

**R-04-44**

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

Gunnar Hedin, Börje Gustavsson  
Westinghouse Electric Sweden AB

Jan Carlsson  
Svensk Kärnbränslehantering AB

Juni 2004

**Svensk Kärnbränslehantering AB**

Swedish Nuclear Fuel  
and Waste Management Co  
Box 5864

SE-102 40 Stockholm Sweden

Tel 08-459 84 00  
+46 8 459 84 00

Fax 08-661 57 19  
+46 8 661 57 19



ISSN 1402-3091

SKB Rapport R-04-44

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

Gunnar Hedin, Börje Gustavsson  
Westinghouse Electric Sweden AB

Jan Carlsson  
Svensk Kärnbränslehantering AB

Juni 2004

# Sammanfattning

Svensk Kärnbränslehantering AB (SKB) har av de svenska kärnkraftbolagen fått i uppgift att studera och redovisa lämplig teknik samt göra en uppskattning av kostnaderna för avveckling och rivning av de svenska kärnkraftverken.

SKB har i tre tidigare studier (redovisade 1986 /1/, 1994 /2/ och 2000 /3/) gjort en bedömning av vid den tiden tillgänglig rivningsteknik och en ungefärlig kostnad för att genomföra rivningen. Föreliggande rapport redovisar en uppdatering av rapporten från 2000 med speciell tyngdpunkt på de områden som särskilt studerats sedan förra rapporten. Studerade områden har dokumenterats i olika referensrapporter. Rapporten ger också en bred översikt av det teknikkoncept som valts för rivning av de svenska reaktorerna.

I rapporten finns även en sammanställning av kostnaderna för rivning. Kostnaderna har här kompletteras med de nya uppgifter som tagits fram i detaljstudierna. De tidigare uppgifterna har indexuppräknats till aktuellt penningvärde.

Rapporten redogör även för vilka områden som ytterligare behöver kompletteras med detaljerade studier. Ett flertal av dessa studier har redan initierats.

# Contents

<b>1</b>	<b>Inledning</b>	<b>7</b>
<b>2</b>	<b>Program för avveckling av kärnkraftverken</b>	<b>9</b>
2.1	Allmänt	9
2.2	Avvecklingsscenario	9
2.2.1	Definitioner	9
2.2.3	Avvecklingsstart	10
2.3	Avställnings- och servicedrift	11
2.3.1	Avställningsdrift	11
2.3.2	Servicedrift	12
2.3.3	Kostnadspåverkan	14
<b>3</b>	<b>Förutsättningar</b>	<b>17</b>
3.1	Allmänt	17
3.2	Teknik	17
3.3	Aktivitetsinventarium	17
3.4	Friklassning, avfall och slutförvaring	19
3.4.1	Klassning av avfallet	19
3.4.2	Friklassning	20
3.4.3	Avfallsmängder	22
3.4.4	Slutförvaring	23
3.5	Anläggningsplatsen efter rivning	24
<b>4</b>	<b>Teknik</b>	<b>25</b>
4.1	Allmänt	25
4.2	Rivningsteknik	25
4.2.1	Rivning av processystem	26
4.2.2	Rivning av reaktortank och interndelar	30
4.2.3	Byggnadsrivning	36
4.2.4	Avfallshantering	38
4.2.5	Transporter	38
4.3	Erfarenheter från ombyggnader	40
4.3.1	Sönderdelning av interndelar	40
4.3.2	Rivning av elutrustning	44
4.4	Internationell kunskapsutveckling	46
4.5	Rivningsdatabasen	47
<b>5</b>	<b>Kostnader</b>	<b>49</b>
5.1	Allmänt	49
5.1.1	Kostnadsuppräknig	49
5.1.2	Förändrade kostnadsposter	49
5.2	Avställnings- och servicedrift	50
5.3	Rivningsdrift	53
5.4	Rivning av processystem	53
5.5	Byggnadsrivning	53
5.6	Sammanställning av rivningskostnader	54

5.7	Transport och slutförvaring	55
5.8	Restvärde i anläggningarna	55
<b>6</b>	<b>Utvecklingsområden</b>	<b>57</b>
6.1	Generellt	57
6.2	Rivningsdrift och återställande av mark	57
6.3	Byggnadsrivning	58
6.4	Hantering av reaktortank och interndelar	58
6.5	Sammanställning för BWR	58
6.6	Sammanställning för PWR	58
6.7	Dosuppskattning vid rivning	59
<b>7</b>	<b>Referenser</b>	<b>60</b>

# 1 Inledning

Enligt kärntekniklagen (SFS 1984:3) är kärnkraftföretagen ålagda att på ett nöjaktigt sätt visa hur ett kärnkraftverk efter det att verket inte längre är i drift på ett säkert sätt kan avvecklas och rivas. Vidare anges i finansieringslagen (SFS 1992:1537) att en reaktorinnehavare ska beräkna den uppskattade kostnaden för avveckling och rivning av kärnkraftverket.

Från myndighetshåll har under senare år föreskrifter tagits fram som påverkar hantering av avvecklings- och rivningsfrågor. Sålunda har t ex SSI lämnat föreskrifter om planering inför och under avveckling av kärntekniska anläggningar, SSI FS 2002:4. I föreskriften begärs bl a att olika tillvägagångssätt vid avveckling av kärntekniska anläggningar ska redovisas.

I ett förslag till revidering av SKI:s föreskrift SKI FS 1998:1 om säkerhet i vissa kärntekniska anläggningar föreslås att frågor som rör avveckling och rivning ska införlivas i föreskriften (för närvarande är den reviderade föreskriften ännu inte beslutad).

Svensk Kärnbränslehantering AB (SKB) har av de svenska kärnkraftbolagen fått i uppgift att uppfylla gällande lag genom att studera och redovisa lämplig teknik samt göra en total kostnadsuppskattning för avveckling och rivning av kärnkraftverken.

