn 1 under 1994 utnyttjas.

Dekontaminering av turbiner och turbinsystem med enklare dekontamineringsmetoder, t ex högtryckssprutning beaktas.

Skrotdekontaminering efter nedmontering tillämpas där det bedöms ekonomiskt intressant. Därvid används t ex elektrokemiska metoder.

Det aktiva avfallet från rivningen indelas i tre kategorier:

- Avfall som kan frisläppas
- Avfall som kan deponeras på platsen
- Avfall som måste föras till slutförvar

Material betraktas som rent om det uppfyller myndigheternas krav på friklassning. I dag friklassas smält kontaminerat material satsvis från fall till fall. Hittills har den högsta tillåtna aktivitetskoncentration för friklassning varit 0,8 Bq/g. I studien har även konsekvenserna av en höjning av friklassningsgränsen undersökts.

Icke aktivt rivningsavfall behandlas på konventionellt sätt. Möjligheten att använda dem som fyllmassor vid återställningen av kraftverksplatsen beaktas.

### 3.4

#### KOSTNADER

Kostnaderna beräknas i penningvärde januari 1994.

Kostnader för rivning omfattar:

- Avställningsdrift
- Servicedrift
- Systemrivning
- Byggrivning och återställning

Avställningsdrift innebär drift av anläggningen från slutavställning till rivning av system påbörjas. Servicedrift innebär drift och underhåll av anläggningen under rivning av processutrustning och aktiv byggnadsdelar tills anläggningen kan friklassas. Personalen under avställnings- och servicedriften kommer från den ordinarie driftorganisationen som har erforderlig kunskap om anläggningen och dess system. Kostnaderna innefattar drift av erforderliga system, underhåll av anläggningen, strålskyddsverksamhet samt ledning av rivningsverksamheten.

### 3.5 PLATSEN EFTER RIVNING

Efter byggnadsrivning kommer platsen för kärnkraftverket att återställas. Platsen skall efter återställningen fritt kunna återanvändas som industriområde.

## 4 AKTIVITETSINNEHÅLL

### 4.1 ALLMÄNT

Kunskap om anläggningens innehåll och fördelning av radioaktivitet är en nödvändighet för många aspekter av rivning av kärnkraftverk. Det behövs för planering av rivning av system och komponenter, för avfallshantering under och efter rivningsarbete samt som underlag för friklassning av förlägningsplatsen efter anläggningsrivning.

Efter att det använda bränslet har transporterats bort kan det aktiva materialet indelas enligt följande:

- material med inducerad aktivitet som blivit aktiverat genom neutronbestrålning från reaktorhärden
- material som är kontaminerat med radioaktiva korrosionsprodukter och fissionsprodukter som med reaktorvatten, ånga och bränsle transporterats ut i system och bassänger.

Figur 4.1 visar huvudsystemen i Oskarshamn 3 med markeringar för olika aktivitetsnivåer ett år efter avställning.

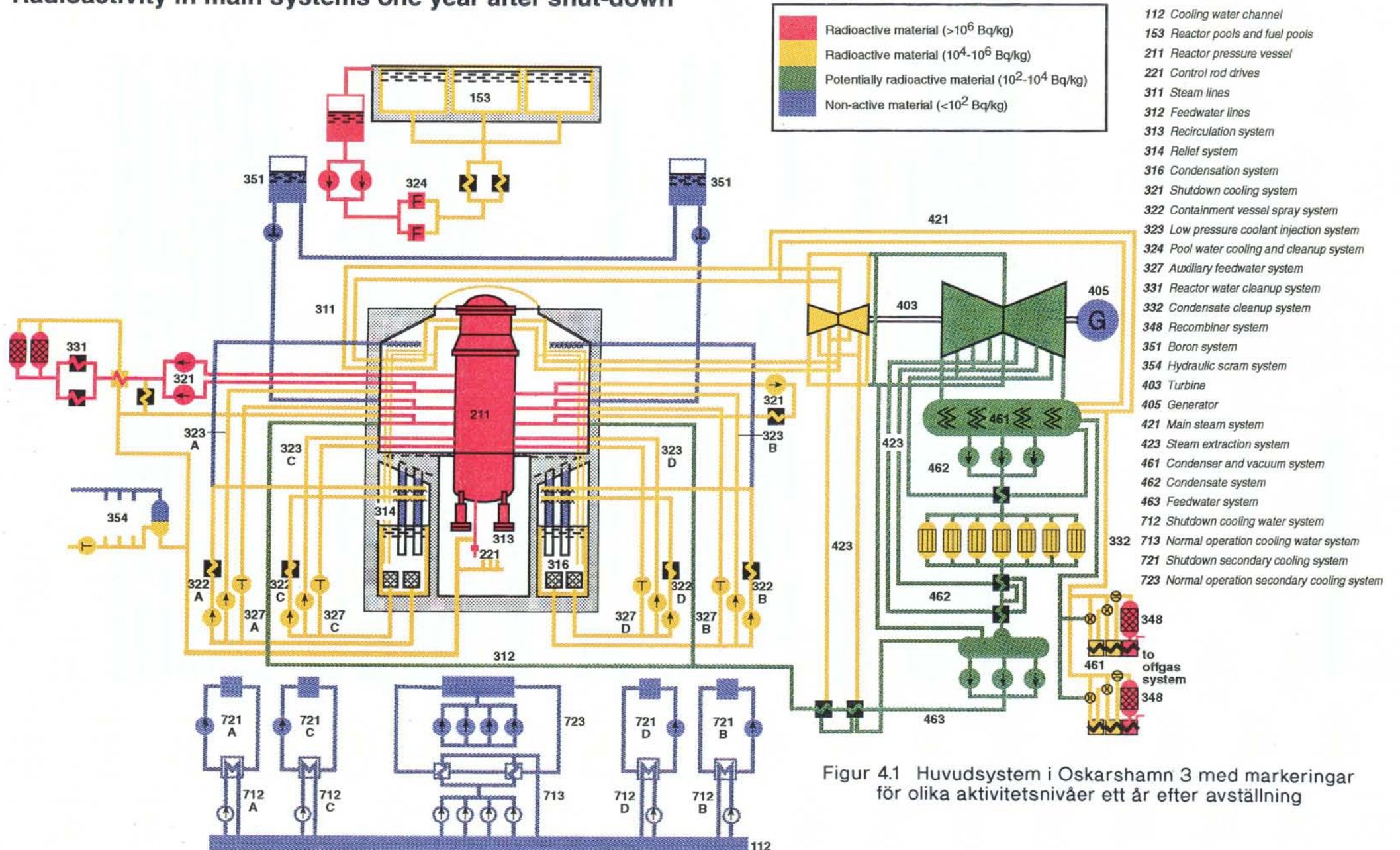
### 4.2 MATERIAL MED INDUCERAD AKTIVITET

Det finns flera program för att beräkna den inducerade aktiviteten i reaktormaterial. Viktiga indata till dessa beräkningar är förekommande neutronflöden samt energispektra. Ett annat viktigt element är material-sammansättning i de ingående konstruktionsdelarna. När det gäller härden och dess omedelbara omgivning har många av de befintliga programmen validerats genom reaktorfyikaliska beräkningar och mätningar.

I områden längre bort från härden är det svårare att exakt beräkna den inducerade aktiviteten då det är svårare att fastställa neutronflödestätheten där. Således, för att kontrollera beräkningsprogram och inducerad aktivitet i betong i biologiska skärmen, exponerades folier av diverse material samt även cementprov i en vertikal kanal i Oskarshamn 1:s biologiska skärm under 1987-88 (ref 21). Neutronflödestätheten i kanalen beräknades med ANISN-program och den inducerade aktiviteten

# Oskarshamn 3

## Radioactivity in main systems one year after shut-down



Figur 4.1 Huvudsystem i Oskarshamn 3 med markeringar för olika aktivitetsnivåer ett år efter avställning

i folier och cement uppskattades baserade på det beräknade flödet. Sedan jämfördes de beräknade aktivitetskoncentrationerna med de uppmätta i provmaterial genom ABB Atom:s sk MADAC utrustning. Resultaten visade en någorlunda bra överensstämmelse mellan de uppmätta och beräknade värdena (ref 25). Projektrapporten rekommenderar vissa förbättringar i beräkningsmodellen.

Inducerad radioaktivitet finns i reaktortanken och dess interna delar. Neutronflödet och därmed aktiveringen avtar mycket snabbt utanför själva reaktorhärden. Redan på några meters avstånd dominerar crudaktiviteten. En beräkning av den inducerade aktiviteten har gjorts för reaktortanken och interna delar för Oskarshamn 3 reaktorn. Aktivitetsinnehåll framgår av tabell 4.1. Den inducerade aktiviteten domineras ur dossynpunkt av  $^{60}\text{Co}$ . I de mest aktiva delarna, t ex. härdgalleret och moderatortanken, kan den beräknade specifika aktiviteten (som framgår av tabell 4.1) vara 1-4 G Bq/g, vilket motsvarar ytdoserater på betydligt mer än 100 Sv/h.

I den biologiska skärmen är  $^{60}\text{Co}$ -aktiviteten signifikant lägre, ca 70 kBq/g, vilket medför att dosraten på insidan av skärmen är betydligt mindre än vid moderatortanken. Förutom  $^{60}\text{Co}$  förekommer även  $^{152}\text{Eu}$  och  $^3\text{H}$ . En meter in i biologiska skärmen är den inducerade aktiviteten försumbar.

Tabell 4.1 Aktivitetsinnehåll (inducerad och crud) i reaktortank och interna delar vid Oskarshamn 3 reaktor 40 års drift, ett års avklingning

Komponent	Vikt ton	Aktivitets- koncentration Bq/g	Total aktivitet Bq
Styrstavsledrör	32	$1,0 \cdot 10^6$	$3,3 \cdot 10^{13}$
Moderatortank	32	$1,3 \cdot 10^9$	$4,2 \cdot 10^{16}$
Moderatortanklock	56	$4,1 \cdot 10^6$	$2,3 \cdot 10^{14}$
Härdgaller	6	$4,1 \cdot 10^9$	$2,5 \cdot 10^{16}$
Härdstril m stativ	9	$5,6 \cdot 10^7$	$4,8 \cdot 10^{14}$
Ångseparator	34	$1,3 \cdot 10^5$	$4,5 \cdot 10^{12}$
Fuktavskiljare	48	$1,3 \cdot 10^4$	$6,0 \cdot 10^{11}$
Instrumentrör	6	$1,6 \cdot 10^5$	$1,0 \cdot 10^{12}$
Matarvattenfördelare	2	$5,0 \cdot 10^4$	$1,0 \cdot 10^{11}$
Härdstrilens anslutn,rör	1	$1,3 \cdot 10^4$	$1,3 \cdot 10^{10}$
HC pumphjul	6	$1,7 \cdot 10^2$	$1,0 \cdot 10^9$
Summa interna delar	232		$6,8 \cdot 10^{16}$
Reaktortank			$2,0 \cdot 10^{13}$

En motsvarande beräkning har gjorts på en referensanläggning för en PWR reaktor i en utredning för US NRC (Ref 22), Det totala aktivitetssinnehållet i reaktortank och interna delar enligt utredningen är  $1.8 \cdot 10^{17}$  Bq.

#### 4.3 MATERIAL MED YTKONTAMINATION

Alla systemytor som berörs av reaktorvatten blir i viss utsträckning kontaminerade med radioaktiva ämnen. Den normala erfarenheten från BWR är att kontaminationsnivån bestäms av mängd aktiverade korrosionsprodukter. Gammastrålning från nuklider såsom  $^{60}\text{Co}$ ,  $^{58}\text{Co}$ ,  $^{65}\text{Zn}$  och  $^{54}\text{Mn}$  har funnits vara huvudkällor för strålningsfältet kring systemutrustning under det korta perspektivet (< 30 års avklingning).

Kontaminationsnivån har stor betydelse ur strålskyddssynpunkt. Således är kunskap om aktivitets- och dosraternivåer nödvändig för att avgöra behov av dekontaminering och lämplig rivningsmetod.

För att kvantifiera och prognosticera aktivitets- och dosnivåer i olika system vid olika tidpunkter fram till slutet av reaktorns livstid har ABB Atom:

- utvecklat beräkningsprogrammet BKM-CRUD som gör prognos på mängd aktiverade korrosionsprodukter på olika systemytor
- följt upp aktivitetsupbyggnaden på systemytor genom ett omfattande mätprogram på alla av ABB Atom levererade BWR i Sverige och Finland.

Beräkningar med program BKM-CRUD (ref 23) har gjorts med förutsättning drift fram till år 2010. Beräkningsmodellen är baserad på ett antal transportprocesser för nuklider mellan reaktorvattnet och olika delar av primärsystemet. Hänsyn tas till aktivering, avklingning och utbränning.

Dessa beräkningar har kompletterats genom omfattande mätningar över många år av aktivitets- och dosnivåer vid olika system på av ABB Atom levererade BWR genom MADAC-mätningar (MADAC = Mobile Analyser for Detection of Activity in Crud). Mätningarna har använts för att finjustera och verifiera BKM-CRUD beräkningarna. En jämförelse mellan beräknings- och mätresultat av dosrater på system 321 rör vid Oskarshamn 2 BWR framgår av Fig. 4.2 (Ref 23).

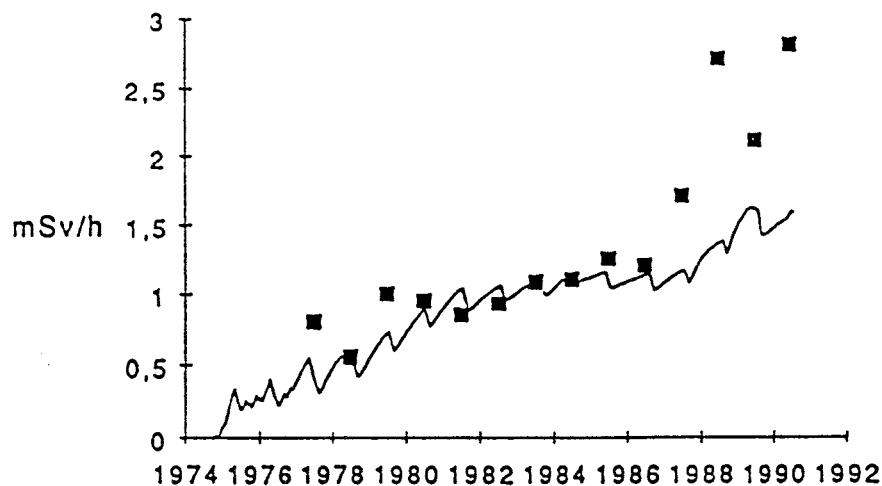


Fig. 4.2 Jämförelse mellan beräknade (—) och uppmätta (■) dosratsnivåer på system 321 (Kylsystem för avställd reaktor) Oskarshamn 2

Ovannämnda uppskattningar och mätningar har kompletterats med beräkningar om läckage av fissionsprodukter från bränsleskador, där hänsyn tagits till två scenarior:

- ett scenario med en läckande bränslepinne
- ett scenario med antagande om att mera allvarliga bränsleskador förekommer var 10:e år.

Bränsleskador ingår inte i nuvarande BKM-CRUD modellen vilket förklarar de höga uppmätta värdena (jämfört med de beräknade) efter bränsleläckage under 1987-88.

Aktivitetens innehåll i de olika systemen har framtagits för Oskarshamn 3. I Tabell 4.2 redovisas de ur rivningssynpunkt viktigaste systemen.

Tabell 4.2 Aktivitetsinnehåll i några system vid Oskarshamn 3

System	Dosrat $\mu\text{Sv/h}$	Aktivitets- koncentration $\text{Bq/m}^2 \text{ }^{60}\text{Co}$	Aktivitet $\text{Bq }^{60}\text{Co}$
Huvudångledningar	20	$1,1 \cdot 10^8$	$8,2 \cdot 10^{10}$
Matarvatten	40	$2,5 \cdot 10^8$	$2,4 \cdot 10^{10}$
Reningssystem för bränslebassänger	70	$2,5 \cdot 10^8$	$1,2 \cdot 10^{11}$
Kylsystem för av- ställd reaktor	650	$4,0 \cdot 10^9$	$3,3 \cdot 10^{11}$
Reningssystem för reaktorvatten	410	$2,5 \cdot 10^9$	$7,3 \cdot 10^{10}$

Vad gäller PWR reaktorer har aktivitetsinventarierna uppskattats för Ringhals 2. Dessa är baserade på gammaspektrometriska mätningar på ånggeneratorer, manluckor ("manway insert") och cirkulationsledningar samt även radiokemiska analyser under avställning och på korrosionsprodukter från bränslekapsling (Ref 24). Uppskattningar vid avställningen 1993 gav data som redovisas i Tabell 4.3.

Tabell 4.3 Gammaaktivitet i olika systemdelar (1993) Ringhals 2

Systemdel	Area ( $\text{m}^2$ )	Aktivitet Koncentration $\text{Bq/m}^2$ $^{60}\text{Co}$	Aktivitet $\text{Bq}$ $^{60}\text{Co}$
Tubyta i ånggenerator	15315	$4,7 \cdot 10^8$	$7,2 \cdot 10^{12}$
Rostfri yta	2240	$1,7 \cdot 10^{10}$	$3,1 \cdot 10^{13}$
Summa			$3,8 \cdot 10^{13}$



En uppskattning som gjordes beträffande en referensanläggning, PWR (Ref 22) redovisar resultat som framgår av Tabell 4.4.

Tabell 4.4 PWR. Ytaktivitet i olika system

System	Yta (m <sup>2</sup> )	Aktivitet koncentration Bq/m <sup>2</sup>	Aktivitet Bq
Reaktorkärl + inre detaljer	570	8,5*10 <sup>9</sup>	4,8*10 <sup>12</sup>
Ånggeneratorer	19 000	8,5*10 <sup>9</sup>	1,6*10 <sup>14</sup>
Pressurizer	87	1,5*10 <sup>9</sup>	1,5*10 <sup>11</sup>
Reaktorkylsystem	190	3,2*10 <sup>10</sup>	5,9*10 <sup>12</sup>
Andra rörytor	1 100	2,2*10 <sup>9</sup>	2,2*10 <sup>12</sup>
Summa	20 950		1,8*10 <sup>14</sup>

De lägre värdena på ytaktivitet vid Ringhals 2 kan antas bero på att:

- <sup>60</sup>Co innehållet i cruden halverats vid ånggeneratorbyte 1989
- "hög pH" vattenkemi tillämpats
- det är allmänt lägre ytaktivitet vid Ringhals PWR än vid amerikanska sådana.