SKB har i tre tidigare studier (redovisade 1986 /1/, 1994 /2/ och 2000 /3/) gjort en bedömning av vid den tiden tillgänglig rivningsteknik och en ungefärlig kostnad för att genomföra rivningen. Föreliggande rapport ”Teknik och kostnader för rivning av svenska kärnkraftverk, juni 2004” redovisar en uppdatering av rapporten från 2000 med speciell tyngdpunkt på de områden som särskilt studerats sedan förra rapporten.

Redan i 1994 års rapport /2/ konstaterades att befintlig teknik är lämplig och fullt tillräcklig för att genomföra rivningen på ett säkert och effektivt sätt. Bedömningen är att teknikutvecklingen kommer att successivt pågå men att det inte kommer att radikalt inverka på det rivningskoncept som tidigare utarbetats. De insatser som gjorts sedan föregående sammanställningsrapport har koncentrerats på att bättre underbygga teknikval och därtill hörande kostnadsbild för de olika delar som omfattas av ett storskaligt avvecklings- och rivningsprojekt.

## **2 Program för avveckling av kärnkraftverken**

### **2.1 Allmänt**

Planeringen för avveckling av de svenska kärnkraftsreaktorerna byggde tidigare på att samtliga verk är i drift fram till och med år 2010. Detta scenario har kunnat lämnas genom den sk energiuppgörelsen (SFS 1997:1320). En planering baserad på realistiska drifttider (40–60 år) för reaktorerna kan fortsättningsvis tillämpas. I övrigt påverkas planeringen av att Barsebäck 1 redan ställts av men där hänsyn måste tas till att dess tvillingreaktor Barsebäck 2 drivs vidare. Något beslut om avveckling av den senare finns inte.

Tidigare gjorda kostnadsberäkningar har baserats på att samtliga verk börjar rivas snarast efter avställning. Rivningsstarten var tidigare satt till år 2010 men numera är avställningstidpunkten mer realistiskt satt till att motsvara verkets tekniska livslängd. Fördelen med att påbörja rivningen i direkt anslutning till avställningen baseras på att det då finns tillgång till infrastruktur och anläggningskunnig personal vilket gör att en kostnadseffektiv och säker rivning underlättas. Det är i nuläget oklart hur nya driftförutsättningar kommer att påverka strategi och tidsplanering för rivningen av verken. Detaljplanering svarar kraftverksägarna för medan SKB genomför generella studier för att ge underlag till kostnadsberäkningar för rivning och avfallshantering.

### **2.2 Avvecklingsscenario**

#### **2.2.1 Definitioner**

Följande definitioner används för att beteckna drift av ett reaktorblock i samband med avställning:

##### **1. Avställningsdrift**

Perioden från det att blocket ställs av slutgiltigt tills allt bränsle transporterats bort från blocket.

##### **2. Servicedrift**

Servicedriften inleds när allt bränsle är borttransporterat från blocket och varar fram till dess att en mer omfattande rivning av processsystem och anläggningsdelar påbörjas.

##### **3. Återetableringsdrift**

Återetableringsdrift kan tillämpas då blocket förbereds för rivning, speciellt efter en längre tids servicedrift. Detta innebär att man ser över och uppgraderar de processsystem m m som skall användas under rivningsdriften, Det kan vara hissar, traverser, vatten, tryckluft, elmatning eller ventilationssystem.

I fallet med kort servicedrift är behovet av återetablering begränsat, eftersom processystemen inte tillåts degradera utan underhålls i full omfattning under den korta tid som servicedrift pågår. En viss återetablering kan ändå vara aktuell, för att anpassa vissa system för rivningen.

#### **4. Rivningsdrift**

Rivningsdrift avser blockets drift under perioden från att den fysiska rivningen startar tills hela blocket är friklassat.

#### **5. Återställande av platsen**

Denna period omfattar konventionell byggnadsrivning och återställning av marken.

Ovanstående faser kan pågå parallellt inom samma reaktorblock för olika anläggningsdelar.

### **2.2.3 Avvecklingsstart**

En särskild studie har gjorts där ett dimensionerande flöde av avfall till slutförvaret för rivningsavfall försökte fastställas /4/. För att göra detta ställdes ett antal kriterier upp. En väsentlig sådan var det fundamentala antagandet att reaktorerna ställdes av när de tekniskt tjänat ut. Den tekniska livslängden antogs vara samma för alla block och sattes till 40 år. Det som gör detta osäkert är att ett flertal reaktorblock har undergått och kommer att undergå livslängdsökande moderniseringar. I tabell 2-1 redovisas de år när de svenska reaktorerna började producera kraft till nätet samt de år när de uppnår en ålder på 40 år.

Ett annat viktigt kriterium för att rivningen ska kunna starta är att slutförvaret för kortlivat rivningsavfall är tillgängligt för att ta emot det avfall som produceras när rivningen startar, utan att något temporärt mellanförvar behöver upprättas. För långlivat rivningsavfall ska dock ett mellanlager vara tillgängligt.

De svenska kärnkraftsverken är lokaliserade så att det finns 2–4 block per anläggningsplats. Inget av dessa block är helt fristående, utan är mer eller mindre beroende av funktioner som placerats på något annat block alternativt gemensamma funktioner placerade i separata byggnader. Hänsyn måste tas till detta vid rivningsplaneringen, så att en rivning på ett block inte medför någon negativ drifts- eller säkerhetspåverkan på övriga block som är i drift.

Det förmodas därför att någon rivning på ett block med nära anknytning till ett annat inte bör starta innan bränslet avlägsnats från ”tvillingblocket”. Detta tillämpas för Barsebäck 1 och 2, Forsmark 1 och 2, Oskarshamn 1 och 2, Ringhals 1 och 2 samt Ringhals 3 och 4. Gemensamma funktioner mellan blocken är främst funktioner som kylvattenintag, produktion av avsaltat vatten, avfallsbehandling etc. I många fall är dessa system lokaliserade till separata byggnader. Detta samband bör kunna hanteras administrativt genom att rivningsordningen anpassas till behovet av att utnyttja dessa funktioner.

En period av servicedrift är därför trolig för de block där starten av rivningsdriften avvaktar avställningsdriften på ett närliggande block.



**Tabell 2-1. Årtal när blockens drift startade respektive uppnår 40 år.**

<b>Block</b>	<b>Kommersiell drift</b>	<b>40 års drift</b>
Barsebäck 1	1975	Redan avställd
Oskarshamn 1	1972	2012
Oskarshamn 2	1975	2015
Ringhals 2	1975	2015
Ringhals 1	1976	2016
Barsebäck 2	1977	2017
Forsmark 1	1980	2020
Forsmark 2	1981	2021
Ringhals 3	1981	2021
Ringhals 4	1983	2023
Oskarshamn 3	1985	2025
Forsmark 3	1985	2025

Det antas också att rivningen av fler block på samma anläggningsplats inte startas samtidigt, utan det förutsätts en tids mellanrum för att jämna ut beläggning och hinna få erfarenheter från rivningsarbetet vid det ena blocket innan samma arbetsmoment praktiseras på det andra.

För nya anläggningar ingår att planera för den framtida avvecklingen redan vid konstruktionsstadiet. Detta gäller t ex för SKB:s planerade inkapslingsanläggning för använt kärnbränsle. För anläggningar i drift ska en aktuell avvecklingsplanering finnas. I denna planering ska bl a redovisas tänkbara principer och metoder för avvecklingen och rivningen av kärnkraftverken. Inför den slutliga avställningen ska även val av metod för avvecklingen göras. SKB har tillsammans med kraftbolagen utarbetat gemensamma riktlinjer för hur planeringen kan genomföras och vad den ska innehålla för att uppfylla ställda krav i t ex SSI FS 2002:4.

## **2.3 Avställnings- och servicedrift**

Hur avställningsdrift och servicedrift förväntas ske på svenska kraftverksblock har studerats i en särskild utredning /5/. I studien beskrivs vad som behövs för att upprätthålla nödvändig verksamhet på det nedlagda blocket i form av bemanning, drift, underhåll, administration samt vilka projekt som erfordras för att förbereda inför rivning.

### **2.3.1 Avställningsdrift**

Den primära åtgärden under denna inledningsfas i avvecklingen är att transportera bort allt bränslet, så att anläggningen blir fri från klyvbart material. Under avställningsdriften ställs bränslet i bränslebassänger och står där under ca ett år för avsvaivning innan det kan skickas till CLAB. Avställningsdriftens längd är därför också beroende av kapaciteten för transportsystemet för utbränt bränsle och mottagningskapaciteten för utbränt bränsle i CLAB. Parallellt med borttransport av bränsle påbörjas omställningen av blocket och de projekt som ska ligga till grund för en framtida rivning.

Under avställningsdriften gäller bemanning som motsvarar ett kärnkraftverk som är kallt avställt med kontinuerlig övervakning. Generellt kan sägas att skiftet består av minst tre personer, varav en skiftingsenjör, en kontrollrumsingenjör och en som rondderar på blocket.

Under avställningsdriften sker periodiska provningar av processsystem i mindre omfattning än vid kraftproduktionsdrift och inriktar sig i huvudsak på bränslekylsystem, brandskyddssystem, ventilation och elkraftsförsörjning. Anläggningsdelar och processsystem som inte används och som inte skall användas i framtiden, tas ur drift och bortkopplas mekaniskt och/eller elektriskt. En plan skapas före servicedriften, där det beskrivs hur man successivt bortkopplar processsystem, objekt och komponenter från sin elförsörjning och hur märkning ska ske för utrustning som är permanent bortkopplad. Dessa bortkopplingsplaner bör vara framtagna när man går in i servicedriften.

En utredning som syftar till att kartlägga radioaktiviteten på blocket och beräkna mängden av radioaktivt och icke-radioaktivt material initieras. De delar av kartläggningen som utgör underlag för bestämning av dekontamineringsbehovet bör vara klart innan servicedriften inleds.

Under tiden bränsle transporteras bort, påbörjas en inventering av kvarvarande radioaktivt material i bassänger och reaktortank. Inventeringen syftar till att ta hand om och transportera övrigt radioaktivt material till förvar utanför anläggningen. Styrstavar och sonder prioriteras eftersom de bidrar till en högre strålningsnivå.

Ett flertal uppgifter som exempelvis avvecklingsplanering och överförandet av väsentlig anläggningsdokumentation till ett särskilt rivningsarkiv bör påbörjas innan reaktorn har ställts av. Avvecklingsplanernas detaljnivå bör sedan öka ju närmare man kommer den faktiska rivningen. Drift- och administrativa instruktioner inför servicedriftsskedet klarställs dock i god tid innan servicedriften inleds.

### **2.3.2 Servicedrift**

Under servicedriften fortsätter en noggrann utredning om vilka processsystem som skall underhållas, konserveras eller som kan tillåtas degraderas inför återetablering och rivning. System som förväntas vara nödvändiga vid den framtida rivningen, men inte i servicedriften, konserveras.

För att inte behöva ha kontinuerlig övervakning kan ett samlingslarm kopplas till en telefon som alltid bärs av personal som har beredskap. Kompletteras detta med tjänster från ett vaktbolag med ronderingsrutiner så kan en tillfredsställande övervakning etableras.

Vid en kort servicedriftsperiod behålls lämpligen vatten både i tank och i reaktor-bassäng som under en kall avställning för bränslebyte. Vid längre servicedrift måste man ta ställning till om reaktortankklocket skall läggas på och bassänger och tank tömmas på vatten. Syftet skulle vara att minska behov av övervakning och risk för läckage. Om reaktortanken och bassängerna tömts på vatten, så måste dessa avtätas och återfyllas då rivning skall påbörjas, om vald sönderdelningsmetod för reaktortanken och interndelarna kräver vattentäckning.