## 5 TEKNISK BESKRIVNING AV RIVNINGEN

### 5.1 ALLMÄNT

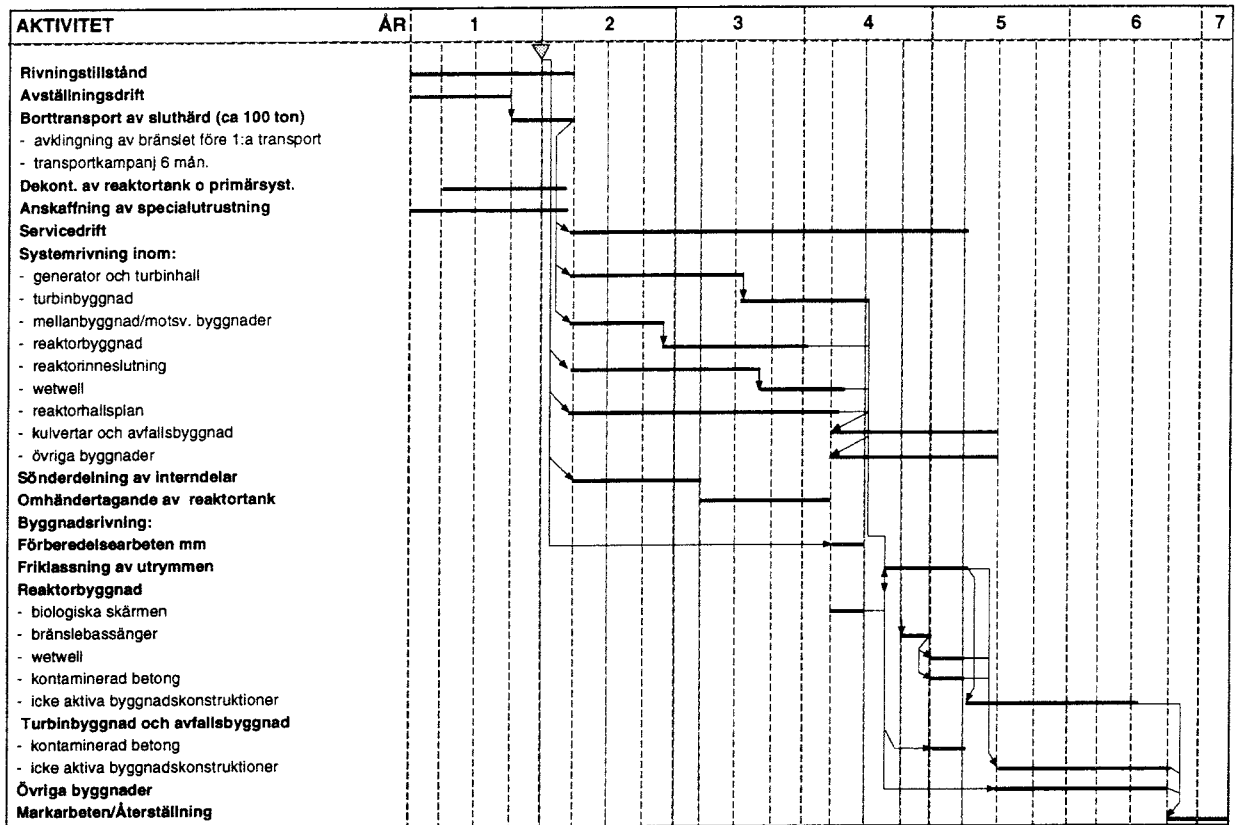
De olika huvudskedena i rivningen av svenska kärnkraftverk har beskrivits övergripande i kapitel 2 och är följande:

- Avställningsdrift
- Systemrivning
- Byggnadsrivning och återställning

Under systemrivningen och rivning av aktiva byggnadsdelar pågår så kallad servicedrift som är den drift som är nödvändig för att upprätthålla verksamheten inom dessa aktiviteter.

Figur 5.1 visar en övergripande logik för de verksamheter som pågår under avställnings- och servicedrift tills dess återställning av markområdet skett. Logiken är gjord för ett BWR-block.

Rivningsprojektgruppen ansvarar för planering och koordinering av verksamheten under dessa faser. Gruppen genomför den detaljerade planeringen av rivningen, utarbetar erforderligt tekniskt underlag och säkerhetsrapporter samt har kontakter med myndigheter etc. Projektgruppen etableras 3 - 4 år före elproduktionsstoppet och gruppens storlek varierar under de olika faserna beroende på behovet. Projektgruppen tillhör organisatoriskt koncessionsinnehavaren och är ansvarig för redovisning och tillståndsfrågor gentemot myndigheter.



Figur 5.1 Övergripande plan för verksamheter under avställnings- och servicedrift. BWR-block

## 5.2 VERKSAMHET VID AVSTÄLLNINGSDRIFT

### 5.2.1 Allmänt

Verksamheten under avställningsdriften domineras av bränsleborttransporterna och den systemdekontaminering som bedöms nödvändig för att underlätta det senare rivningsarbetet. Under avställningsdriften sker även den slutliga rivningsplaneringen.

### 5.2.2 Bränslehantering

Då det gäller bränslehantering och borttransport av bränsle till CLAB för mellanförvaring kommer detta att ske enligt de rutiner och bestämmelser som för närvarande gäller under kärnkraftverkens produktionsdrift. Det förutsättes inte heller någon anskaffning av kompletterande hanterings- eller transportutrustning för den sista bränslesatsen utan planeringen av

denna aktivitet får anpassas till och optimeras mot den transportkapacitet som finns tillgänglig. Samordningen mellan de olika rivningsprojekten är givetvis viktig i detta sammanhang.

De olika kraftverkens avställning har förberetts så att bränslebassängerna endast innehåller bränsle från närmast föregående års bränslebyte. Bränsle från tidigare års bränslebyten är borttransporterat. Det förutsättes även att bränslebassängerna är urstädade då det gäller utbytta interndelar och annat material som lagrats i dessa.

Bränslet i reaktorhärden överföres omgående efter elproduktionsstoppet till bränslebassängerna för avklingning av resteffekten. Bränslet från föregående års bränslebyte har lagrats ett år vilket förenklar hantering och transport till CLAB. Borttransporten av detta bränsle kan påbörjas direkt efter avställning. Borttransporten av bränslet från avställningshårdarna, dvs de bränsleelement som varit monterade i reaktorhärden under sista driftcykeln, kommer att planeras så att de block som skall rivs först får sina bassänger tömda först.

Transportsystemet förutsättes ha sådan kapacitet att även styrtavarna kan transporteras bort under den tid som bränsletransporterna pågår.

Under tiden som bränsle finns kvar i blockets bränslebassänger förutsättes kontinuerlig bemanning av blocket med skiftgående personal.

### 5.2.3 Systemdekontaminering

För att minska den allmänna aktivitetsnivån inom blocket kommer systemdekontaminering att genomföras på aktiva reaktorsystem och reaktortanken.

Dekontaminering kan ske med olika metoder och det är viktigt att metod och dekontamineringskemikalier väljes med hänsyn lämplig avfallsbehandling. Principen för systemdekontaminering är att en dekontamineringsvätska med lämplig sammansättning och temperatur för upplösning av det aktivitetssinnehållande oxidskiktet på systemytorna pumpas runt i systemet och transporterar den upplösta aktiviteten till ett filter eller jonbytare som sedan tas om hand. Efter genomförd systemdekontaminering sker spolning med vatten varefter systemen torkas.

Erfarenheter av systemdekontaminering är i dag god både när det gäller typiska BWR- och typiska PWR-oxider. Metoden används rutinmässigt vid större underhållsarbeten och vid t ex ånggeneratorbyten i PWR-anläggningar. En ständig utveckling av effektivare metoder med mer lätthanterliga slutprodukter pågår dessutom.

Under våren 1994 genomfördes en omfattande systemdekontaminering av reaktortanken i Oskarshamn 1 med mycket gott resultat, 99,88 % av den radioaktiva ytkontamineringen togs bort.

Effektiviteten av en systemdekontaminering mäts i dekontamineringsfaktor, DF, som är kvoten mellan dosraterna på en viss systemyta före och efter dekontaminering. Dekontamineringsfaktorer på mellan 10 och 100 uppnås med en rimlig behandlingstid.

Vid systemdekontaminering där en av de för resultatet påverkande faktorerna är flödes hastigheten på dekontamineringslösningen, kan man förvänta sig lägre dekontamineringsfaktorer i större apparater som tankar och värmeväxlare och högre i till exempel klenare rörsystem och på insidan av värmeväxlartuber. Genom högtrycksspolning efter dekontaminering uppnås bättre resultat.

#### 5.2.4      Anskaffning av specialutrustning

Rivningsarbetet kommer att så långt som möjligt utföras med hjälp av konventionell standardutrustning för kapning, lyft och transporter. En del specialutrustning förutses dock behövas som måste specialtillverkas eller modifieras för sitt ändamål. Detta är till exempel utrustning för kapning av reaktortanken i bitar om detta alternativet skulle väljas och utrustning för kapning av interndelar under vatten där fjärrstyrning behövs. Även utrustning för viss byggnadsrivning kan komma att behöva specialtillverkas som till exempel utrustning för bortbilning av strålningsinducerad aktiv betong i biologiska skärmen.

Det är en given del av rivningsplaneringen att anskaffning av specialutrustning sker så att denna är framme i god tid före användandet och då även har funktionsverifierats genom fullskaleprov i inaktiv miljö.

En stor del av arbetet med att specificera och anskaffa denna utrustning kommer att göras under avställningsdriften.

### 5.3            SYSTEMRIVNING

#### 5.3.1      Allmänt

Systemrivningen omfattar alla processystem i anläggningens huvudkomplex inklusive interna delar och reaktortank. Nedanstående ingår ej i systemrivningen utan lämnas till byggrivningen:

- Ingjutningsgods. Bassängplåt i bränsle-, förvarings- och kondensationsbassänger ingår dock i systemrivningen. Plåtarna skärs bort men ingjutningsgodset lämnas
- Spännkablar
- Traverser på okontrollerat område

- Transformatorer utomhus
- Belysning, kraftuttag, brandlarm och kommunikationssystem. Tillhörande kablar rivs dock i systemrivningen tillsammans med övriga kablar om de ligger på kabelstegen.

Rivningen av processystemen pågår parallellt på flera ställen i anläggningen. Enligt den logiska rivningsföljden avlägsnas utrustningen i reaktorinneslutning och reaktorbyggnad i en bestämd ordning. Samtidigt pågår rivningen i de delar av reaktorbyggnaden och i de byggnader som inte har någon koppling till reaktorinneslutningen. Avfallsanläggningen tar hand om allt spolvatten och dränage, så länge det finns radioaktiva delar kvar, och rivs sist.

Rivningsarbetet börjar med att rummen förbereds för rivning. Det utförs av en grupp, som arbetar med den arbetsprocedur som benämns "Iordningsställande av arbetsplats". Den omfattar uppförande av arbetsställningar och uppmärkning av aktivitetsnivåer. Under rivningens gång återkommer gruppen flera gånger till rummet för att arrangera om arbetsställningar. I ett senare skede ersätts ordinarie kraft och ventilation med provisoriska åtgärder. Slutligen ingår återställning av arbetsplatsen och avrapportering i gruppens arbete.

Ventilationen och hjälpkraften bibehålls i rummen så länge det är praktiskt möjligt. Processystemen kan alltså i allmänhet rivas med hjälp av ordinarie kraft och belysning.

Själva rivningen börjar med isoleringsmaterialet. Eftersom man antar att en mindre del av isoleringen innehåller radioaktivitet på grund av läckage ska materialet avsökas och den kontaminerade isoleringen särbehandlas. Aktivt material stoppas i platsäckar. Övrigt material paketeras på enklaste sätt. Sedan isoleringen borttagits görs en ny uppmärkning av aktivitetsnivåer på komponenterna.

I rum med radioaktiva processystem ska i görligaste mån de mest aktiva komponenterna avlägsnas först för att minimera personaldosen.

Rörkapningen delas i ren metod, för rör med risk för aktivitetsspridning, samt ören metod, för övrig rivning. De rena metoderna är rörsvarvning, rörsågning eller klippning. Rörändarna förses med plastskydd som förhindrar spridning av aktivitet.

Allt gods från kontrollerat område förs till en avsöknings- och förpackningsplats. Lämpligt utrymme för sådana är kommunikationsstråket genom anläggningen med vilket de flesta av verkets utrymmen har god kontakt. I turbinbyggnaden finns goda utrymmen i anslutning till generatorm. Godset kan delas upp i känt radioaktivt material och sådant som borde vara inaktivt. Det förra förpackas i ISO-containerar, som vid behov förses med strålskydd; det senare avsöks och inaktivt gods läggs

i lämpliga transportlådor. I studien har antagits att båda behållarna rymmer 15 m<sup>3</sup>.

Före uttransport avrapporteras godset och därefter slussas det ut till förutbestämda utrymmen utanför stationsbyggnaden. Där ska godset hanteras vidare för slutdeponering eller konventionell skrotning.

Ett antal större komponenter förs ut ur stationsbyggnaden utan eller med endast måttlig delning. Det är bland annat större värmeväxlare och vissa turbindelar, där sönderdelningen skulle orsaka onödig aktivitetsspridning.

Delarna slutdeponeras bäst i odelat skick. Andra ej kontaminerade stora komponenter är dieslar och transformatorer, dessa bör kunna få en fortsatt funktionell användning.

### 5.3.2 Systembehov under rivningen

Rivning av system inleds när allt bränsle från blocket har transporterats bort. Alla system och all utrustning som inte erfordras ur rivningssynpunkt kan tas ur drift och deras elförsörjning kopplas bort.

Ett antal system och funktioner kommer att vara nödvändiga under rivningsarbetet enligt följande:

- Avfallsstationen behöver utnyttjas för rening av vatten och behandling av filter- och jonbytarmassor;
- Avloppssystem kommer att hållas i driftdugligt skick tills rivningen omöjliggör det;
- Ventilationssystemen hålles i normal drift så länge det erfordras. Under rivningsarbetet kommer risken för spridning av luftburen aktivitet inom anläggningen att beaktas. Skorstensmoniteringen kommer att bibehållas även efter det att bränslet är borta, men då i förenklad form, d v s enbart partikeluppsamling för senare analys;
- Elkraftbehovet kommer efter hand att minska när bränslet är borta. Ej erforderliga skenor och utrustningar kopplas bort och separata matningar kan komma att arrangeras till ur rivningssynpunkt väsentliga funktioner t ex vissa ventilationsanläggningar. Kraftmatningen sker från befintliga ställverk;
- Kontrollutrustning anpassas efter behovet under rivningen. Avgränsningar görs i kontrollrummet så att endast visning ges för system i drift. Härigenom kan operatören enkelt överblicka anläggningens status;
- Underhåll av byggnader och utrustning utföres i erforderlig omfattning för att undvika personskador och inläckage av vatten;

- Övervakning och rondning sker i erforderlig omfattning. Driftområdesstaketet klassas till industristaket sedan bränslet borttransporterats. Tillträdeskontroll till aktiva områden bibehålles till dess det aktiva materialet transporterats bort;
- Servicefunktioner i form av verkstäder, förråd, lagringsutrymmen, aktiv tvättstuga, personalutrymmen, lokalvård och skyddsverksamhet finns kvar i erforderlig omfattning under rivningsperioden.

Rivningsarbetet förutsättes ske i en-skift under normal dagtid. Uttransport av material från processutrymmen förutsättes ske i två-skift. Strålskyddare och sanerare arbetar även i två-skift.

### 5.3.3 Rivningsmetoder

Arbetsmetoder och utrustning för demontage och nedkapning av rörsystem och apparater väljes så att personalen inte utsättes för onödig dosbelastning.

Rör i aktiva system kapas i lämpliga längder med hänsyn till hantering i processutrymmet och övrig hantering fram till deponering. Metoder för kapning är beroende på storlek och aktivitetsnivå. Det finns skrena metoder, dvs omgivningen skall skyddas från radioaktivt stänk, och orena metoder där kapningen kan göras snabbare eftersom omgivningen inte behöver skyddas. Till de förra räknas kapning med rörsvarv, klippning och sågning. Plasmaskärning och kapning med rondellskiva tillhör de orena metoderna.

Allt isoleringsmaterial avlägsnas från rörsystem och apparater innan aktiva system öppnas. Huvuddelen av isoleringsmaterialet är inaktivt och kan friklassas. En begränsad mängd kan vara kontaminerad på grund av läckage från packboxar och flänsförband i aktiva system.

Normalt saneras även utrymmena innan rörledningar kapas. Där så bedöms lämpligt sker extra skyddsmålning/plastbeläggning av golv, om risk finns att aktivt vatten tränger in i betongen under rivningsarbetet.

Stora komponenter (värmeväxlare, tankar, jonbytarkärl, traverser, liksom turbinsidans förvärmare och mellanöverhettare m m) tas ut hela eller med minimal delning.

Öppna rörändar skall omgående täckas med kraftigt plastlock, som säkras med tejp för att undvika spridning av aktivitet. I undantagsfall kommer tätsvetsning att behöva tillgripas. Detta gäller i första hand för apparater som avses att transporteras utan transportbehållare.

Rivningen skall genomföras med vissa system i drift. Elmatning till ventilationsfläktar och kraftuttag får inte påverkas av kabeldemontage



i anläggningen. Detta kan medföra behov av separata matningsvägar till den utrustning som behöver vara i drift.

Tryckluftssystemet kommer att behållas intakt till ett sent skede. Mobila tryckluftssaggregat kommer att utnyttjas i slutskedet.

#### 5.3.4 Kommunikation och materialtransporter

Personalens tillträde till kontrollerad area sker på samma sätt som vid normala drift- och revisionsarbeten.

Materialflödet ut från anläggningen sker huvudsakligen genom befintliga portar och kommunikationsstråk. Vid detaljplaneringen av rivningen är det viktigt att tillräckliga utrymmen skapas inne i och vid anläggningen för mellanlagring av material, uppställning av transportbehållare etc.

Rivningsarbetet bör uppdelas i ett antal delprojekt så att arbetet kan bedrivas på flera fronter och den totala rivningstiden därigenom minskar. Utrymmen inne i anläggningen som tömmas på utrustningen i ett tidigt skede kan utnyttjas för buffertering av material.

Före start av rivningsarbetet har en noggrann radiologisk kartläggning gjorts av anläggningens olika systemdelar. Detta mätprogram skall ligga till grund för aktivitetsbestämning av avfallet så att ingen nuklidspecifik mätning skall behöva göras på varje enskilt avfallskolli eller transportbehållare före uttransport. Varje transportbehållare avses dock kontrolleras vad gäller dosrat och förekomst av eventuell ytkontamination före uttransport från anläggningen enligt IAEA:s transportrekommendationer. Ytdosraten på transportbehållaren får därvid inte överskrida 2 mSv/h och dosraten på 2 m avstånd 0,1 mSv/h.