Tömda bassänger måste rengöras så att det inte uppstår någon risk för luftburen aktivitet.

Under servicedriftsperioden fortsätter arbetet med att ta fram avvecklingsplaner som påbörjades i avställningsdriften. En miljökonsekvensbeskrivning måste också tas fram och godkännas av aktuella myndigheter innan rivningen kan inledas.

Projekt som startades redan under avställningsdriften avslutas inför övergången till rivningsdrift, exempelvis kartläggningen av radioaktiviteten på blocket och inventeringen av relevant anläggningsdokumentationen samt genomgång av specifika händelser som har ägt rum under verkets drift och som kan ha betydelse för kommande rivningsarbete.

Om återetableringsdrift förutsätts före rivningsdriften, viker man till vid lång servicedrift, så avslutas framtagning av drift- och administrativa instruktioner innan återetableringsdrift inleds.

Under servicedriften måste de anläggningsdelar, processsystem och objekt som ska användas även vid rivningen, fortlöpande underhållas och besiktigas. Det finns ett mycket stort ekonomiskt värde i att planera rätt inför en rivning, exempelvis att processsystemen är rätt dimensionerade för sin uppgift och att nyinstallation jämförs med befintliga processsystem underhållskostnader.

Vid en rivning måste ett urval av de processsystem som finns representerade i ett kärnkraftverk vara tillgängliga, exempelvis:

- *Elkraftsförsörjning* är naturligtvis en vital funktion att ha tillgång till under ett rivningsskede. Detta kan lösas på olika sätt, antingen användes det befintliga elsystemet i reducerad omfattning eller så skapar man ett nytt med egen inmatning och egna ställverk. Förmodligen använder man befintliga matningar fram tills det är dags att riva ställverken.
- *Tryckluft, vatten, avlopp och uppvärmning* är andra viktiga system som skall fungera under rivningen. Dessa system kan sektioneras så att endast de delar man har behov av under driften fram till rivning används. Tryckluft från befintliga kompressorer kan användas men måste vägas mot servicekostnader eller mobila aggregat. Vattenledningsnätet kan till rimliga kostnader bibehållas. Dessutom kan det skalas av så att endast huvudstammar blir kvar, varifrån kopplingar och slangar monteras vid behov. Avlopp är i byggnaderna ofta i PVC och kan underhållas till en relativt låg kostnad. De avloppssystem som är utförda i metall kan efterhand som fel uppstår bytas ut till PVC. Uppvärmning och belysning är en stor kostnad som kan reduceras genom att sänka temperaturen i byggnaderna och komplettera med mobila värmare om något större arbete skall utföras. I ett sent rivningsskede då dessa system skall rivas, måste det skapas provisoriska matningar från mobila enheter.
- *Ventilationssystemen* kommer det att finnas krav på så länge byggnaderna inte är friklassade. Det krävs att eventuell luftburen radioaktivitet kan tas omhand via filter och att det hålls undertryck i reaktor- och turbinbyggnaden även under rivningsarbetet. Troligt är att ventilationssystemen byggs om och anpassas efterhand som utrymmen friklassas.

- *Traverser, hissar och lyftverktyg* är nödvändig utrustning som besiktigas av behörig myndighet. Antingen måste utrustningen underhållas fortlöpande eller tillåtas degradera för att sedan uppgraderas inför rivningen av blocket.
- *Reningsystem* för reaktor och hanteringbassänger är viktiga om det beslutas att kapa eller bearbeta radioaktiva interndelar eller annan radioaktiv utrustning i bassängerna. Vattenkvaliteten bibehåller man genom att använda jonbytarfilter, med möjlighet att fånga upp partiklar. Punktinsatser vid kapning kan göras med vattenslagsugare där man samlar upp spånor och sliprester. Mobila system kan med fördel ersätta befintliga.
- *Brandskyddssystem* med larm och bekämpningsutrustning måste under alla driftfaser och även vid rivningen vara av mycket hög kvalitet. Behovet av driftklarhet på blocket ökar vid den framtida rivningen beroende på aktiviteter som kapning.
- *Kommunikationssystem* måste finnas under rivningen. Är det befintliga systemet i god kondition kan det användas, annars finns det idag enkla mobila lösningar.
- *Aktivitetsövervakningssystem* är ett krav fram tills att blocket är friklassat. De befintliga processystemen för övervakning av skorstensradioaktivitet och övervakning av radioaktivitet i vissa utrymmen kan användas men kräver underhåll. Anpassning av befintligt system sker löpande. Komplettering kan ske med mobila mätstationer som placeras i de utrymmen som för tillfället är föremål för rivning.
- *Larmsystem* krävs som övervakar nivåer, läckage, radioaktivitet, brand och temperaturer i övriga driftsatta anläggningsutrustningar. Befintligt larmsystem kan användas men i mycket reducerad omfattning.

Det bör tidigt beslutas om vilka processystem som ska vidmakthållas och vilka som kan låtas degradera för att under rivningen ersättas av nya processystemlösningar.

### 2.3.3 Kostnadspåverkan

En längre servicedriftsperiod påverkar kostnadsbilden på flera områden. En väsentlig faktor är att de stora kostnaderna, dvs för de fysiska rivningsinsatserna, kommer vid en senare tidpunkt vilket påverkar finansieringen. En annan konsekvens är att dosraterna minskar, då radioaktiviteten minskar med halveringstider och aktivt material blir mer hanterbart. Miljömässigt kan det vara en fördel att vänta 15–20 år. Detta på grund av att avfallsproducerande dekontamineringsprocesser kan minimeras.

Lång tid för avklingning av aktivitet medför vidare att manuella kapningsmetoder kan användas i större omfattning, vilket är billigare än att utföra rivning med hjälp av robotstyrda system. Vid bedömning av lämplig metod bör dosbelastningen på rivningspersonalen beaktas.

Likaså kan en längre period av utveckling och verifikation av rivningstekniken medföra sänkta kostnader.