Vid rivningsarbetet sorteras det aktiva materialet, med hänsyn till hur det skall hanteras i fortsättningen. Grovt sett sker följande uppdelning:

- En del interna delar och reaktortanksmaterial har så höga aktivitetsnivåer på grund av inducerad aktivitet, att de måste transporteras i en behållare av typ B.
- Övrigt material, som behöver transporteras till slutförvar placeras i vanliga ISO-standardcontainers. Beroende på materialets aktivitetsnivå kan yttre strålskärm behöva användas;
- Lågaktivt material deponeras om så är möjligt i markförvar i anslutning till anläggningen;
- Friklassning av material eventuellt efter dekontaminering sker enligt gränser som angivits av tillståndsgivande myndigheter.

### 5.3.5 Rivning av rör och komponenter i aktiva rörsystem

Grova rör förutses huvudsakligen bli kapade med hjälp av rörsvarvar för att så långt som möjligt undvika uppkomst av luftburen aktivitet. Användning av rörsvarv innebär även att rivningspersonalens vistelse i direkt anslutning till processystemen kan undvikas.

I Shippingport och i vissa andra rivningsprojekt har huvuddelen av processrören kapats ned med plasma- eller termiska skärbrännare. Både manuella och automatiska utrustningar har använts. Termiska skärmetoder som t ex plasma eller pulverskärbrännare har en mycket snabb avverkningsförmåga men ger upphov till aerosoler och metalloxidrök som kan orsaka luftburen kontamination. Metallgaserna utgör även arbetsmiljömässiga problem. I de aktuella rivningsfallen har undertryck skapats i rörsystemet och gaserna har filtrerats före utsläpp till omgivningen. Inom EG's rivningsprogram har praktiska försök genomförts med olika typer av termiska skärmetoder. Dessa försök visar att pulverskärbrännare med tillsats av Al/Fe-pulver är den mest effektiva metoden och de gaser som bildas kan renas i filteranläggningar.

För klenare och tunnväggiga rör med diameter upp till ca 100 mm finns hydrauliska klippverktyg som kan användas. Dessa hydraulsaxar kan vara monterade på en mobil plattform/traktor med teleskoparm. På detta sätt erhålles en god räckvidd för demontage av klenare strålkonstruktioner och stativ. I gränzonen mellan grövre mera aktiva rör och klena rör kan termiska kapmetoder komma att utnyttjas.

Omfattningen av olika typer av kapning kommer att bestämmas inför rivning av respektive anläggning. Vid om- och tillbyggnadsarbeten har olika metoder och tekniker utnyttjats och i normalfallet väljes rörsvarv av de skäl som angivits ovan. Något behov att bedriva utvecklingsarbete bedöms inte föreligga i detta skede .

För komponenter typ ventiler, pumpar och motorer förväntas normalt begränsat demontage. I de fall då enbart någon del är kontaminerad torde denna del demonteras medan resterande material behandlas för friklassning.

För mycket stora komponenter som turbiner och generatorer förväntas ett mycket långtgående demontage och friklassning av materialet. Detta förväntas även för turbiner i BWR-anläggningar. Vissa delar som t ex turbinskovlar kan dock behöva dekontamineras innan friklassning kan ske. Stora värmeväxlare som t ex förvärmare och fuktavskiljare/-mellanöverhettare bör även i BWR-anläggningar kunna friklassas. Eventuellt behöver friklassningen föregås av en kemisk dekontaminering. Kapning och nedsmältning kan vara en metod att enklare och säkrare bestämma nuklidinnehållet i materialet inför en friklassning. För värmeväxlare och apparater ingående i reaktorns primärsystem torde inte dekontaminering och/eller smältning för friklassning vara meningsfull.

Dekontaminering av dessa system kan dock vara värdefullt för att minska dosbelastningen på rivningspersonalen.

### 5.3.6 Demontage och sönderdelning av reaktorns interna delar

Då det gäller BWR-anläggningarnas ångseparatorer och fuktavskiljarelement måste dessa om de inte kan dekontamineras, sönderdelas under vatten för att hindra aktivitetsspridning. Interna delar i närheten av reaktorhärden och hårdkomponenter har utsatts för stark neutronstrålning och har erhållit mycket höga aktivitetsnivåer. Sönderdelningen av interna delar och hårdkomponenter måste ske under vatten för att erhålla tillräcklig strålskärning i samband med arbetets utförande. Med hänsyn till den höga aktivitetsnivån på materialet förutses att det placeras i kassetter anpassade till hårdkomponentbehållaren. Även denna hantering med fyllning av kassetter och placering av kassetterna i hårdkomponentbehållaren sker under vatten på motsvarande sätt som bränslehanteringen sker för närvarande. Transporter med hårdkomponentbehållare genomförs rutinmässigt till CLAB varför denna hantering är beprövad. Sönderdelningen av de interna delarna har förutsetts ske under vatten med plasmametod. Metoden är prövad t ex i Shippingport (USA), JPDR (Japan), BR3 (Belgien) och planeras att användas i TMI.

För mindre och klenare detaljer kan även hydrauliska verktyg användas t ex för detektorsonder och ledrör.

Plasmaskärning är en mycket effektiv metod men kräver att skärmstycket kan hållas inom ett snävt avstånd från arbetsstycket. Detta kan medföra problem med hänsyn till att sikten i vattnet blir dålig på grund av att oxider och andra partiklar frigöres i samband med skärbetät. För ytterligare sönderdelning för att uppnå hög fyllnadsgrad i kassetterna kan som komplement till plasmaskärning även användning av mekaniskt skärande eller elektromekaniskt skärande (gnistning) verktyg inte uteslutas. Även skärning med vattenstråle kan vara aktuellt.

Det är inte i dagens läge motiverat att själva bedriva utveckling inom detta område i Sverige. Uppföljning av erfarenheter från pågående och planerad sönderdelning av interna delar utomlands är dock av stort värde för det svenska rivningsprogrammet. De manipulatorer som finns på marknaden, t ex den utrustning från Noell (Tyskland), som används i Niederaichbach under 1990-91, torde med vissa modifieringar kunna utnyttjas för sönderdelning av interna delar i BWR och PWR.

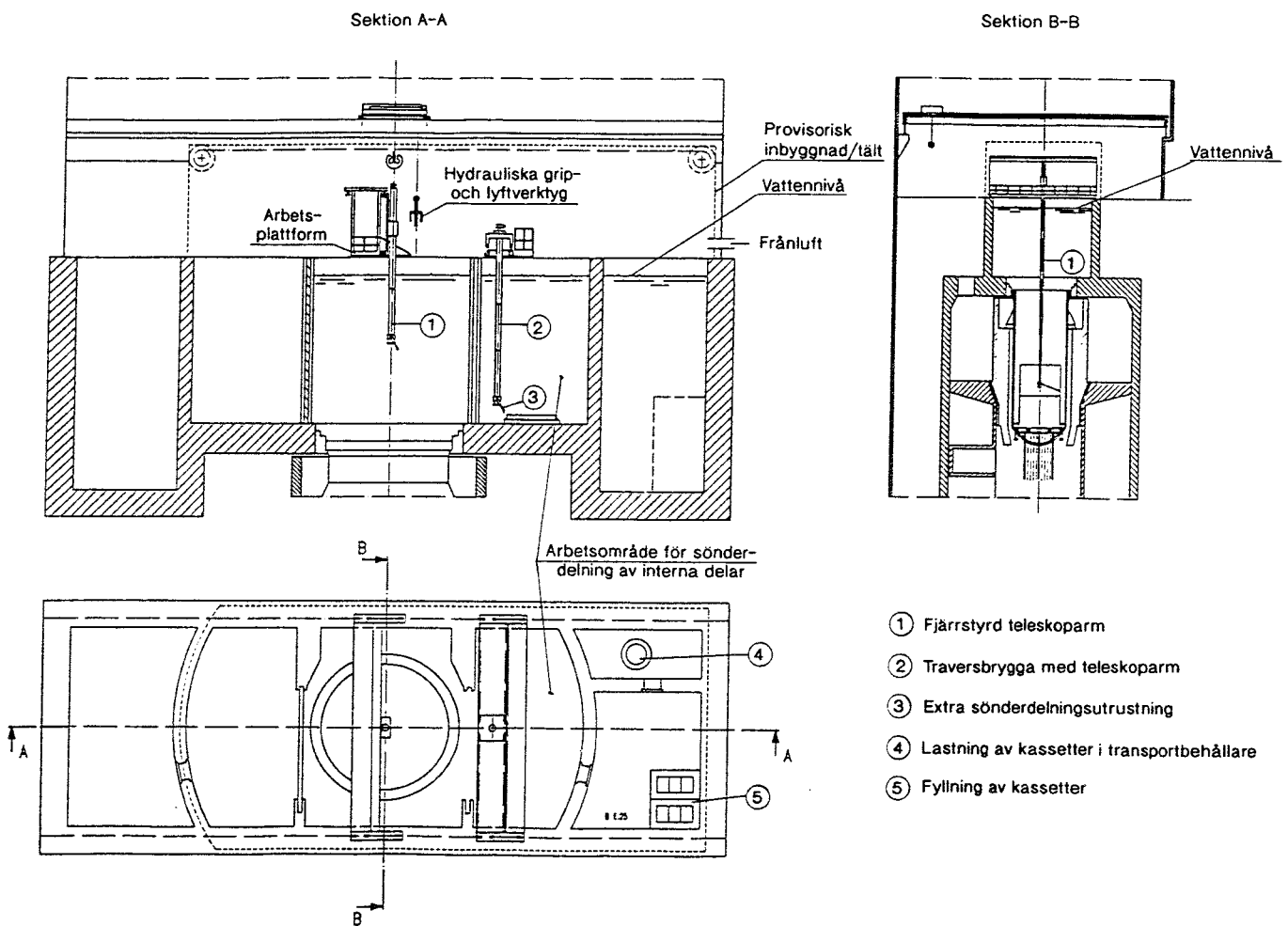
Antalet kassetter som erhålles vid sönderdelningen är starkt beroende av fyllnadsgraden.

Genom att uppnå en högre maxvikt per kassett kan betydande besparingar göras vilket är ett incitament för att utveckla teknik för god sönderdelning av de interna delarna med hög aktivitet. Dessa kassetter

förutsätts transporteras till CLAB för mellanlagring och därefter konditioneras i inkapslingsanläggningen och deponeras i djupförvaret.

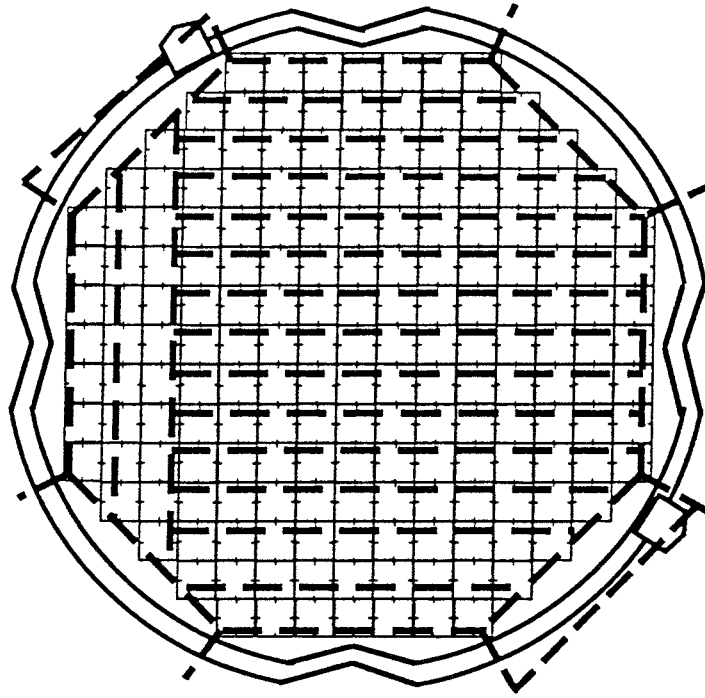
Interndelar med lägre aktivitetsnivåer t ex fuktavskiljare och nedre partiet av styrstavsledrören i BWR-reaktorer bedöms kunna hanteras i mindre kvalificerad transportlåda för deponering i SFR3.

En utrustning för kapning och lyft av interndelar visas för Forsmark 1 i figur 5.2. (Ref 12).

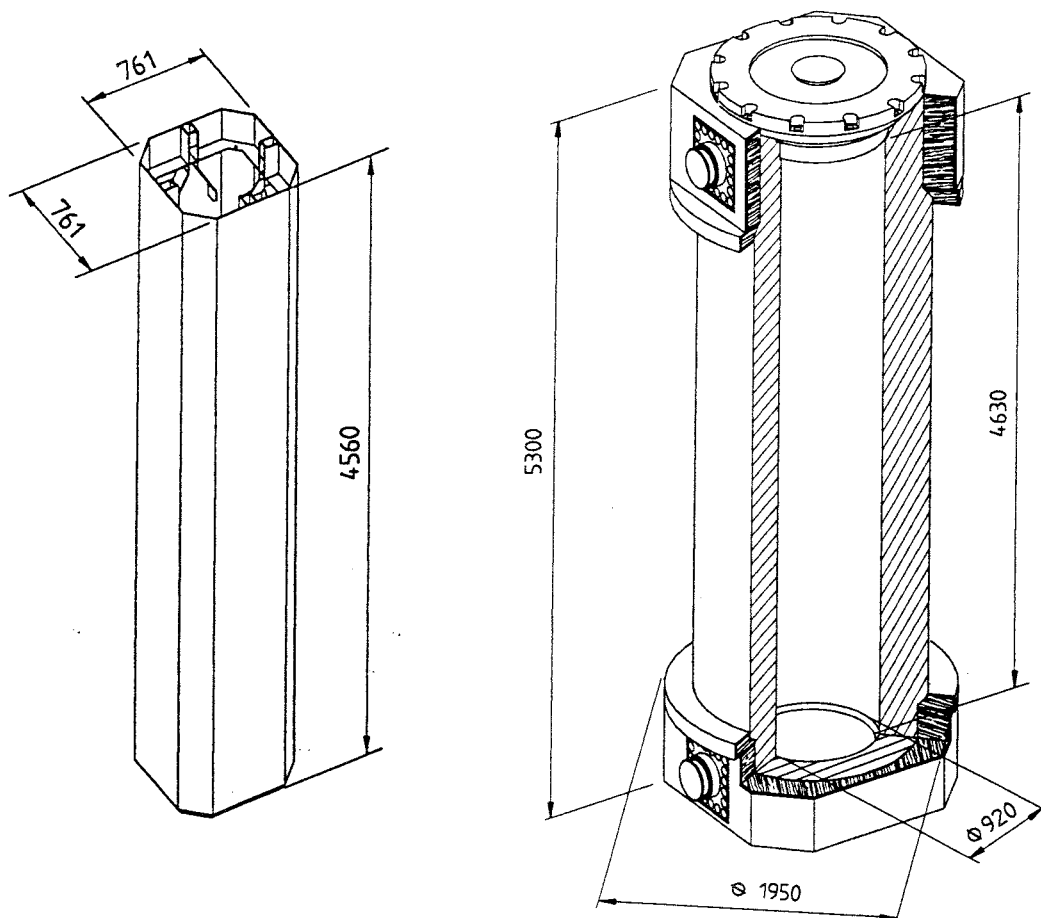


Figur 5.2 Utrustning för lyft och kapning av interndelar i Forsmark 1

Figur 5.3 visar hur härdgallret i Oskarshamn 3 kan delas i 11 delar plus ringen som delas i 8, (Ref 14). Figur 5.4 visar en CLAB transportkassett som avses användas för transport av härdkomponenter. Transportkassetten transporteras i en speciell transportbehållare och fylls i en speciell position i bränslebassängerna.



Figur 5.3 Oskarshamn 3 - Delning av hårdgaller med ring



Figur 5.4 Transportkassett och behållare för CLAB

### 5.3.7 Omhändertagande av reaktortankar

#### 5.3.7.1 Allmänt

Omhändertagandet av reaktortankarna är både då det gäller BWR och PWR det område där omfattande utredningar och underbyggande av tekniken måste göras för att välja rätt princip och metodik för detta mycket resurskrävande arbetsmoment.

Två huvudprinciper för omhändertagande av reaktortankar drivs och utreds för närvarande parallellt inom planeringen för den svenska kärnkraftsriivningen, nämligen sönderdelning av tank och tanklock i bitar och det så kallade heltanksalternativet där tank och tanklock lyfts ut, transporteras och deponeras som en hel enhet.

Under 1990 till 1993 har studier genomförts i SKB's regi för båda dessa alternativ där teknik och kostnader har utvärderats. Då det gäller heltanksalternativet har Forsmark 1 valts som typanläggning. Viktiga skillnader från denna har undersökts, som bland annat kokareaktor av äldre typ med externa huvudcirkulationskretsar och PWR-tankar. Forsmark 1 har även valts som typreaktor för sönderdelningsstudien som utförts av Siemens.

#### 5.3.7.2 Heltanksalternativet

Förutsättningar för demontage, transport och deponering av reaktortankarna som hela enheter har studerats av SKB i den så kallade "Heltankstudien" (Ref 9). Studien redovisades i augusti 1991 och Forsmark 1 användes som referensanläggning. En kompletteringsstudie för Ringhals 1 (externpumpsreaktor) och Ringhals 3 (tryckvattenreaktor) redovisades under 1993, (Ref 10).

Den grundläggande problemställningen då det gäller heltanksalternativet har varit att utröna förutsättningar och möjligheter för att med tillgänglig teknik utföra själva lyftet av reaktortanken ut ur den befintliga byggnadskroppen och sedan genomföra transporten till slutförvar i SFR. Ett krav har varit att IAEA's transportrekommendationer om maximalt tillåtna stråldosrater från kollit (reaktortanken) skall innehållas från det utlyftet påbörjas till färdig deponering. För detta krävs en strålskärm som signifikant påverkar lyft- och transportvikten. Utgångspunkten för heltanksalternativets genomförbarhet har därför varit att utifrån beräknat aktivitetsinventarium bestämma strålskärmens tjocklek och geometri och därmed få fram den totala hanteringsvikten. I sammanhanget har även undersökts möjligheterna att omhänderta hela reaktortanken med interndelarna inkluderade.

Aktiviteten i reaktortankarna förekommer dels som ytkontaminering och dels som inducerad aktivitet i tankmaterialet, främst i det invändigt pläterade, rostfria skiktet. Den strålningsinducerande aktiviteten är helt dominerande då det gäller bestämning av källstyrkor och dosrater. De

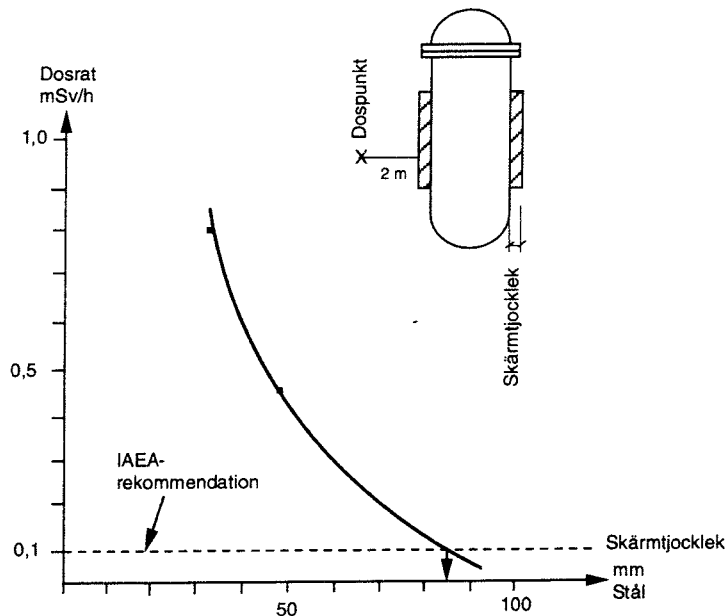
beräknade aktivitetsmängderna är baserade på 40 års drift och därefter 5 års avklingning. Inventariet av de dominerande nukliderna i typiska svenska reaktorer av BWR- och PWR-typ finns redovisat i tabell 5.1.

Tabell 5.1 Radioaktivitetsinventarium (inducerat) i GBq

Nuklid	BWR		PWR	
	Interndelar	Reaktortank	Interndelar	Reaktortank
$^{59}\text{Fe}$	$5 \cdot 10^7$	$1 \cdot 10^4$	$1 \cdot 10^8$	$4 \cdot 10^4$
$^{60}\text{Co}$	$4 \cdot 10^6$	$1 \cdot 10^3$	$2 \cdot 10^7$	$5 \cdot 10^3$
$^{63}\text{Ni}$	$6 \cdot 10^6$	$1 \cdot 10^3$	$2 \cdot 10^7$	$3 \cdot 10^3$
Total	$1 \cdot 10^8$		$2 \cdot 10^8$	

Då det gäller inducerad aktivitet är denna helt koncentrerad till området kring härden, d v s bränslepatronernas längd plus en nivå maximalt 1 m ovanför respektive nedanför dess ändar.

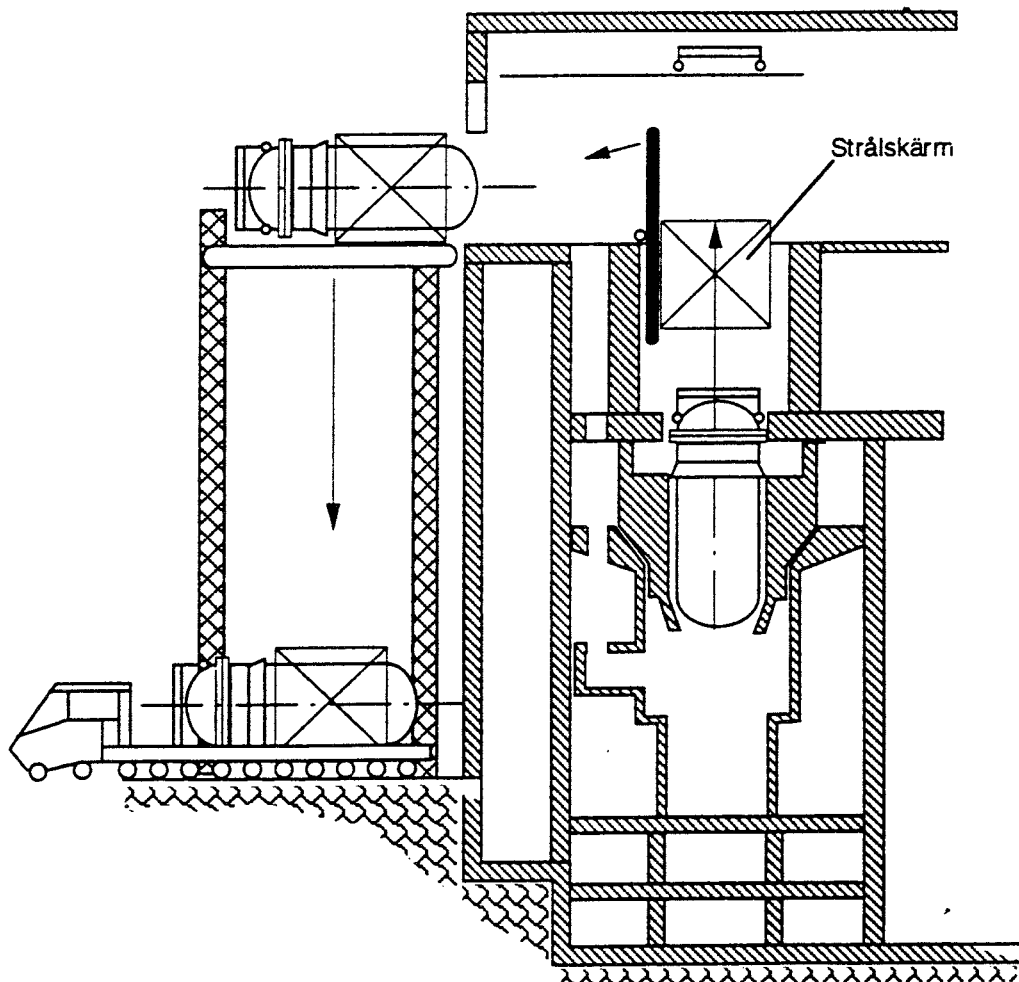
Aktivitetsinventariet har alltså utgjort grund för bedömning av nödvändig strålskärmning med och utan interndelar. För reaktortankarna har dosraten på 2 m visat sig vara dimensionerande då det gäller att uppfylla kraven i transportbestämmelserna. Då det gäller Forsmark 1's reaktortank kan sambandet mellan dosrat på 2 m och tjockleken av en strålskärm i stål för tom reaktortank (utan interndelar) avläsas i figur 5.5.



Figur 5.5 Dosrat på 2 m från tom reaktortank som funktion av strålskärmstjocklek (Forsmark 1).

Resultatet är alltså en nödvändig strålskärmsjocklek på ca 85 mm motsvarande en vikt på 90 ton i Forsmark 1-fallet. Det totala lyftet för tom reaktortank med lock och strålskärm blir då ca 900 ton. Motsvarande beräkningar för fallet med interndelarna inkluderade ger en strålskärmsvikt på närmare 400 ton och en total lyftvikt på ca 1500 ton.

Grova beräkningar av byggnadsstommen för Forsmark 1 har visat att belastningar motsvarande ett lyft på upp mot 1000 ton kan klaras med acceptabel säkerhetsmarginal. Det har då förutsatts att lyftet sker på samma sätt som när tanken sattes in. Förslag för utlyft och transport visas i figur 5.6.



Figur 5.6

Lyft och transport av hel reaktortank (Forsmark 1)



Strålskärmen som visas schematiskt i figuren består av två halvor som kläms runt reaktortanken i samband med det vertikala lyftet och sedan följer med under lyftet och transporten och deponeras tillsammans med tanken.

Att planera för ett totallyft på upp emot 1500 ton vilket är fallet om interndelarna inkluderas har i heltankstudien bedömts som orealistiskt varför detta inte närmare undersökts. Det praktiska arbetet då det gäller demontage och omhändertagande av hel reaktortank har därför endast studerats för en plundrad tank. De olika momenten som behandlats är följande:

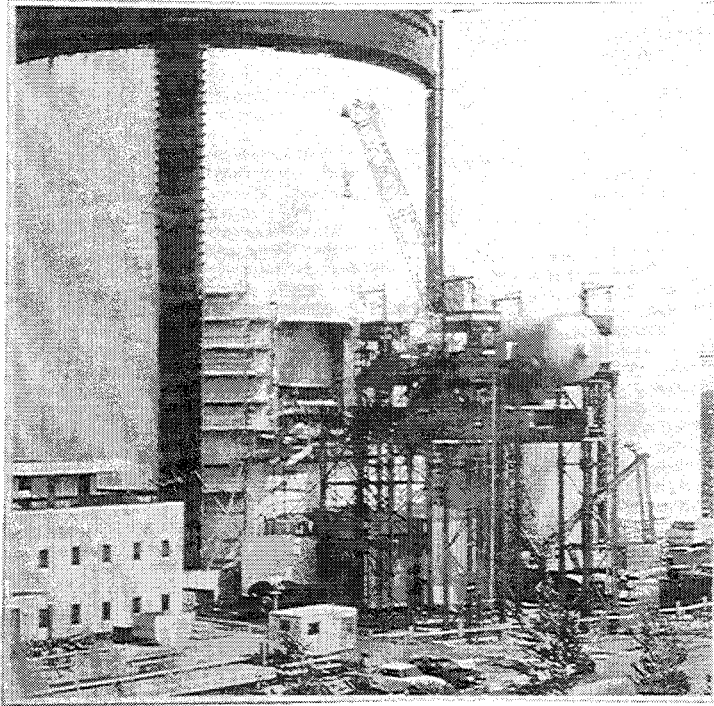
- Strålskyddsåtgärder
- Borttagning av isolering
- System- och funktionsbehov
- Åtgärder på byggnader och mark
- Frigöring av reaktortank
- Lyft- och transport
- Mellanlagring och deponering
- Arbetsomfattning, personaldoser och kostnader

Då det gäller övriga svenska kärnkraftanläggningar har principiella skillnader mot Forsmark 1 studerats översiktligt. Då det gäller Ringhals 1 som är en kokareaktor med externa huvudcirkulationskretsar tillkommer här arbetsmomenten med kapning av de tolv anslutningsstutsarna. I motsats till Forsmark 1-tanken som hänger i en kjol strax under lockflänsen så vilar Ringhals 1-tanken i en vagg som är fastsvetsad mot den sfäriska bottendelen. Vaggan är undergjuten med betong och fäst i en bultkrans. Åtkomligheten är dålig och frigöringen av tanken bedöms bli ett arbetskrävande moment.

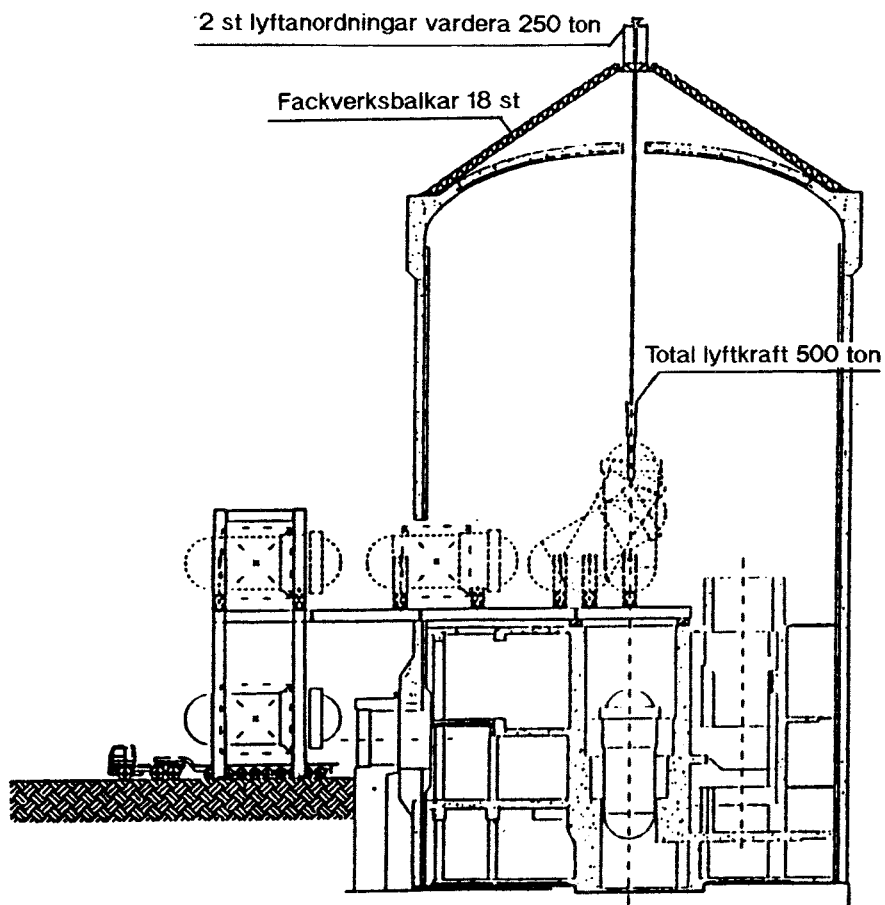
För de tre PWR-anläggningarna i Ringhals kan den beprövade ånggenerator-bytestekniken användas för demontage och utlyft av hel reaktortank. Figur 5.7 visar utlyft av ånggeneratoren i Ringhals 2. PWR-tankarna har betydligt mindre mått än de största BWR-tankarna och den totala hanterings- och lyftvikten är endast ca hälften eller maximalt 500 ton. Det största problemet med PWR-tankarna är det högre aktivitetsinventariet som kräver tjockare strålskärmar. Utlyft och transport av hel reaktortank i Ringhals 3 finns åskådliggjort i Figur 5.8.

Slutsatsen av studien är att det är fullt realiserbart ur både säkerhets-, teknisk- och ekonomisk synvinkel att lyfta ut Forsmark 1's reaktortank och deponera den i SFR som en hel enhet. Genom de kompletteringsstudier som gjorts för övriga anläggningar har denna slutsats befunnits gälla för samtliga svenska kärnkraftanläggningar av BWR- och PWR-typ.

Heltanksalternativet är alltså en mycket intressant handlingslinje då det gäller planeringen av den svenska kärnkraftsrivningen.



Figur 5.7 Utlyft av ånggeneratorm i Ringhals 2



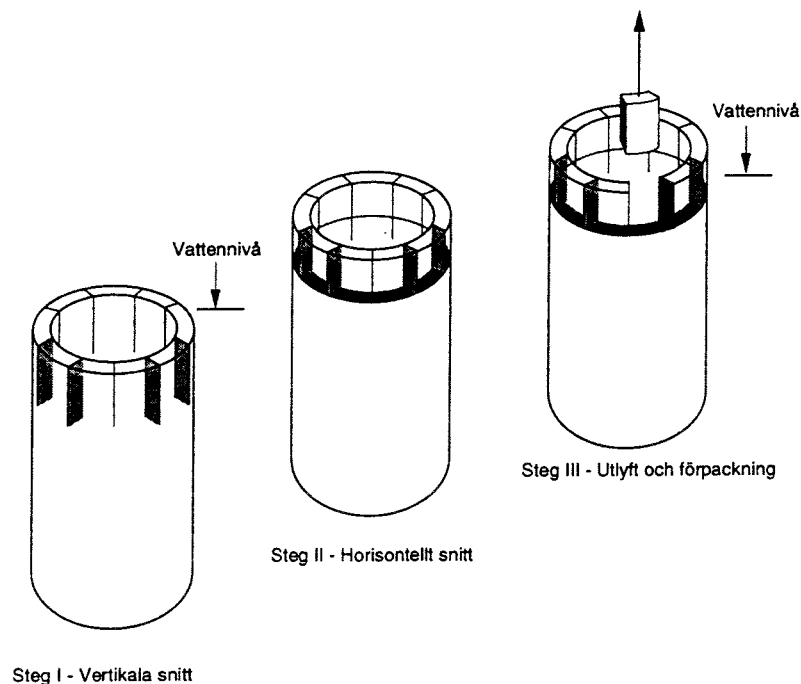
Figur 5.8 Utlyft och transport av hel reaktortank (Ringhals 3)

### 5.3.7.3 Sönderdelning av reaktortankar

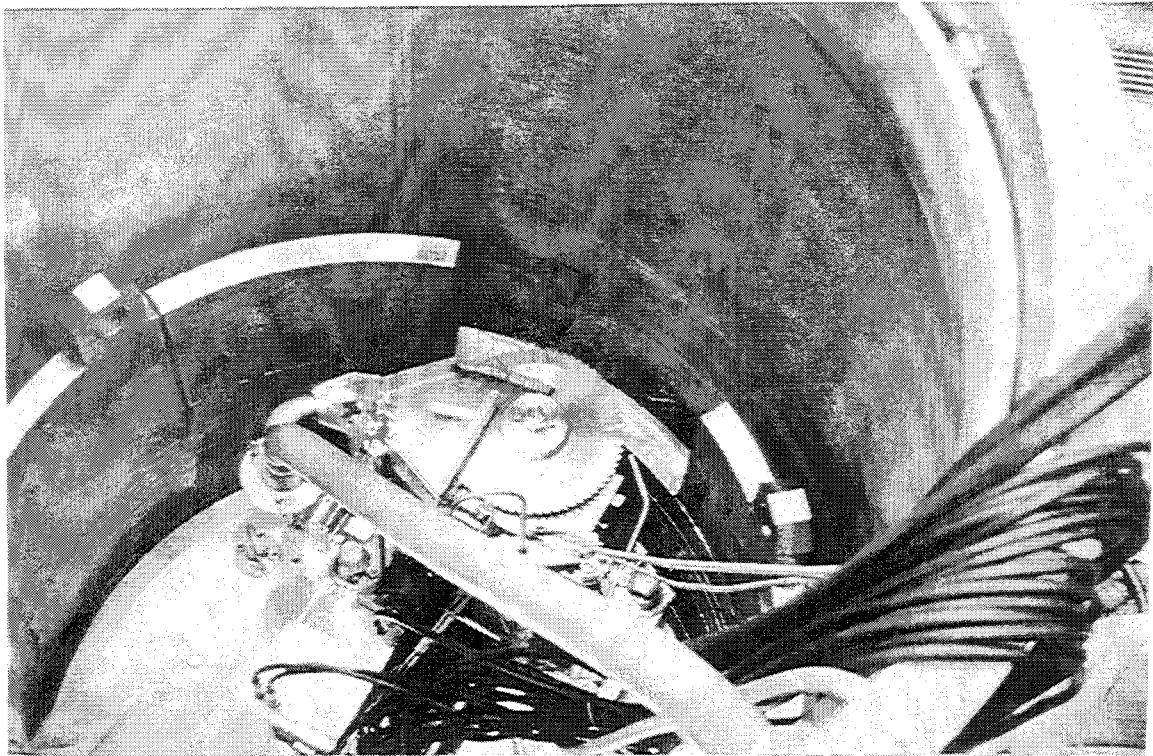
Alternativet till att omhänderta och deponera reaktortankarna som hela enheter är att sönderdela dessa i bitar av lämplig storlek. Bitarna hanteras sedan och transporteras i strålskärmda behållare till SFR för slutförvaring.