En längre servicedriftsperiod medför dock extra driftkostnader. Men med en hög grad av bortkopplingar och konservering, dvs med så liten personal som möjligt för nödvändigt underhåll, så kan dessa kostnader hållas på en låg nivå. Dock innebär det att serviceutrustning som inte har underhållits inte kan förväntas vara tillgängliga när rivningen sedan ska genomföras.

En kort servicedriftperiod på 2–5 år medför generellt sett högre dosbelastningar men innebär också att den totala avvecklingstiden minskas så att byggnader och markområdet tidigare kan återställas och nyttjas till annat.

Sammantaget finns det idag inte tillräckligt med underlag för att ur kostnadssynpunkt förorda en viss rivningstidsplan, samt därigenom motivera en förändring i kostnadsunderlaget. För detta krävs en fördjupad kostnadsanalys.

## 3 Förutsättningar

### 3.1 Allmänt

I detta kapitel redogörs för förutsättningar av olika slag som påverkar inriktning, utförande och kostnader för det svenska rivningsprogrammet.

### 3.2 Teknik

Generellt kan sägas att det finns en stor och snabbt växande kunskap och kompetens när det gäller att avveckla och riva kärnkraftverk. Totalt i världen har över 70 kommersiella kärnkraftverk slutgiltigt ställts av, och mer än 250 forskningsreaktorer och kärntechniska anläggningar stängts. Av dessa har många helt nedmonterats och allt fler av de avställda reaktorerna har börjat rivs vilket har gjort att olika rivningstekniker har kunnat provas och utvärderas i praktiken.

I Sverige har forskningsreaktorn R1 i Stockholm helt monterats ner medan Ågestareaktorn och Barsebäck 1 har överförs i ett läge med servicedrift inför den slutliga rivningen. Dessutom följer SKB den internationella utvecklingen genom deltagande i det internationella OECD/NEA-samarbetet inom avveckling och rivning av kärnkraftverk, varigenom erfarenheterna återförs till den svenska rivningsplaneringen.

### 3.3 Aktivitetsinventarium

Bedömningen är att situationen beträffande aktivitetsinventariet på kraftverken inte i väsentlig grad har förändrats sedan tidigare gjorda studier. Drift och underhåll av verken har snarare gjort att den radiologiska situationen på verken generellt sett förbättrats eller gjorda och planerade åtgärder kommer att förbättra situationen till en nivå som är bättre än den antagna i 1994 års studie. De konstateranden som gjordes i /2/ anses därför tillfyllest och den radiologiska situationen har inte ytterligare studerats. Exempel på beräknade och bedömda värden för radioaktiviteten i olika komponenter och system i Oskarshamn 3 och Ringhals 2 ges i tabellerna 3-1 – 3-4 /2/. I vissa av tabeller anges endast  $^{60}\text{Co}$  med motivet att denna nuklid dominerar doserna under de första decennierna efter en avställning.

**Tabell 3-1. Aktivitetsinnehåll (inducerad och i ytbeläggningar, s k crud) i reaktortank och interna delar vid Oskarshamn 3:s reaktor efter 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	770		$2,0 \cdot 10^{13}$

**Tabell 3-2. Aktivitetsinnehåll i några system vid Oskarshamn 3.**

System	Dosrat [ $\mu\text{Sv/h}$ ]	Aktivitets-koncentration [ $\text{Bq/m}^2 \text{ }^{60}\text{Co}$ ]	Aktivitet [ $\text{Bq } ^{60}\text{Co}$ ]
Huvudångledning	20	$1,1 \cdot 10^8$	$8,2 \cdot 10^{10}$
Matarvattensystem	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 avställd reaktor	650	$4,0 \cdot 10^9$	$3,3 \cdot 10^{11}$
Reningssystem för reaktorvatten	410	$2,5 \cdot 10^9$	$7,3 \cdot 10^{10}$

**Tabell 3-3. Gammaaktivitet i olika systemdelar (1993) Ringhals 2.**

Systemdel	Area [m <sup>2</sup> ]	Aktivitetskoncentration [Bq/m <sup>2</sup> <sup>60</sup> Co]	Aktivitet [Bq <sup>60</sup> Co]
Tubyta i ånggenerator	15 315	4,7·10 <sup>8</sup>	7,2·10 <sup>12</sup>
Rostfri yta	2 240	1,4·10 <sup>10</sup>	3,1·10 <sup>13</sup>
Summa			3,8·10 <sup>13</sup>

**Tabell 3-4. PWR. Ytaktivitet i olika system.**

System	Yta [m <sup>2</sup> ]	Aktivitetskoncentration [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>
Tryckhållningstank	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>

## 3.4 Friklassning, avfall och slutförvaring

### 3.4.1 Klassning av avfallet

För omhändertagandet av rivningsgodset är direkt friklassning, dvs godset betraktas inte längre som radioaktivt material, den ena ytterligheten medan det bergförlagda slutförvaret för rivningsavfall är den andra. Däremellan finns ett antal andra tänkbara möjligheter, beroende på aktivitetsnivå och andra förutsättningar, som bör beaktas. En sådan är smältning, med eller utan efterföljande mellanlagring, för det gods som har en kontaminationsnivå som ligger något över det direkt friklassningsbara. En annan möjlighet är markförvar, som kan utgöra ett alternativ för gods med ett aktivitetsinnehåll som inte fullt ut motiverar placering i det mer avancerade slutförvaret. Markförvaring av radioaktivt avfall ingår för närvarande inte i de generella rivningsstudier som SKB genomför.



Exempel på vad som gäller avseende klassificering av avfallsgods kan vara enligt följande, utifrån vilka gränser som gäller för de olika alternativen:

- Friklassning < 500 Bq/kg
- Deponering på tipp < 5 000 Bq/kg
- Smältning och mellanförvar < ca 25 000 Bq/kg
- Markdeponering < 300 000 Bq/kg
- SFR-1 > 300 000 Bq/kg

Även andra begränsningar finns, exempelvis gäller för friklassning även en begränsning av ytaktiviteten på maximalt 40 kBq/m<sup>2</sup>.