Det så kallade sönderdelningsalternativet har studerats separat och redovisats under 1993, (Ref 12). Syftet med denna studie har varit att uppdatera teknik och kostnader bland annat för att få bra jämförelseunderlag för de två alternativen heltank och sönderdelning. Även då det gäller sönderdelningsalternativet har Forsmark 1 använts som referensanläggning och dimensionerande data som till exempel aktivitetsinventarium och dosraten är samma som använts i heltankstudien.

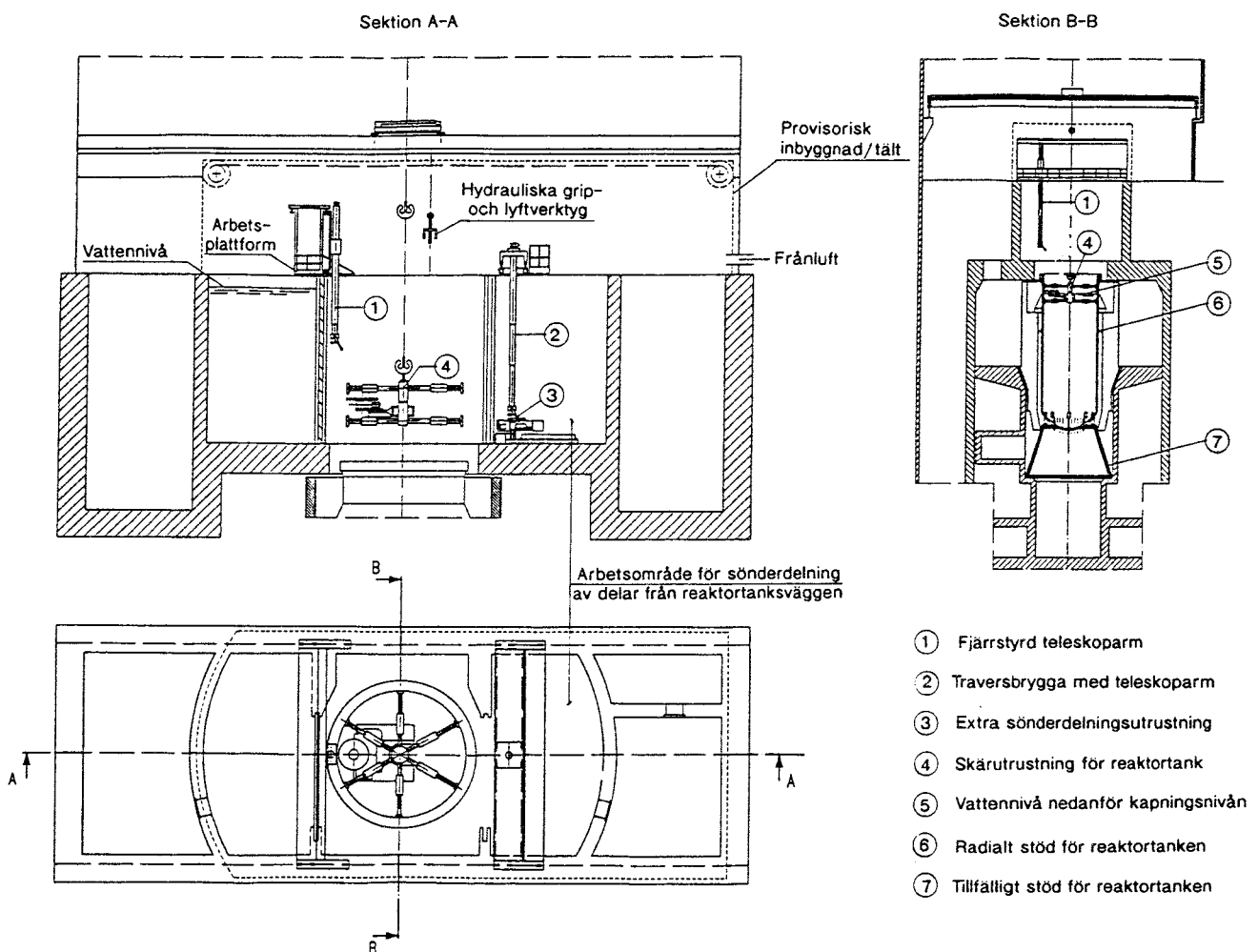
Då det gäller sönderdelningen av själva reaktortanken görs detta efter att tanken plundrats på interndelar. Sönderdelningen sker med hjälp av mekaniska sågklingor som drivs hydrauliskt och styrs och övervakas från reaktorhallsplanet. Kapningen sker i luft men vattennivån i tanken hålls hela tiden så högt som möjligt och sänks allt eftersom sönderdelningen fortskrider. I studien, som bygger på de senaste erfarenheterna inom området bl a från BR-3-reaktorn, förutsattes att ett antal vertikala snitt läggs först varefter ett cirkulärt, horisontellt snitt läggs för att frigöra de enstaka bitarna. Bitarnas storlek och form är valda med tanke på hantering, packning i transportbehållare och deponering i SFR. Principen för de olika arbetsstegen visas i figur 5.9. Samma metod har använts vid sönderdelningen av det termiska skyddet i BR 3 i Belgien, se figur 5.10.



Figur 5.9 Arbetssteg för sönderdelning av reaktortank



Figur 5.10 Sönderdelning av termiska skyddet i BR 3. (Foto: Siemens)



Figur 5.11 Sönderdelning av "hängande" reaktortank. Kaputrustning och stödkonstruktion

I äldre BWR-anläggningar med externa huvudcirkulationskretsar vilar reaktortankarna på sin bottendel inne i reaktorinneslutningen varför inget extra stöd behövs under tanken. Internpumpsreaktorerna som till exempel Forsmark 1 hänger i en fläns strax under tanklocksflänsen. Kapningen under denna nivå kräver därför en temporär stödkonstruktion för att hålla upp reaktortanken. Stödkonstruktionen och kaputrustningen för reaktortanken visas i figur 5.11.

## 5.4 BYGGNADSRIVNING OCH ÅTERSTÄLLNING

När systemrivningen avslutats och alla utrymmen är rengjorda påbörjas rivning av byggnadsdelarna. Först rivs och borttransporteras all aktiv och kontaminerad betong. Efter en noggrann aktivitetskontroll friklassas sedan byggnaden och en konventionell byggnadsrivning tar vid. I denna studie har även kostnader för rivning av inaktiva byggnader, t ex personal- och förrådsbyggnader tagits med. Det är dock troligt att dessa lämnas till den verksamhet som tar vid. Rivningen avslutas med att området återställs.

### 5.4.1 Aktiv byggnadsrivning

Efter det att rivning och uttransport av processutrustningen är klar, samt dekontaminering av nedsmutsade ytor är genomförd, tar den aktiva byggnadsrivningen vid. Denna omfattar all betong som blivit aktiv, dels inducerad genom neutronbestrålning och dels till följd av aktivitetsspill.

Inducerad aktivitet finns endast i biologiska skärmen. Kontaminerad betong antas finnas bakom bassängplåtar, i pumpgropar samt på golvytor i processutrymmen som blivit kontaminerad. Borttagning av ingjutna delar av den rostfria plåtbeklädnaden i bassänger och pumpgropar ingår också i den aktiva byggnadsrivningen.

Arbetet börjar med att skiktet med inducerad betong i biologiska skärmen i reaktorinneslutningen tas bort. Här antas att skiktet är 1 meter tjockt. Rivningen utförs t ex med hjälp av en el-hydrauliskt driven och fjärrmanövrerad bilningsmaskin .

Maskinen opererar från ett höj- och sänkbart lyftbord. Den lossgjorda betongen samlas upp i en tratt upphängd intill väggen. Från tratten släpps avfallet ner i en betongkross och sugts därefter in i en container för transport och deponering i SFR.

Det uppkomna dammet binds med vattendusch från en spridare fäst vid hydraularmen. Genom lagom anpassad vattenmängd och finfördelning sugts vattnet upp av betongdammet och vattenspill undviks.

Denna metod att bila bort betong användes vid rivningen av biologiska skärmen i forskningsreaktorn R1 i Stockholm.

Före bilningen täcks biologiska skärmens öppna överdel och botten av skärmen så att en tät inneslutning erhålles. Detta görs för att uppnå en kontrollerad och filtrerad ventilation under bilningen. Betongspill på botten från bilningsarbetet sugs upp med en vakuumlastare.

Samtidigt som betongskiktet med inducerad aktivitet i biologiska skärmen tas bort, kan resterande delar av beklädnadsplåten i wetwell och övriga bassänger avlägsnas. Eftersom plåten renspolats och tagits bort redan under processrivningen, återstår ingjutningsgodset, där de vattenberörda ytorna antages vara radioaktiva. Kontaminerad ytbetong i bassängen och på golv vattenbilas bort. Vattenbilningsmunstyckena placeras på speciell rigg. Den bortbilade betongen sugs upp med en vakuumlastare.

#### 5.4.2 Inaktiv byggnadsrivning

Sedan all kontaminerad betong avbilats, förpackats och transporterats ut, vidtar den konventionella rivningen. Efter avsökning och friklassning av aktuell byggnad påbörjas byggnadsrivningen i de översta våningarna i kraftverksblocket.

Först avlägsnas taktäckning och takbalkar samt traverser med hjälp av lyftkranar. Sedan bilas väggar av betong på så sätt att partier med en storlek av ca 2x3 m skäres ut med hjälp av en bilningsmaskinen och släpps ned till marken på utsidan av väggen. Med bjälklagen förfäres på samma sätt. Uttransport till yttervägg sker med en liten mobilkran som opererar från det aktuella bjälklaget.

För bränsle- och förvaringsbassängerna i BWR-anläggningarna måste detaljerade rivningsplaner upprättas och rivningen utföras i sådan följd att stabiliteten säkerställes hos bassängdelen som är upplagd på PS inneslutningen och kragar ut därifrån med stora laster.

Reaktorinneslutningens vägg, som är ca 1,0 m tjock, har en ingjuten tätplåt av stål och försedd med spännarmering och tät slakarmering. Den sönderdelas genom skärning med termiska lansar till lagom stora block som deponeras i reaktorbyggnaden under mark.

Inneslutningarna i Ringhals PWR-anläggningar har spännkablar som lagts i oljefyllda kanaler. Denna spännarmering måste tas ut innan rivningen påbörjas.

Turbinfundamentens betongplattor har en tjocklek på 2-3 m. Rivningen av dessa kan utföras genom borrar med termiska lansar och hydraulisk spräckning i de borrarade hålen.

## 6 AVFALLSHANTERING

### 6.1 KLASSNING AV AVFALL

Avfallsprodukterna från rivning av kärnkraftverken har mycket olika aktivitetsnivåer, allt ifrån inaktivt byggnadsmaterial till starkt radioaktivt material från reaktortankens interna delar. Dessa avfallsprodukter ställer därmed olika krav på hantering och slutlig förvaring. Med hänsyn härtill delas avfallet in i fyra kategorier:

- Avfall som kan friklassas
- Avfall som kan deponeras på platsen
- Avfall som kan slutförvaras i SFR
- Avfall som kräver deponering i djupförvaret

#### Friklassning

Material från kärnkraftverk friklassas idag enligt särskilda föreskrifter utgivna av Statens Strålskyddsinstitut (Ref 29). Sådant material som friklassas kan användas fritt utan restriktioner eller deponeras som avfall på egen byggtipp eller kommunalt avfallsupplag. Den för närvarande maximalt tillåtna massaktivitetskoncentration, för fri användning av material som har varit i kontrollerade områden vid kärnkraftverk, är 100 Bq/kg. En höjning av gränsen till 1000 Bq/kg diskuteras. Motsvarande gräns för material som kan deponeras som icke radioaktivt avfall är 5 kBq/kg för beta- eller gammastrålande nuklider. Den totala mängd aktivitet som förs ut för deponering från samtliga reaktorer på en plats är begränsad till 1 GBq/år.

Förutom friklassning enligt ovan beskrivna föreskrifter kan material friklassas från fall till fall efter provning av Statens Strålskyddsinstitut. Den senare praxisen tillämpas i många länder. De potentiella problemen med olika friklassningsgränser i olika länder har uppmärksammats sedan några år. Det pågår idag mycket arbete internationellt på harmonisering av gränsvärdena för friklassning av material, vars resultat kan väl påverka mängd avfall som måste slutförvaras vid rivning. Under senare år har också en betydande utveckling av smältningstekniken skett, vilket

också kan leda till betydande minskning av mängden avfall som behöver slutförvaring.

### Deponering på plats

Idag finns tillstånd för markdeponering vid Oskarshamn, Ringhals och Forsmark. Tillstånden innebär att den totala deponerade aktiviteten inte vid något tillfälle får överstiga följande värden 100 GBq per plats.

Vidare får medelaktivitetskoncentration per kolli inte vara större än 300 kBq/kg för radionuklider med en halveringstid längre än fem år.

De befintliga markdeponierna antages vara fyllda vid tiden för rivning och kommer därmed inte vara aktuella för rivningsavfall. För rivningsavfall kommer nya tillstånd att fordras för markdeponier, liknande de som finns idag.

### Slutförvaring vid SFR

Huvuddelen av det rivningsavfall, som kräver slutförvaring, kommer att deponeras i SFR 3. Aktivitetens innehåll i avfallet domineras av  $^{60}\text{Co}$ , som har 5 års halveringstid.

### Deponering i djupförvaret

Vissa av de interna delarna i reaktortanken innehåller aktivitet med långlivade nuklider, såsom  $^{63}\text{Ni}$ ,  $^{59}\text{Ni}$  och  $^{94}\text{Nb}$ , vid så höga nivåer att de inte kan förvaras vid SFR. Dessa komponenter måste således deponeras i djupförvaret efter mellanlagring vid CLAB under några tiotal år.

## 6.2 AVFALLSMÄNGDER

Mängden avfall, som skall tas om hand i samband med att kärnkraftverken rivs, har bestämts i detaljerade studier av materialmängderna i Oskarshamn 3 (Ref 8) och Ringhals 2 (Ref 6). Betongmängderna är baserade på en uppdaterad studie av byggnadsrivning av de svenska kärnkraftverken (Ref 5). Resultaten har sammanställts i tabellerna 6.1 och 6.2.

Materialmängder för övriga BWR har beräknats utgående från resultaten för O3. Viktning har gjorts med hänsyn till storleks- och konstruktionskillnader. Materialmängderna för Ringhals 3 och 4, som är PWR i likhet med Ringhals 2, har antagits vara lika med de för Ringhals 2. Från rivningen erhålles även en del processavfall, t.ex. jonbytarmassor och filter.



Tabell 6.1 Avfallsmängder för Oskarshamn 3 BWR, i ton

	<u>Aktivt</u>	<u>Inaktivt</u>
1. Reaktortank (inkl interna delar)	760	
2. Hanteringsutrustning	136	122
3. Ventiler > 65 DN och don	130	116
4. Diverse komponenter	97	50
5. Kablar och stegar		704
6. Instrument	4	2
7. Stålkonstruktioner		1 032
8. Luftbehandling	10	1 076
9. Större värmeväxlare	77	47
10. Beklädnadsplåt		106
11. Inneslutningskupol	35	
12. Pumpar	35	14
13. Traverser		485
14. Tankar och cisterner	268	247
15. Turbinkomponenter	4 573	1 261
16. Elkomponenter		482
17. Elskåp		1 042
18. Processrör	659	532
19. Isolering	13	244
20. Värme/Sanitet		263
21. Driftavfall under rivningsperioden	400	
21. Sand från fördröjningstank	1 050	
22. Betong med inducerad aktivitet	555	
23. Övrig betong	855	318 570
<b>Summa: (exkl inaktiv betong)</b>	<b>9 660</b>	<b>7 830</b>

## Kommentarer till Tabell 6.1:

- I position 1 består de interna delarna av 132 t i transportkassetter till CLAB och 101 t i ISO-containerar
- I position 15 ingår 3000 t för lågtrycksturbin under "Aktivt" avfall samt vissa andra komponenter
- För position 22 och 23 har antagits 2.4 för betongens specifika vikt

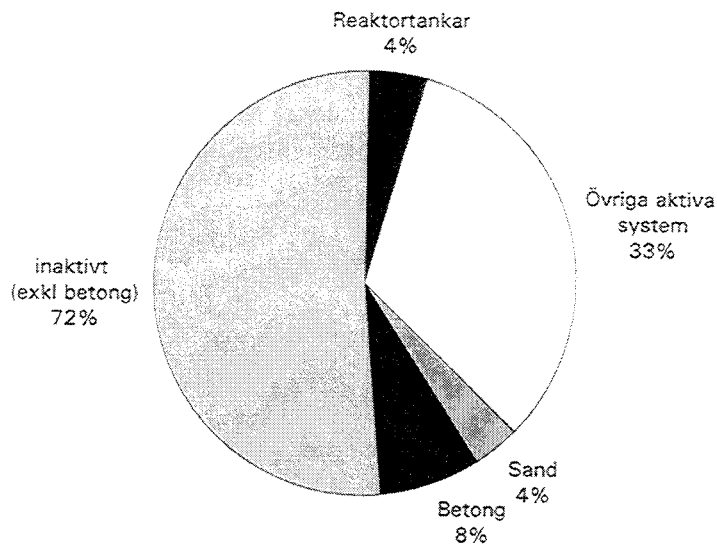
Tabell 6.2 Avfallsmängder för Ringhals 2 PWR, i ton

	<u>Aktivt</u>	<u>Inaktivt</u>
1. Generatordelen		
2. Turbinplan		2 168
3. Turbinsystem		3 100
4. Mellanbyggnaden		230
5. Aktiv hjälpsystembyggnad	1 370	
6. Inaktiv hjälpsystembyggnad	90	
7. Filterbyggnad	50	
8. Bränslebyggnad	71	
9. Containment	1 959	
10. Reaktortank med inre delar	330	
11. Betong med inducerad aktivitet	450	
12. Driftavfall under rivningen	400	
12. Övrig betong	525	
<b>Summa:</b>	<b>5 245</b>	

Tabell 6.3 visar mängd rivningsmaterial från samtliga block i ton.

Tabell 6.3 Avfallsmängder från samtliga block i ton.

Block	Aktivt material					Inaktivt material			
	Reaktortank (inkl interndelar)	Övriga aktiva system	Drift- avfall	Sand	Betong	Summa	Betong	Övrigt	Summa
B1	650	3 170	400	250	900	5 370	172 350	4 960	177 310
B2	650	3 170	400	250	990	5 460	196 350	4 960	201 310
F1	760	5 950	400	1 050	1 230	9 390	229 500	7 700	237 200
F2	760	5 950	400	1 050	1 230	9 390	220 200	7 700	227 900
F3	760	6 040	400	1 050	1 440	9 690	322 920	7 830	330 750
O1	650	2 820	400	250	615	4 735	135 150	4 420	139 570
O2	650	3 170	400	250	900	5 370	175 500	4 960	180 460
<b>O3</b>	<b>760</b>	<b>6 040</b>	<b>400</b>	<b>1 050</b>	<b>1 410</b>	<b>9 660</b>	173 850	<b>7 830</b>	181 680
R1	650	4 700	400	350	915	7 015	190 200	5 910	196 110
<b>R2</b>	<b>330</b>	<b>3 540</b>	<b>400</b>		<b>975</b>	<b>5 245</b>	267 300	<b>8 140</b>	275 440
R3	330	3 540	400		975	5 245	198 600	8 140	206 740
R4	330	3 540	400		975	5 245	219 300	8 140	227 440
<b>Summa (ton) inkl 10 % påslag</b>	<b>8 010</b>	<b>56 790</b>	<b>5 280</b>	<b>6 110</b>	<b>13 810</b>	<b>90 000</b>	<b>2 751 340</b>	<b>88 760</b>	<b>2 840 100</b>



Figur 6.1 Avfallsmängder från rivning av de svenska kärnkraftverken

### 6.3 BEHANDLING AV AVFALL

Med hänsyn till behandlingen av avfallet kan det delas in i grupperna:

- Direkt rivningsavfall
  - Metallskrot
  - Betong och sand
  - Isolering
  - Övrigt
- Processavfall
  - Jonbytarmassor
  - Filter
  - Skyddskläder mm.

Processavfallet behandlas på liknande sätt som under driftperioden, dvs. jonbytarmassor solidifieras eller avvattnas, och filter kompakteras.

Betong och sand placeras direkt i lämpliga transportförpackningar.

Komponenter som inte placeras i containrar eller kolli målas eller plastas in för att förhindra spridning av aktivitet.

För det direkta rivningsavfallet förutses minsta möjliga behandling. Metallskrot kapas direkt vid rivningen upp i lämpliga dimensioner för transport till slutförvaring. Öppna rörändar försluts med kraftiga plastlock, för att undvika spridning av lös aktivitet. Lågaktivt material placeras direkt i transportcontainrar, vilka kan deponeras i SFR. Material som kräver strålskärmning transporteras med en extra yttre strålskärm över containern.

Ovanstående beskriver huvudalternativet för behandling och hantering av rivningsavfallet. Under senaste åren har även olika teknologier utvecklats för att minska mängden och volymen av avfall (speciellt metalliskt skrot) som måste slutförvaras. Ett möjligt scenario till sådan hantering beskrivs översiktligt här nedan.

### 6.3.1 Smältning av kontaminerat skrot

De teknologier som kan komma ifråga för friklassning av metalliskt skrot är bl.a.

- mätning
- dekontaminering
- smältning

Gods måste alltid mätas före friklassning. På grund av att det ofta är svårt att bestämma dess ytkontaminering och aktivitetsinnehåll enbart med mätning, har smältning växt fram som ett ekonomiskt alternativ. Då kan materialets specifika aktivitet enkelt bestämmas (mätas) med god noggrannhet och dess volym minskas. Mängden skrot som kan friklassas väntas bli större än vid mätningsalternativet. I vissa fall kan det vara meningsfullt och ekonomiskt att dekontaminera godset före smältning.

Med syfte att undersöka hur smältning kunde tillämpas vid rivning av svenska kärnkraftverk, har en särskild utredning (Ref 11) genomförts. Idag finns det fyra anläggningar där kontaminerat skrot smälts:

- Carla-anläggning, Siempelkamp, Tyskland
- Studsvik smältanläggning, Sverige
- INFANTE-anläggning, Marcoule, Frankrike
- SEG-anläggning, Oak Ridge, USA

Vissa data om anläggningarna framgår av Tabell 6.4:

Tabell 6.4		Data om smältanläggningar	
Anläggning	Startår	Kapacitet (ton)	Mängd smält tom juni 1993 (ton)
Carla	1989	3,2	7 000
Studsvik	1987	3	1 500
INFANTE	1992	12	3 600
SEG	1992	20	2 000

De utländska smältarna av kontaminerat skrot riktar sig mot återanvändning av material inom det kärntekniska området, t.ex. för tillverkning av gjutna avfallsbehållare eller strålskyddsblock, delvis på grund av att fastställda aktivitetsgränser för friklassning saknas. Studsvik siktar mot friklassning av material från komponenter med en för ändamålet lämpligt låg kontaminationsnivå.

Friklassning av göten från smältning sker batchvis efter tillstånd från Statens Strålskyddsinstitut från fall till fall. Hittills har den högsta tillåtna aktivitetskoncentration för friklassning i göten från svenskt skrot, varit 0,8 Bq/g. Om göten efter smältning har högre aktivitetsnivåer, förvaras det tills  $^{60}\text{Co}$  (som utgör den största aktivitetskomponenten) har klingat av till acceptabel nivå.

I studien beskrivs två alternativ för smältning i Sverige. Dels en större central ugn dit allt avfall transporteras och dels att en ugn på varje plats används. Det sista alternativet bedöms som det mest troliga.

För en rimlig förvaringstid på 20-25 år, innebär det att komponenter med upp till 20-25 Bq/g kan smältas för friklassning. Om man tillämpar denna filosofi på det metalliska skrotet från rivning av Oskarshamn 3, bedöms att avfallsmängden för slutförvaring kan minskas från 6 200 till 2 600 ton. Uppskattningen grundar sig på en beräkning av materialmängder vid en ändring av friklassningsgränsen från 1 till 20 Bq/g.

Kostnad för smältning bedöms till ca 10 SEK/kg med en ugn på varje plats. Smältkapaciteten är 2 500 ton/år. Marginalkostnaden för SFR 3 uppskattas till ungefär samma belopp per kg.

#### 6.4 TRANSPORT AV RIVNINGSAVFALL

För transporter av rivningsavfall kommer SKBs transportsystem att användas. Detta består av ett transportfartyg, terminalfordon och transportbehållare.

I huvudsak kan de behållare som används för transport av driftavfall från kärnkraftverken även utnyttjas för transport av rivningsavfall, nämligen:

- Härdkomponentbehållare, som är typ B-godkänd
- Strålskärmande behållare
- Standard ISO-containrar, hel eller halvhöjds

Den största delen av det material som inte kan friklassas placeras i ISO-containrar. Denna studie har förutsatt ISO-containrar med en volym på 15 m<sup>3</sup>. Maxinnehållet har begränsats så att totalvikten inte överskrider 20 ton.

Transporter av radioaktivt avfall inom Sverige skall godkännas av SSI. Transporten skall uppfylla kraven enligt IAEAs transportrekommendationer (ref 28). Detta innebär att dosraten inte får överskrida 2 mSv/h på ytan eller 0,1 mSv/h på 2 m avstånd. ISO-containern får dock innehålla mer eftersom man kan sätta på ett strålskydd under transporten. I denna studie har man förutsatt att det direkta rivningsavfallet transporteras med strålskydd på ISO-containern vid höga dosrater. Alternativet är ATB-behållare.

Vissa typer av utrustning läggs inte i containrar. Det gäller dels högaktiva interndelar och dels större unika komponenter. I BWR kräver de interna delar som suttit närmast härden transport i härdkomponent-behållare. I PWR kräver även en del av rektortanksmaterialet denna typ av transport. Större unika komponenter såsom värmepåväxlare och tankar bedöms olämpliga att skära isär pga risken för aktivitetsspridning. Dessa ryms därmed inte i befintliga transportbehållare och kan lämpligen transporteras utan särskild förpackning.

En stor del av turbinsystemen, ca 3000 ton för O3, bedöms kunna friklassas efter enkel dekontaminering. Detta har inte tagits hänsyn till i denna studie.

Processavfall som uppstår i samband med rivningen antas bli ingjutet i kokiller av samma typ som används för driftavfall. Ca 100 kokiller per block bedöms uppstå. Dessa transporteras till SFR i ATB-behållare.

Under antagandet att inget aktivt avfall deponeras lokalt uppskattas det totala transportbehovet för de olika blocken enligt tabell 6.5.

Tabell 6.5 Transporter av rivningsavfall från de svenska kärnkraftverken uppdelat på olika typer av transportbehållare (ISO-cont har 15m<sup>3</sup> innervolym)

Block	ISO-Cont	ATB	Särskild transp.	Härdkomp-behållare
Barsebäck 1	298	6	38	56
Barsebäck 2	307	6	38	56
Forsmark 1	487	6	115	56
Forsmark 2	487	6	115	56
Forsmark 3	519	6	75	56
Oskarshamn 1	255	6	34	56
Oskarshamn 2	298	6	38	56
Oskarshamn 3	516	6	75	56
Ringhals 1	348	6	111	56
Ringhals 2	372	6	26	71
Ringhals 3	372	6	26	71
Ringhals 4	372	6	26	71
<b>Antal enheter inkl 10% för oförutsett</b>	<b>5 095</b>	<b>83</b>	<b>789</b>	<b>717</b>

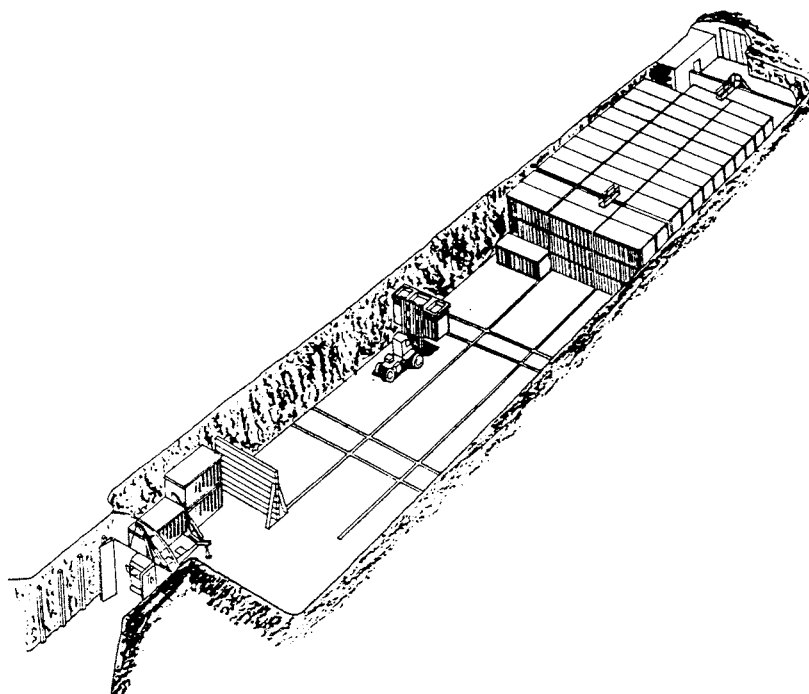
## 6.5 SLUTFÖRVARING AV RIVNINGSAVFALL

Huvuddelen av det radioaktiva rivningsavfallet planeras bli slutförvarat i anslutning till SFR, Slutförvaret för radioaktivt reaktoravfall, vid Forsmarks kärnkraftverk. SFR är byggt i berg på ca 50 meters djup. Det är placerat under havsbotten ca en kilometer utanför hamnen i Forsmark.

För rivningsavfall planeras en utbyggnad att ske, SFR 3. Denna antas bestå av fem bergssalar, se figur 2.2. Fyra av bergssalarna är avsedda för det lågaktiva rivningsavfallet, som transporteras till SFR i standard ISO-containers eller som stora komponenter utan förpackning. Containerarna kommer inte att öppnas i SFR, utan de kommer att deponeras som enheter. Inplacering av containerarna i slutförvaret sker med gaffeltruck, Se figur 6.2.

Den femte bergssalen är avsedd för medelaktivt avfall, som transporteras till SFR i ISO-containers med strålskärm. Denna bergssal innehåller en urlastningsposition, där transportbehållarna öppnas, samt ett antal betongtråg, i vilka avfallet placeras. Vid behov kan avfallet kringgjutats med betong i trågen.

Den totala mängden avfall från rivning av de svenska kärnkraftverken, som planeras bli deponerat i SFR är ca 144 000 m<sup>3</sup>.



Figur 6.2 Deponering av lågaktivt avfall i containers i SFR 3

Även de interna delarna kan deponeras i SFR. Detta kräver ett speciellt utrymme för urlastning med hänsyn till den höga strålnivån. Detta utrymme har inte studerats här. Alternativet att, efter några tiotal års mellanlagring i CLAB, deponera dem i anslutning till djupförvaret har förutsatts i denna studie. Detta alternativ finns beskrivet i ref 2.

En stor del av det lågaktiva avfallet kan alternativt, som nämnts, deponeras lokalt t ex i de delar av reaktoranläggningen som ligger under marknivån. Materialet täcks efter avslutad deponering med ett ca en meter tjock jordskikt.

Inaktivt avfall, som inte kan återanvändas, utnyttjas i första hand som utfyllnadsmaterial när kärnkraftområdet återställs. Överskott kan deponeras på normal byggtipp.



## 7 METODIK FÖR KOSTNADSBERÄKNING

### 7.1 ALLMÄNT

Vid kostnadsberäkningen har rivningsarbetet delats in i ett antal delområden enligt nedan:

- Avställnings- och servicedrift
- Systemrivning av BWR respektive PWR
- Byggnadsrivning och återställning

Detta kapitel ger en beskrivning av metodiken för beräkningarna för respektive delområde.

### 7.2 AVSTÄLLNINGS- OCH SERVICEDRIFT

I kostnaderna för avställnings- och servicedrift ingår kraftverksägarens personal från det att reaktorn ställs av tills den aktiva rivningen är genomförd. Som underlag för kostnadsberäkningen har personaluppskattningar gjorts utgående från dagens organisation. Uppskattningarna har gjorts utifrån en förenklad modell då det är svårt att idag gå in i detalj och beskriva organisationen efter avställning. Annan verksamhet på platsen, som skulle minska gemensamma kostnader, har inte krediterats i beräkningen.

Tre huvudfall vad gäller resursbehov har särskiljts:

1. Perioden från det att reaktorn tagits ur drift till dess allt bränsle borttransporterats.

Så länge bränsle finns kvar i blockets bränslebassänger krävs kontinuerligt skiftgående personal. Säker resteffektkylning upprätthålles, med samma krav som vid normala revisionsperioder för redundanta kylsystem, elmatningar samt aktivitets- och processövervakning. Under denna period görs även bl a systemdekontaminationer, radiologisk kartläggning av anläggningen, avfallshantering och rivningsplanering.

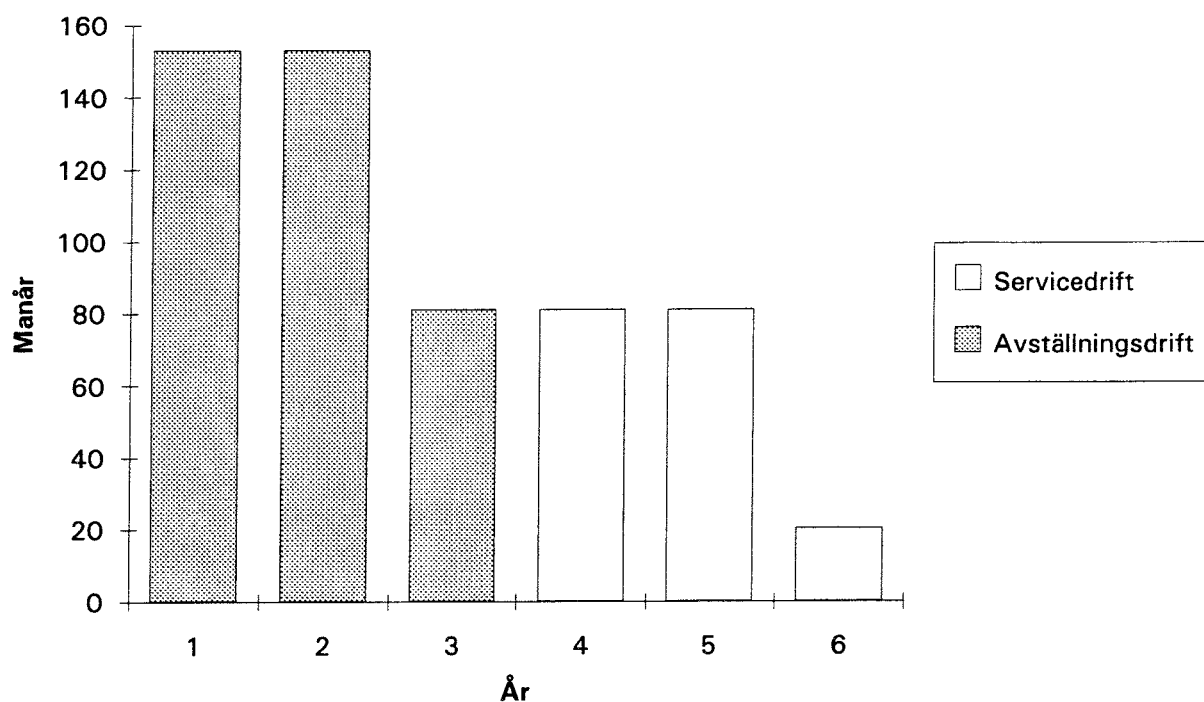
2. Perioden från det att bränslet är borttransporterat tills systemrivningen är avslutad.

Här finns bl a personal för drift och underhåll av erforderliga utrustningar och byggnader, avfallshantering samt planering och samordning av rivningsarbetet.

### 3. Under rivning av aktiva byggnadsdelar.

Under denna period antas personalbehovet minska ytterligare.

Två personaluppskattningar, för fall 1 och 2 ovan, har tagits fram för Ringhals utifrån en genomgång av nuvarande organisation (ref 4). För fall 3, dvs under den aktiva byggnadsrivningen, har en något grövre uppskattning gjorts. För övriga verk har bemanningen uppskattats utgående från Ringhalsverket. Figur 7.1 visar personalbehovet för de tre fallen ovan för Ringhals 2.



Figur 7.1 Resursbehov vid avställnings- och servicedrift för Ringhals 2.

### Avställningsdrift

Kostnader för avställningsdrift har tagits fram för två alternativ dels för en successiv avställning av reaktorerna och dels för en samtidig avställning. Alternativet vid samtidig avställning, se Figur 2.3, ger en betydligt längre avställningsperiod. Den successiva avställningen, se Figur 2.4, bygger på ett fall med lika lång drifttid för alla reaktorer. För reaktorer som är placerade nära varandra och som även kan ha vissa gemensamma system har antagits att rivningen inte påbörjas i det första blocket förrän bränslet transporterats bort från "tvillingblocket". Detta gäller exempelvis för Oskarshamn 1 och 2.

Då bränsle fortfarande finns kvar på blocket har kostnaderna beräknats enligt fall 1 ovan. För perioden efter borttransport av bränslet till dess att systemrivningen påbörjas utgår kostnaderna från fall 2 med en lägre bemanning.