Motsvarande gränsvärden för rivningsavfall finns ännu inte.

### 3.4.2 Friklassning

Friklassningsprocessen för rivningsavfallet kommer att vara ett viktigt och omfattande led i rivningsarbetet, men den har endast hanterats översiktligt i föregående rivningsstudier. Den föregående rapporten /3/ uppskattar den mängd rivningsavfall som, utöver byggnadsavfallet, är direkt friklassningsbart till ca 92 000 ton för samtliga reaktorer. Denna mängd kan dessutom öka beroende på gällande friklassningsgränser och möjlighet till mellanlagring för avklingning.

Förutsättningarna för friklassning av rivningsavfall från svenska anläggningar är idag inte fastställda. Orsaken är att den befintliga föreskriften för friklassning inte avser en storskalig rivningssituation (möjligen kommer nivån 500 Bq/kg (beta/gamma) för friklassning att ändras för större volymer) och att SSI har för avsikt att utarbeta en ny föreskrift där internationella normer sannolikt beaktas. SSI har genomfört en studie /6/ av konsekvenserna om EU:s föreslagna system skulle introduceras i Sverige. Detta system bygger inte på summaaktiviteten som dagens svenska föreskrift utan tar hänsyn till nuklidsammansättningen. Ett gränsvärde fastställs för varje signifikant nuklid varefter summan av kvoterna mellan aktiviteten för aktuell nuklid och dess gränsvärde ska vara mindre än 1. Detta gränsvärde är t ex 1 000 Bq/kg för nuklider som Mn-54, Co-60, Zn-65 och Cs-137 för metallskrotsåtervinning.

Data för Oskarshamn 3 har använts för uppskattningar av hur ett förändrat gränsvärde kan påverka de friklassade mängderna. Total mängd radioaktivt systemavfall (skrotad processutrustning) från rivning av Oskarshamn 3 uppskattas till 6 040 ton. Total mängd icke-radioaktivt (friklassningsbart) systemavfall uppskattas till 7 830 ton. Om det antas att Co-60 är den dominerande nukliden, så ger en användning av EU:s friklassningsgräns på 1 Bq/g för Co-60 i skrot för återvinning att ytterligare 213 ton material kan friklassas. Den radioaktiva systemavfallsmängden kan alltså minska till ca 5 800 ton. Sammanräknat för samtliga 12 kärnkraftsblock i Sverige skulle ytterligare 1 808 ton material kunna friklassas om EU:s friklassningsgräns på 1 Bq/g för Co-60 praktiseras, utöver de mängder som redan antas friklassningsbara.

Om man istället använder friklassningsgränsen  $1 \text{ Bq/cm}^2$  som gäller för återanvändning av komponenter, så skulle 70 ton material (av de 6 040 ton som betraktats som radioaktivt) kunna friklassas för Oskarshamn 3, och totalt 594 ton om en dekontamineringsfaktor på 2 kan antas. Om istället en dekontamineringsfaktor i storleksordningen 100 kan anses rimlig att uppnå vid rivning av nukleära anläggningar, så skulle 700 ton material (av de 6 040 ton som betraktats som radioaktivt) kunna friklassas för Oskarshamn 3 och totalt 6 366 ton för samtliga kärnkraftsreaktorer.

Sammantaget innebär detta att följande mängder kan uppskattas vara friklassningsbara för Oskarshamn 3 och totalt för de 12 svenska reaktorläggningarna (inom parantes):

- Friklassning av det aktiva avfallet understigande  $1 \text{ Bq/cm}^2$ : 7 830 ton (92 500 ton).
- Som ovan men med dekontaminering med dekontfaktor 2: 7 900 ton (93 000 ton).
- Som ovan men med dekontaminering med dekontfaktor ca 100: 8 580 ton (98 800 ton).

Till detta metallavfall från rivning av processystem skall läggas mängden friklassningsbar betong.

Det kan dock konstateras att måttliga förändringar av friklassningsgränserna inte signifikant förändrar den mängd avfall som behöver förvaras i ett avancerat bergförlagt slutförvar. Därigenom påverkar dessa frågeställningar inte heller rivningskostnaden på något avgörande sätt.

Friklassningen av rivningsavfall kommer att kräva att en särskild anläggning inrättas med olika typer av mätutrustningar och tillgång till uppställningsytor för sortering av olika kategorier gods. Anläggningen bör etableras i ändamålsenlig närhet till en dekontamineringsstation där möjlighet finns att sortera godset efter kontamineringsgrad och att dekontaminera detaljer som ligger i närhet av friklassningsgränsen.

Flödet genom anläggningen behöver vara tämligen stort, ca 10 ton per dygn förutsatt ca 5 års behandlingstid. Friklassningsprocessen blir därför en viktig del av rivningsarbetet där arbetsflödet bör studeras med omsorg. En otillräcklig dimensionering av mätprocess och lagrings- och uppställningsytor kan sannolikt ge en påverkan på tidsplanen för det totala rivningsarbetet.

Den teknik som erfordras för friklassningen finns redan tillgänglig. Det finns ett flertal kommersiella mätutrustningar på marknaden och erfarenheter av större friklassningsarbeten har gjorts i flera länder. Mätnoggrannheten för dagens utrustningar är tillräcklig för att kunna mäta ned till de friklassningsnivåer som kan tänkas bli aktuella. Mätutrustningarna mäter dessutom relativt snabbt (minutskala).

Kostnaden för att inrätta en speciell lokal för mätning och sortering av rivningsgodset har inte uppskattats eftersom denna kostnad kommer att variera från anläggning till anläggning.

Vad gäller faktorer som kan ha signifikant påverkan på rivningskostnaden så har det ovan konstaterats att mindre justeringar av gränsvärdet inte ger någon betydande påverkan på avfallsvolymer och därmed totalkostnaden. Däremot bedöms följande aspekter ha en betydande kostnadspåverkan:

- *Tidpunkten för rivning*

En avvecklingsstrategi som bygger på lång tid mellan avställning och fysisk rivning medger att ett antal halveringstider hinner förflyta för ett flertal betydande nuklider. Effekterna av detta utgörs av en påtaglig påverkan på friklassningsmängderna. Om man studerar ett fall där den fysiska rivningen avvaktas till 25 år efter reaktorns avställning, eller om mellanlagring av skrotkomponenter eller göt varar så länge innan friklassning ska ske, kan gods med avsevärt högre initialt aktivitetsinnehåll komma ned till en nivå som underskrider gränsen för friklassning. Till exempel når ett gods med en Co-60-aktivitet på 13 000 Bq/kg en friklassningsgräns på 500 Bq/kg efter 25 års avklingning.

Med en väntetid på 25 år är det troligt att ytterligare ca 2 000 ton per reaktorblock av det material som antas vara aktivt kan gå till friklassning. Detta motsvarar drygt 20 % av den uppskattade totala mängden aktivt material på 9 660 ton.

- *Mellanlagring*

Om mellanlagring för avklingning, med eller utan smältning, är en acceptabel hantering kan detta ge en påtagligt reducerad kostnad.

- *Tillgång till accepterade alternativa slutförvar*

Tillgång till en markdeponi för rivningsavfall, med liknande deponeringsgränser som gäller idag för driftavfall, kan innebära att en mindre avfallsmängd behöver gå till ett underjordiskt slutförvar. En markdeponi i sig är ett enklare och därmed mindre kostnadskrävande förvar är ett bergförlagt. Om det ska ses som en mer ekonomisk lösning avgörs av vilka mängder som kan vara aktuella för deponering och vilka insatser som krävs för att verifiera förvarets berättigande. Av största vikt är dock att myndigheternas acceptans för mellanlagring för avklingning samt tillgång till och gränsvärden för ett eventuellt markförvar klarställes. Fastställda friklassningsgränser är också en förutsättning för vilka volymer ett mätsystem för friklassning ska dimensioneras för.

### **3.4.3 Avfallsmängder**

Med en friklassningsgräns på 100 Bq/kg gjordes i /3/ en uppskattning av avfallsmängderna som återges i föreliggande rapports tabell 3-5.

### 3.4.4 Slutförvaring

Huvuddelen av det avfall som uppstår vid rivning av en kärnkraftsanläggning utgörs av inaktivt betong. Denna kan hanteras på samma sätt som avfall från rivning av konventionella industrifastigheter, till exempel återanvändas i byggverksamhet eller deponeras på kommunal byggtipp. Ytterligare material kan friklassas och fritt användas i samhället.

Med slutförvaring avses i allmänhet slutförvaring av de radioaktiva resterna från rivningen. Det mesta är kortlivat och lågaktivt material, som avses deponeras i berggrunden i en anläggning som i allt väsentligt liknar SFR 1, dvs slutförvaret för driftavfall. Anläggningen, SFR 3, för rivningsavfall avses placeras i anslutning till den befintliga anläggningen SFR 1. Eftersom materialet mest består av lågaktivt skrot och kontaminerad betong kan relativt enkla transportbehållare användas och avfallskollina hanteras med vanlig gaffeltruck. En del material är medelaktivt och hanteras i strålskärmande behållare. Det avfall som uppstår under avställnings- och servicedrift före den egentliga rivningen är av samma typ som det avfall som uppstår under normal drift av kärnkraftverken. Detta avfall bör därför kunna deponeras i den befintliga SFR 1.

Reaktorernas interna delar, samt delar av PWR-reaktortankarna, har i vissa fall så stort innehåll av långlivade radionuklider att de måste deponeras på större djup än det som är tänkt för det kortlivade rivningsavfallet. Deponering blir i slutförvaret för långlivat avfall vars lokalisering ännu inte fastställts. Huvudalternativet är att det samlokaliseras med SFR 1 men förläggs på djupet 300 m med anslutning till befintliga ramper. Mellanlagringen kan vara aktuellt att ske i ett bergrum som sedan integreras i SFR 3.

Avfallsmängderna från rivning av det svenska kärnkraftsprogrammet uppgår till ca 3 000 000 ton inaktivt material och ca 90 000 ton aktivt material. Det aktiva materialet beräknas uppta ca 150 000 m<sup>3</sup> i SFR 3 samt 9 000 m<sup>3</sup> i slutförvaret för långlivat avfall.

**Tabell 3-5. Avfallsmängder från samtliga block [ton].**

Block	Aktivt material						Inaktivt material		
	Reaktortank (inkl intern- delar)	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
O3	760	6 040	400	1 050	1 410	9 660	318 570	7 830	326 400
R1	650	4 700	400	350	915	7 015	190 200	5 910	196 110
R2	463	3 420	400		975	5 260	267 300	9 260	276 560
R3	466	3 420	400		975	5 260	198 600	9 260	207 860
R4	466	3 420	400		975	5 260	219 300	9 260	228 560
Summa (ton) inkl 10 % påslag	8 450	56 400	5 280	6 110	13 810	90 050	2 910 530	92 460	3 002 990

### **3.5 Anläggningsplatsen efter rivning**

Målet för rivningen av de svenska kärnkraftverken är att återställa marken för fortsatt användning som industrimark. Detta innebär att samtliga byggnader rivs till minst en meter under marknivån, efter friklassning. Några andra alternativ har inte studerats, men det är tänkbart att vissa byggnader kommer att bibehållas för annan verksamhet.

## 4 Teknik

### 4.1 Allmänt

Ett tekniskt förfarande för hur rivningen av de svenska reaktorerna förutsätts gå till har tagits fram successivt genom olika detaljerade delstudier. Dessa tar så långt möjligt hänsyn till lokala förhållanden samtidigt som internationella erfarenheter arbetas in. En allmän översikt av det resulterande teknikkonceptet ges i avsnitt 4.2 nedan medan avsnitt 4.3 redogör för de senaste studierna där konceptet prövats genom jämförelser med faktiska rivningsmoment i ombyggnadsprojekt. En översikt ges också i avsnitt 4.4 av vilka möjligheter som finns att hämta hem utländska rivningserfarenheter.