Verkets gemensamma kostnader har fördelats lika på blocken. Den andel av de gemensamma kostnader som hör till avställt block har räknats till avställningsdriften även då andra block på verket är i drift. Principen har varit att från och med avställning skall samtliga kostnader för blocket kunna bäras av avfallsfonden.

### Servicedrift

Servicedriftens kostnader har beräknats utgående från fall 2 och 3 enligt ovan. För att undvika att funktioner dubbelräknas eller missas har en genomgång och samordning gjorts gentemot systemrivningen.

## 7.3 SYSTEMRIVNING

För systemrivningen har två studier gjorts, en för Oskarshamn 3, referensanläggning för BWR, och en för Ringhals 2, referensanläggning för PWR. Förutsättningarna för de två studierna har varit lika men olika metoder använts.

Reaktortanken har inte ingått i dessa studier utan denna har behandlats i en separat studie.

### 7.3.1 BWR

En omfattande studie har genomförts av ABB Atom för systemrivning av Oskarshamn 3 (ref 8). Studiens beräkningar av arbetsinsatser, materialmängder och aktiviteter bygger på två grundstenar:

- en databas över blockets system och komponenter
- 16 st arbetsprocedurer

Huvudparten av uppgifterna till studiens databas har hämtats från befintliga databaser. Olika databaser på ABB Atom och STAL har använts. En av anledningarna till att O3 valdes som referensanläggning var tillgången till dessa databaser. Manuell komplettering har gjorts när information inte funnits i datoriserad form, detta gäller exempelvis ventilation och reaktorns interna delar.

För beräkning av aktiviteter och dosrater har varje system som ingår i studien klassats som aktivt eller inaktivt. De aktiva systemen har sedan delats in i olika aktivitetskoder som i sin tur representerar olika aktivitetsnivåer.

Hela rivningsarbetet, från det att arbetsplatsen iordningsställs till att platsen kan överlämnas till byggnadsrivning, har delats upp i arbetsprocedurer. Totalt 16 olika procedurer har identifierats:

1. Iordningställande av arbetsplatser
2. Avisolering
3. Rördemontage
4. Transport av rivningsgods inom stationen
5. Avsökning av icke aktivt gods
6. Packning av aktivt rivningsgods
7. Rivning och transport av större komponenter och tankar
8. Ståldemontage
9. Hantering av rivningsgods utanför kontrollerat område
10. Rivning av kablar och kabelvägar
11. Ventilationsdemontage
12. Hantering av hårdkomponenter
13. Demontage av bassängplåt
14. Demontage av traverser
15. Demontage av elkomponenter
16. Demontage av turbinsträng

Varje procedur innehåller arbetsbeskrivning, erforderlig personalstyrka, verktyg samt tidsåtgång.

Materialmängder från databasen används som indata i beräkning av tidsåtgång. Exempelvis används för demontage av rör, procedur 3, rörtjocklek och längd. För beräkning av tidsåtgången har laboratorieförsök och uppskattningar legat till grund. För att kompensera för de besvärligare förhållande som kommer att råda i verkligheten har en besvärlighetsfaktor lagts på den ideala tiden. Faktorn skall kompensera för svårigheter i form av exempelvis trånga utrymmen, väntetider, gångtider och ombyten.

För att kalibrera procedurerna har en avstämning gjorts med planerings- och underhållspersonal i Oskarshamn med tillämpning på ett rum i O3.

Utifrån en uppsatt rivningslogik, där turordning för rivning av anläggningens system bestämts, och de tider som åtgår för rivningsprocedurerna har sedan en rivningstidsplan satts upp.

I beräkningen av systemrivningens kostnader har dessa delats in i tre kategorier: projektledning, rivningspersonal samt verktyg och förbrukningsmaterial.

Projektledningen består av en grupp på sju personer

- projektledare
- projektingenjör
- planerare
- ekonom

- inköpare
- metodstudieman
- administratör/löner/tidredovisning.

De beräknas behöva börja sitt arbete med planeringen av rivningsarbetet under ett år före starten av rivningen. Under rivningen leder de arbetet under de tre år processrivningen beräknas pågå. Därefter ska verksamheten avvecklas, såsom avslutning av entreprenader och redovisning och samordning med byggnadsrivningen, vilket bedöms ta ytterligare ett par månader.

Kostnaden för rivningspersonalen beräknas utgående från de i procedurerna framräknade tiderna. Personalen är uppdelad i olika personal-kategorier med skilda timkostnader. De nettotider som erhållits i datorbehandlingen justeras i planeringsstudien så att en utjämnad arbetsbelastning erhålls. Detta leder till något större insatser än de av datorn erhållna.

För varje procedur har åtgång av förbrukningsartiklar samt verktyg och deras förslitning beräknats. För maskiner har vi antagit att ett restvärde på 70% återstår efter rivningen, dvs 30% belastar varje block som rivs. Med hjälp av datorbehandlingens procedurtider får man den totala kostnaden för förbrukningsmaterial under rivningen.

Tillkommande kostnader som inte medräknats i processtudien utgörs huvudsakligen av:

- Kostnader för projektorganisation och drift av kavarvarande system redovisas under servicedrift.
- Kostnader för behållare för rivningsmaterialet har beräknats separat.

### 7.3.2 PWR

Systemrivning för PWR har studerats för Ringhals 2 (ref 6). Studien har genomförts av planerings- och underhållspersonal på Ringhalsverket. Rivningsarbetet delats upp i nio delprojekt enligt följande:

- 1 Generatordelen
- 2 Turbinplan
- 3 Turbinsystem
- 4 Mellanbyggnaden
- 5 Aktiv hjälpsystembyggnad
- 6 Inaktiv hjälpsystembyggnad
- 7 Filterbyggnad (PMR)
- 8 Bränslebyggnad
- 9 Containment

Delprojekten har bedömts var för sig. För varje delprojekt har ingående komponenter listats. En bedömning av resursåtgång för rivningsarbetet

har sedan gjorts för varje komponent. Till själva rivningsarbetet har sedan resurser för uppförande av provisorier, sanering, strålskydd, avisolering, ställningsbyggnation samt transport lagts till. I resursbehovet för arbete på kontrollerat område är tiden medräknad för skyddstekniskt tillstånd, omklädnad och långa gångavstånd.

Baserat på dessa deltidsplaner samt begränsningar med hänsyn till personsäkerhet och uttransport av material har en total tidsplan och resursmanställning för genomförandet av systemrivningen upprättats

### 7.3.3 Rivning av reaktortank

För sönderdelning av reaktortanken och dess interna delar har en separat studie genomförts av Siemens för Forsmark 1. Erfarenheter från rivning av interna delar i den belgiska BR-3-reaktor utnyttjats. Arbetet har delats in ett antal arbetssteg:

- Utveckling, testning och planering av metod och utrustning för sönderdelningen
- Installationer av utrustning
- Demontering och sönderdelning av de interna delarna
- Modifiering av arbetsplatsen för sönderdelning av reaktortanken
- Sönderdelning av reaktortank
- Avslutande arbeten såsom dekontaminering och nedmontering av utrustning

För varje arbetssteg har bedömningar vad gäller arbetsinsatser, personaldos, erforderliga verktyg och avfallsmängder gjorts

## 7.4 BYGGNADSRIVNING OCH ÅTERSTÄLLNING

En uppdatering har gjorts av tidigare studie över byggnadsrivning och återställning. Studien är gjord av Rivteknik AB och baseras på erfarenheter från rivning av R1-reaktor i Stockholm och en detaljerad studie för Barsebäcksverket. Kostnader för personal och maskiner har beräknats för rivning av byggnader och återställning av markområdet vid Barsebäck. Kostnaderna har sedan räknats om till SEK/m<sup>3</sup> betong med olika priser för betong med inducerad aktivitet, övrig kontaminerad betong och inaktiv betong. Dessa å-priser har sedan använts för beräkning av byggnadsrivning av de övriga kärnkraftverken.

## 8 TIDSPLAN OCH PERSONALBEHOV

### 8.1 ALLMÄNT

Rivningen påbörjas så snart allt bränsle har transporterats från blocket. Starttidpunkten är alltså beroende av hur snabbt bränslet kan transporteras till CLAB. Om hela transport- och mottagningskapaciteten vid CLAB reserveras för ett block skulle rivningen kunna inledas ca ett år efter avställning.

För att tidsplanen för rivningen skall bli så kort som möjligt, sker rivningsarbetet parallellt i olika delar i blocket. Tabell 8.1 beskriver den övergripande tidsplanen för rivning av Oskarshamn 3.

Tabell 8.1 Övergripande tidsplan för rivning av Oskarshamn 3

Skede	Arbetsuppgifter	Tidsperiod
Avställningsdrift	Borttag av bränsle Dekontaminering Förberedelse inför rivningsarbetet	1 - 2 år
Servicedrift	Övergripande planering drift av system	3 år
Systemrivning	Rivning av: - interna delar - reaktortanken - processystem	
Byggnadsrivning 1	Rivning av aktiv betong	
Byggnadsrivning 2	Rivning av inaktiv betong och återställning av platsen	2 år

## 8.2 AVSTÄLLNINGSDRIFT

För perioden efter avställning då bränsle fortfarande finns kvar i anläggningen bedöms personalbehovet vara ca 50 % av normal drift. Under denna period förutsätts kontinuerlig bemanning av blocket med skiftgående personal. Personalbehovet minskas ytterligare, till ca 25 % av normal drift, då bränslet borttransporterats. Avställningsdrift pågår tills rivning av anläggningen påbörjas.

Verksamheten under avställningsdriften domineras av bränslehantering och systemdekontaminering. En radiologisk kartläggning av system och byggnader görs under denna period samt löpande underhåll. I avställningsdriften ingår också den projektgrupp som ansvarar för den övergripande planeringen av rivningsarbetet. Projektgruppen består av ca tio personer.

## 8.3 SERVICEDRIFT

I servicedriften ingår personal från kraftverkets organisation under perioden för systemrivning och aktiv byggnadsrivning. I servicedriften ingår bl a övergripande planering, övervakning av tillträden till anläggningen, drift av anläggningens system före successiv avstängning, behandling av gods efter rivning process avfall under rivningen samt strålskydd.

Personalbehovet bedöms vara ca 25 % av normal drift i början av perioden. Vid rivning av aktiv betong kan kan ytterliga reducering av personalen göras.

## 8.4 SYSTEMRIVNING

Den turordning i vilken stationens system skall rivas bestäms av olika faktorer. Huvudinriktningen är att radioaktiva system rivs först.

De mest aktiva systemen är reaktorns interndelar och reaktortanken, som utgör första delen i rivningsschemat. Parallellt kan dock andra system rivas, t ex i turbinbyggnaden.

Vid bedömning av tidsplan och personalbehov har en total genomgång av de båda referensanläggningarna, O3 och R2, gjorts. Genomgången omfattar en rumsvis genomgång av system och utrustningar. Bedömningar har baserats på erfarenheter från normala revisionsarbeten samt större modifieringar och ombyggnader.



BWR

Nedan följer en sammanfattande beskrivning av hanteringsgången för systemrivning av en BWR.

- 1 Systemrivningen inleds med sönderdelning av reaktorns interndelar. Sönderdelningen sker under vatten i bassängerna, varför personaldosen blir minimal. Arbetet med interndelarna genomförs på ca fyra månader. Interndelarna förs sedan till CLAB.

Samtidigt påbörjas rivning av andra delar i stationen, t ex system i turbin-, generator- och hjälpsystemdelar. Installationer i wetwell kan också börja rivas. Arbetsställningar, renspolning och rivning av bassängplåten tar ca sex månader.

- 2 Bränslebassänger och reaktortank töms och rengörs.
- 3 Kyl- och reningssystem för bränslebassänger töms och bassängernas beklädnadsplåt tas bort när detta är lämpligt med hänsyn till andra verksamheter.
- 4 Samtliga stutsar på reaktortanken kapas. Tanken är nu fri för bortlyftning. Om den i stället ska sönderdelas, bör detta vänta tills reaktorinneslutningen har tömts på övrig utrustning.
- 5 Inneslutningens utrustning rivs. De mest radioaktiva delarna är rörsystemen för reaktorns reningskretsar. Dessa avlägsnas först varigenom aktivitetsnivån i inneslutningen reduceras till en nivå, som underlättar arbetet med övrig utrustning.

Sedan reaktortanken avlägsnats kan dess isolering och betongens kylplåt rivas. Arrangemanget med reaktortanksisolering skiljer mellan BWR-blocken.

- 6 Fortsatt rivning i utrymmen med radioaktiva system. Man behåller ordinarie ventilation så länge som möjligt så att ordinarie luftströmning genom anläggningen upprätthålls och utsläppsluften monitoreras med det vanliga driftsystemet. Även för hjälpkraft och belysning används i stor utsträckning den ursprungliga utrustningen. Successivt ersätts dessa hjälpfunktioner med provisorier. Det innebär att gruppen för iordningsställande av rummen återkommer flera gånger till utrymmena för ombyggnad av ställningar och för försörjningsarbeten.
- 7 Frånluftsystem i ventilation från radioaktiva utrymmen samt skorstensmoniteringen stängs av och rivs.
- 8 All annan utrustning rivs. Denna rivning kan till stora delar påbörjas parallellt med tidigare åtgärder.

- 9 Avfallsstationen behålls i drift så länge det finns radioaktivt material i anläggningen. Under processrivningen sänds alla skölvätskor och golvdränage från kontrollerat område samt filtermassor till avfallet för behandling på samma sätt som under verkets drift. Även under byggnadsrivningens första del då kontaminerat eller aktiverat material rivs ska avfallsanläggningen fungera för uppsamling och behandling av golvdränage och spolvätskor. Denna station rivs alltså som sista del av processen och därför behövs driftpersonal under hela processrivningen samt ytterligare några månader.

Den totala tiden för systemrivningen för O3 har bedömts till ca 3 år. Resursbehovet varierar under perioden för systemrivning och uppgår från entreprenören maximalt till ca 280 personer under ett par månader. Utöver detta finns personal för servicedrift under denna period. Dessa har bedömts till ca 90 personer per block.

### PWR

Rivningsplanen för ett PWR-block överensstämmer i stort med planen för ett BWR-block. Omfattningen av de aktiva systemen är dock mindre, eftersom turbinanläggningen är helt inaktiv för ett PWR-block. Bestämmande för tidsplanen är arbetet inne i reaktorinneslutningen.

Den totala tiden för rivningen har bedömts till ca 3 år, dvs lika som för O3. Möjligheter torde dock finnas att förkorta tiden.

## 8.5 BYGGNADSRIVNING

Byggnadsrivningen kan inledas när huvuddelen av den aktiva processutrustning inklusive reaktortanken avlägsnats.

Tiden för byggnadsrivningen, inklusive återställning av markområdet, har beräknats till 3 år. Under det första året rivs byggnadskonstruktioner med inducerad aktivitet, kontaminerade bassänginklädnader samt kontaminerad betong. När detta arbete är avslutat och radiologiska mätningar visar att all aktivitet har avlägsnats, kan dessa byggnader klassas som inaktiva och rivningen kan ske med konventionella metoder.

Byggnadsrivningen kommer att genomföras med stora entreprenadmaskiner, varför personalstyrkan kan hållas nere. Arbetskraftsbehovet uppgår till maximalt ca 40 man som inträffar under senare delen av rivningsperioden

Under det första året av byggnadsrivningen, vid rivning av aktiv betong, bedöms personalen för servicedrift till ca 20 personer per block. Under den konventionella byggnadsrivningen och återställningen bedöms inte någon servicedriftpersonal behövas.

## 8.6 DOS TILL PERSONAL

I O3-studien har ABB utfört beräkningar av personaldos för de olika arbetsmomenten vid rivning av processturustning. Den totala dosen under tre år har uppskattats till ca 12 manSv vid rivningsstart ett år efter avställning. Iordningsställande av rum och rivning av processrör står för en stor del av den totala dosbelastningen till rivningspersonalen. Möjlighet finns att sänka dosbelastningen med planering av arbetet och skärmning. Siemens har uppskattat den totala personaldosen för sönderdelning av reaktortank och interna delar till ca 2 manSv. Dosbelastningen vid de svenska kärnkraftverken har under perioden 1988-93 varierat mellan ca 1 och ca 6 manSv per block och år.

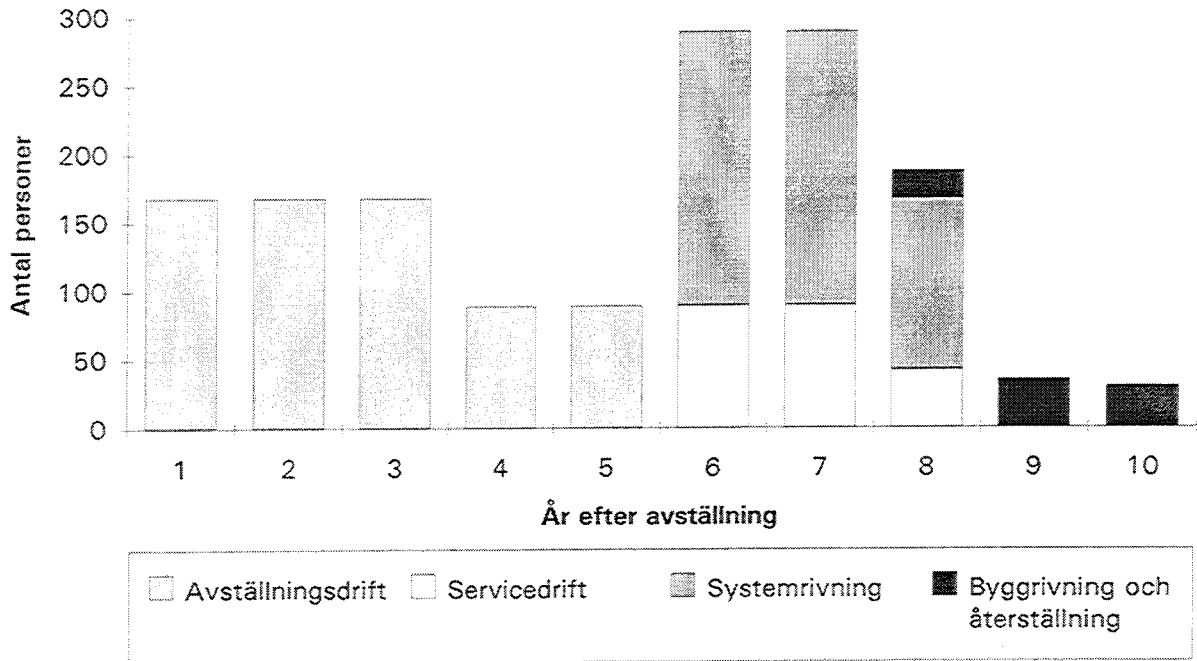
## 8.7 SAMMANSTÄLLNING

Tabell 8.2 visar resursbehov för rivning av Oskarshamn 3 och Ringhals 2 för de olika rivningsperioderna.

Tabell 8.2 Resursbehov för rivning av Oskarshamn 3 och Ringhals 2 för de olika rivningsperioderna.

Skede	Arbetsuppgifter	Antal manår	
		O3	R2
Avställningsdrift	Borttag av bränsle Dekontaminering Förberedelse inför rivningsarbetet	420	490
Servicedrift	Övergripande planering drift av system	200	180
Systemrivning	Rivning av: - interna delar - reaktortanken - processystem	640	410
Byggnadsrivning 1	Rivning av aktiv betong		
Byggnadsrivning 2	Rivning av inaktiv betong och återställning av platsen	80	60
<b>Summa antal manår</b>		<b>1 340</b>	<b>1 140</b>

Det totala resursbehovet för rivning av Oskarshamn 3, enligt den tidsplan för samtidig avställning som redovisas i figur 2.3, framgår av figur 8.1. Maximalt under rivningsperioden uppgår personalbehovet vid hela Oskarshamnsverket till ca 500 personer. Detta inkluderar projektgruppen, personal för avställnings- och servicedrift, systemrivare samt byggnadsrivare med arbetsledning.



Figur 8.1 Personalbehov vid rivning av Oskarshamn 3

## 9 KOSTNADER

### 9.1 ALLMÄNT

En sammanställning av de totala rivningskostnaderna för de svenska kärnkraftverken finns redovisade i Tabell 9.3. Kostnaderna redovisas i prisnivå januari 1994. Ett pålägg för oförutsett ingår med 25 % för kostnader för byggnadsrivning och 20 % för övriga kostnader. Kostnaderna utgörs huvudsakligen av mantid. I beräkningen används en årskostnad på 450 kSEK/manår, vari även ingår ett påslag för viss materialförbrukning.

Den övergripande planeringen av avställningen utförs av en projektgrupp som uttas av kraftverkets personal redan några år före avställningen. Detta förarbete räknas inte in i rivningskostnaden utan förutsätts ingå i verkets driftkostnader. Kostnader för projektgruppen efter avställningen ingår i avställnings- respektive servicedriften.

### 9.2 AVSTÄLLNINGSDRIFT

I kostnaderna för avställningsdrift ingår de åtgärder som behöver vidtas från det anläggningen tas ur drift till dess att det egentliga rivningsarbetet påbörjas. Personalbehovet för denna period baseras på bedömningar funktion för funktion utgående från driftorganisationen.

Kostnaderna för avställningsdriften är anläggningsspecifika och beroende av vilken övrig verksamhet som pågår på platsen. De totala kostnaderna för avställningsdriften beror också på vald tidsplan för verkens avställning samt start av rivning av enstaka block.

Kostnadsberäkningar har gjorts för fallen dels då samtliga reaktorer ställs av samtidigt (se figur 2.3) och dels vid en successiv avställning under en femårsperiod (se figur 2.4). För fallet med samtidig avställning förutsätts att rivningen av blocken på ett verk påbörjas med två års mellanrum. I Tabell 9.1 redovisas beräknade kostnader per anläggning för de två fallen. Då kostnaderna för olika block hänger ihop är det inte fruktbart att redovisa kostnaderna blockvis.

Tabell 9.1 Kostnader för avställningsdrift för samtidig och successiv avställning

Avställningsdrift	Samtidig avställning	Successiv avställning
Barsebäck	344	350
Forsmark	751	410
Oskarshamn	751	529
Ringhals	1 170	640
<b>Totalt</b>	<b>3 015</b>	<b>1 929</b>

### 9.3 SERVICEDRIFT

I kostnader för servicedrift ingår kraftverkets personal under perioden för systemrivning och aktiv byggnadsrivning. Häri ingår bl a övergripande planering, övervakning av tillträden till anläggningen, drift av anläggningens system före successiv avstängning, behandling av gods efter rivning process avfall under rivningen samt strålskydd. Kostnader för servicedriften redovisas i Tabell 9.2.

### 9.4 SYSTEMRIVNING

Kostnader för rivning av system, exklusive reaktortanken och dess interna delar, har beräknats dels för Oskarshamn 3 av ABB Atom och dels för Ringhals 2 av Ringhalsverket. Arbetet har antagits bli utfört av entreprenör.

Kostnaderna för arbetsinsatserna för Oskarshamn 3 har beräknats till 475 MSEK. Härtill kommer verktygsförbrukning och inhyrning av specialmaskiner. Kostnaden för maskinanskaffning har beräknats till 53 MSEK. Maskinerna kan användas för flera block. Efter rivningen antas därför ett restvärde på 37 MSEK. Nettokostnaden per block för maskinanskaffning blir då 16 MSEK. Verktygsförbrukningen har beräknats till 7 MSEK. Detta ger totalt 500 MSEK för systemrivningen av Oskarshamn 3.

För Ringhals 2 har systemrivningskostnaden bedömts till ca 280 MSEK.

Siemens har gjort en studie av rivning och sönderdelning av de interna delarna och reaktortanken i Forsmark 1. Kostnad för sönderdelning av de interna delarna har beräknats till 23 MSEK per block. Rivning och sönderdelning av reaktortankarna har beräknats till ca 50 MSEK per block.

Demontage och utlyft av hel reaktortank har också studerats. Kostnaderna för detta har bedömts till ca 15-20 MSEK för Forsmark 1 samt 20 MSEK för Ringhals 1 och Ringhals 3.

I kostnadssammanställningarna har alternativet sönderdelning av tanken redovisats.

## 9.5 BYGGNADSRIVNING

Kostnaderna för rivning av byggnadsdelarna har, liksom systemrivningen, beräknats som en entreprenad. Kostnadsdata har baserats på erfarenhetsvärden från tillfrågade entreprenörer och har uttryckts i åpriser. I dessa priser ingår utöver personalkostnader även kostnader för hyra av utrustning och maskiner. Kostnaden för byggnadsrivningen har beräknats till 223 MSEK för O3 och 153 MSEK för R2. I denna kostnad ingår även rivning av inaktiva byggnader som eventuellt inte behöver rivnas. I tabell 9.3 framgår kostnaderna för övriga reaktorblock.

## 9.6 SAMMANSTÄLLNING AV RIVNINGSKOSTNADER

I tabell 9.2 redovisas kostnaderna för rivning och avställningsdrift av de två referensanläggningarna, O3 och R2. Kostnaden för rivning av system i Oskarshamn 3 har översatts till övriga BWR-block. Översättningen har gjorts med hjälp av en viktning med hjälp av uppskattat resursbehov för varje utrustningstyp. Viktningen har gjorts utifrån en skillnader i storlek och konstruktion i de olika anläggningarna. För Ringhals 3 och 4 har samma kostnader använts som för referensanläggningen Ringhals 2.

Tabell 9.2 Kostnader för rivning och avställningsdrift för Oskarshamn 3 och Ringhals 2. Avställningsdriften är beräknad utifrån en samtidig avställning av kärnkraftverken.

	Oskarshamn 3	Ringhals 2
Servicedrift	121	113
Rivning av tank	52	51
Rivning av interndelar	23	23
Rivning av system	498	279
Byggnadsrivning	223	153
Avfallsbehållare	14	11
Transp och dep av inaktivt avfall	6	7
<b>Totalt rivning</b>	<b>937</b>	<b>637</b>

Tabell 9.3 visar en sammanställning av de totala rivningskostnaderna för de svenska kärnkraftverken uppdelat per block.

Tabell 9.3 Sammanställning av rivningskostnadererna för de svenska kärnkraftverken.

	B1	B2	F1	F2	F3	O1	O2	O3	R1	R2	R3	R4	Summa
Servicedrift	108	108	121	114	121	117	117	121	115	113	103	101	1 359
Rivning av tank	51	51	52	52	52	51	51	52	51	51	51	51	616
Rivning av interndelar	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	280
Rivning av system	316	316	483	483	498	289	316	498	387	279	279	279	4 424
Byggnadsrivning	124	147	179	170	242	103	129	223	146	153	158	169	1 942
Avfallsbehållare	7	8	13	13	14	6	7	14	9	11	11	11	121
Transp och dep av inaktivt avfall	4	4	6	6	6	4	4	6	5	7	7	7	66
<b>Totalt rivning</b>	<b>634</b>	<b>657</b>	<b>877</b>	<b>861</b>	<b>956</b>	<b>593</b>	<b>648</b>	<b>937</b>	<b>736</b>	<b>637</b>	<b>631</b>	<b>641</b>	<b>8 808</b>
<b>Avställningsdrift</b>	<b>344</b>		<b>751</b>			<b>751</b>			<b>1 170</b>				<b>3 015</b>

I tabellen finns kostnader för avfallsbehållare. ISO-containrarna med aktivt avfall deponeras i SFR 3. En kostnad för transport och deponering av inaktivt avfall från systemrivningen har tagits upp. Detta avfall antas läggas på en närliggande tipp.

## 9.7 TRANSPORT OCH SLUTFÖRVARING

Kostnaderna för transport och slutförvaring har inte beräknats i denna studie. Dessa kostnader redovisas separat i ref 2. Totalt för Sverige uppskattas transportkostnader för rivningsavfall exkl interndelar till ca 250 MSEK och slutförvaringskostnaderna till ca 730 MSEK. Uttryckt per reaktorblock blir det mellan 60 MSEK (för R2) och 100 MSEK (för O3).

## 9.8 RESTVÄRDE I REAKTORERNA

På anläggningarna finns det betydande mängder material och utrustning som kan försäljas i samband med att anläggningarna läggs ned och rivs. Det är dels reservdelar, rörmaterial, och standardmaskinelement som finns i förråd, dels verkstadsutsrustning, lyftutrustningar och elanläggningar (t ex dieslar) som använts men som fortfarande är i brukbart skick. Marken liksom den infrastruktur, som finns uppbyggd på platsen har också stort värde för annan industrietablering. I denna studie har man inte tagit hänsyn till några restvärden.



I kapitel 2 diskuterades effekterna av att senarelägga själva rivningsarbetet. Ett av huvudskälen till att senarelägga rivningen är att aktivitetsnivåerna minskar, vilket kan medföra att rivningsarbetet förenklas och dosbelastningen till rivningspersonalen minskas. Den nuklid som ger det största bidraget till dosbelastningen är  $^{60}\text{Co}$  med en halveringstid på ca 5 år. Genom att vänta i 40 år skulle dosraten minska till ca 0,5 % jämfört om rivningen inledes direkt efter avställningen och ingen dekontaminering av de mest kontaminerade systemen genomförs. Dekontaminering har konservativt bedömts kunna medföra en reduktion av dosraterna mellan 10-100 gånger.

Senarelagd rivning medför en rad nackdelar som måste vägas in i ett beslut om rivningstidpunkt. Förutom att personal med kännedom om anläggningen inte kommer att vara tillgänglig kan inte infrastruktur som finns på kraftverksplatsen utnyttjas för andra elproducerande enheter. Dessutom måste övervakning och begränsat underhåll ske under vänteperioden samt vissa system och utrustningar återställas i driftdueligt skick före rivningen påbörjas. I vissa fall kan det även vara aktuellt med att göra en helt ny etablering inom området.

Principerna vid senarelagd rivning kan sammanfattas enligt följande:

#### Bränslehantering

Borttagandet av bränsle sker på samma sätt som vid direkt rivning. Även borttransport av styrstavar och interna delar som kan finnas mellanlagrade bassängerna kommer att transporteras bort. Borttransport av bränslet från anläggningen är nödvändigt för att kunna reducera driftpersonalen vid anläggningen.

#### Dekontaminering och städning

Huvuddelen av de radioaktiva ämnen, som ger externdoser, kommer att ha avklingat till en mycket låg nivå, när rivningsarbete inleds. Det finns därför inga motiv för att genomföra systemdekontaminering vid detta scenario.

För att förhindra spridning av aktivitet under den långa övervakningsperioden sker efter avställning en noggrann städning av alla rum, samt

slamsugning och sanering av bassänger, tankar och pumpgropar. De interna delarna placeras i reaktortanken och reaktortankslocket skruvas fast. Bassängplåtarna behandlas om så erfordras med lämplig färg eller plast för att bland annat förhindra aktivitetsfrigörelse.

Kvarvarande radioaktivitet från driftperioden finns därefter i huvudsak i reaktortanken, som är tillsluten, och på inre ytor i olika systemdelar.

### Övervakningsperioden

En tillfredsställande övervakning av anläggningen kan erhållas dels genom automatiska larmordningar, dels genom regelbundna återkommande inspektioner. Larmen förutsätts kunna överföras till någon larmcentral. Exempel på larm är:

- \* hög nivå i pumpgropar
- \* obehörig öppning av ytterdörrar
- \* brand

Vid de regelbundet återkommande inspektionerna bedöms behovet av underhållsåtgärder.

### Iordningsställande av anläggningen inför rivningsarbetet

Vid detta scenario förutsätts att ingen verksamhet förekommer vid kraftstationen under väntetiden. Anläggningens servicelokaler i form av verkstäder, förråd, kontor, matsalar etc. underhålls ej och kommer inte att kunna användas vid genomförandet av rivningen, utan en omfattande renovering. Efter 40 års vänteperiod är det sannolikt att dessa funktioner får byggas upp på nytt.

Innan rivningsarbetet kan starta, måste därför arbetsplatsen iordningsställas med kontor, verkstäder, förråd, restaurang, förläggning, elkraft, vatten, avlopp etc.

### Systembehov under rivningen

De metoder och den teknik som förutsätts användas vid direkt rivning kommer att användas vid rivning efter 40 år.

På grund av de lägre stråldoserna inom anläggningen, kommer behovet av fjärrmanövrerad utrustning att minska. För reaktortanken och dess interna delar krävs dock alltså fjärrmanövrering under rivningsarbetet.

Risken för luftburen aktivitet och kontaminering av lokaler och personal i samband med nedkapning av aktiva system och apparatur kommer att finnas även efter 40 år. Rutiner för arbete med aktiv processutrustning måste därför följas. Erforderlig skyddsutrustning måste användas.

Avfallsmängderna vid den fördröjda rivningen bör minska med hänsyn till den avklingning som skett. Någon uppskattning av hur stor denna minskning blir har dock inte gjorts i denna studie.

### Kostnader

Någon uppskattning av kostnaderna för detta alternativ har ej genomförts bland annat med hänsyn till osäkerheter vad gäller förutsättningarna. Bland annat kommer kostnaden för väntetiden att vara starkt beroende av kraven på övervakning och underhåll samt service av anläggningen.

Innan rivningen påbörjas måste kontor, serviceanläggningar plus olika typer av försörjningssystem återställas. Denna kostnad är dels beroende av väntetidens längd, dels om kraftverksområdet varit helt övergivet under vänteperioden eller ej.

Kostnaden för själva rivningsarbetet bedöms inte minska i någon större omfattning, eftersom samma arbetsmetoder måste tillämpas, även efter 40 års väntetid.

## REFERENSER

- 1        Teknik och kostnader för rivning av svenska kärnkraftverk  
          SKB, maj 1986
- 2        PLAN 93 - Kostnader för kärnkraftens radioaktiva restprodukter  
          SKB, juni 1993
- 3        Arbetsprogram inom rivningsområdet  
          SKB AR 89-33
- 4        Avställnings- och servicedrift - metodik och resultat för kostnadsberäkning  
          Vattenfall AB, Ringhalsverket och SKB  
          SKB AR 94-29
- 5        Bäcklund E  
          Studie av byggnadsrivning av de svenska kärnkraftverken  
          Rivteknik AB  
          SKB AR 93-26
- 6        Johansson M  
          Rivningsstudie av processutrustning för PWR-anläggning - Ringhals 2  
          Vattenfall AB, Ringhalsverket  
          SKB AR 93-27
- 7        Persson H  
          Avfallshantering vid rivning av Ringhals 2  
          SKB AR 94-33
- 8        Rivning av processutrustning för Oskarshamn 3  
          ABB Atom AB
- 9        Kalderud B, Hildén A  
          Demontage, transport och deponering av hel rektortank, Etapp 2  
          (Forsmark 1)  
          Vattenfall Energisystem AB  
          BEK 29/91, augusti 1991
- 10      Stenberg T  
          Heltankstudie för Ringhals 1 och Ringhals 3  
          Vattenfall Energisystem AB  
          SKB AR 94-30
- 11      Menon S, Bjerler J  
          Utredning om smältning av kontaminerat skrot vid rivning av svenska  
          kärnkraftverk  
          SKB AR 94-31

- 12 Conceptual Study of the Dismantling of RPV and RPV-internals (Forsmark 1)  
Siemens (93-10-25)
- 13 International Co-operation on Decommissioning.  
Achievements of the NEA Co-operative Programme 1985-90  
OECD/NEA, Paris 1992
- 14 Lönnerberg B  
PLAN 93 - Härdkomponenter till SFL.  
Uppdatering av äldre studie.  
ABB Atom, R 93-08
- 15 Kontaminering - SSI-projekt  
ABB Atom  
RM 91/59
- 16 Verifiering av beräkningsmodell, betong  
ABB Atom AB  
RM 91/293
- 17 TVO Decommissioning Study  
March 1990
- 18 Waste from Decommissioning of NPP's  
Scandpower A/S  
Pr no 21.27.01, 1989-12-20
- 19 Aktivering härdkomponenter BWR  
Bilaga: Risö I-622, ABB Atom NTC 93-159  
RBT 0903/93
- 20 Aktivering härdkomponenter PWR  
Bilaga: Risö I-710  
RBT 0889/93
- 21 Höglund H, Sundberg H O  
Gammaspectrometriska mätningar på folier och cementprov vid Oskarshamn 1  
ABB Atom RM 89-1078 (1986-06-14)
- 22 Smith R I et al  
Technology, Safety and Costs of Decommissioning a Reference Pressurised Water Reactor  
NUREG/CR - 130
- 23 Lundgren K  
Decommissioning of Nuclear Reactors  
Methods for calculation of radioactive inventories in contaminated BWR systems (1991-04-26)

- 24        Aronsson P-O et al  
On-line Monitoring of Dose Rates and Surface Activity during the Cycle  
17 Shutdown of Ringhals 2, 1993  
Vattenfall AB, Ringhals (augusti 1993)
- 25        Elkert J  
Decommissioning of Nuclear Reactors  
Verification of a Calculation Model for Induced Activity in Structural  
Material  
ABB Atom RM 91-293 (1992-04-27)
- 26        Activity Inventory of Active Decommissioning Waste, Loviisa  
Report YJT 89-02, maj 1989
- 27        Rivning av Loviisa  
IVO  
YJT 87-20
- 28        Regulations for the Safe Transport of Radioactive Material  
1985 Edition, (As Amended 1990)  
IAEA, Safety Series No 6  
IAEA Vienna 1990
- 29        Statens Strålskyddsinstitutets föreskrifter avseende utförelse från zonindelade  
område.  
SSI FS 1989:3