Slutligen, avsnitt 4.5 redogör för hur den insamlade informationen hanteras inom SKB och hur den kommer andra till godo.

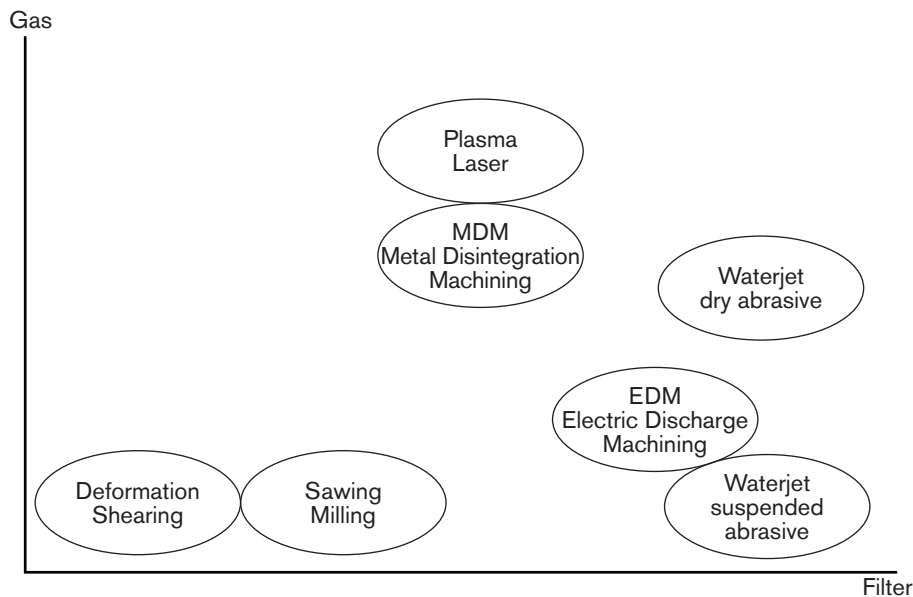
### 4.2 Rivningsteknik

Rivningsarbetet kommer så långt möjligt att utföras med hjälp av konventionell standardutrustning för kapning, lyft och transporter. För vissa områden förutses dock behov av specialutrustning, exempelvis för delning av interndelar eller kapning av reaktortanken i delar för det fall detta alternativet väljs. Även för alternativet utlyft av hel reaktortank erfordras specialutrustning.

Den totala rivningen uppdelas i systemrivning och byggnadsrivning. Systemrivningen omfattar alla processystemen i anläggningens huvudkomplex inklusive reaktortank med interna delar samt elutrustning. Av praktiska skäl lämnas dock viss mekanisk utrustning till byggrivningen.

Ett stort antal metoder är tillgängliga för att demontera och sönderdela komponenter och rörsystem. Vid systemrivning är valet av rivningsmetod till stor del beroende på aktivitetsnivå och storlek på komponenten. De metoder som används kan delas in i rena och orena metoder beroende på i vilken omfattning metoderna medför risk för spridning av aktivitet. Exempel på rena metoder är klippning, diverse typer av sågning och kapning med rörsvarv medan orena metoder kan vara plasmaskärning, kapning med slipskiva samt vattenskarvning. Även orena metoder kan vara mycket kostnadseffektiva genom lämpliga åtgärder som minimerar spridningsrisken. I figur 4-1 åskådliggörs hur olika metoder påverkar aktivitetsutbredningen genom gasbildning eller frigörelse av partiklar som kräver filtrering för att hålla vattnet klart.

Valet mellan ren och oren metod beror till stor del på aktivitetsnivån och tillgänglig tid för segmenteringsoperationen. De orena metoderna är generellt sett snabbare men kan på grund av kontaminationsproblemet endast användas i de fall då aktiviteten är låg eller risken för omgivningsspridning är begränsad.



**Figur 4-1.** Klassificering av olika segmenteringsmetoder avseende gasbildning och behov av filter.

Rivning av icke-kontaminerade byggnader är en väl etablerad teknik, inklusive källsortering och återvinning av byggnadsmaterial. Samma tekniker används vid rivning av kontaminerade byggnadsdelar, där dock hänsyn måste tas till att dammningsrisken ska minimeras.

#### 4.2.1 Rivning av processystem

##### **Allmänt**

Rivningen av processystem 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 de byggnader som inte har någon koppling till reaktorinneslutningen. Avfallsanläggningen tar om hand allt spolvatten och dränage, så länge det finns radioaktiva delar kvar, och rivs sist.

Rivningsarbetet börjar med att rummen förbereds för rivning. Detta omfattar uppförande av arbetsställningar och uppmärkning av aktivitetsnivåer. I ett senare skede ersätts ordinarie kraft och ventilationen med provisoriska åtgärder. Ventilationen och hjälpkraften bibehålls i rummen så länge det är praktiskt möjligt. Processystemen kan alltså i allmänhet rivs med hjälp av ordinarie kraft och belysning.

Själva rivningen startar 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.

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

Rörkapningen delas i en ren metod, för rör med risk för aktivitetsspridning, samt oren metod, för övrig rivning. Rörändarna förses med skydd för att förhindra aktivitetsspridning.

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 generatoren. Godset kan delas upp i känt radioaktivt material och sådant som borde vara inaktivt. Det förra förpackas i ISO-containerar eller i strålskärmda behållare; det senare avsöks och inaktivt, friklassat, gods läggs i lämpliga transportlådor. Det har antagits att samtliga behållare rymmer 15 m<sup>3</sup>.

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

Ett antal större komponenter förs ut ur stationsbyggnaden utan eller med begränsad 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 dieselgeneratorer och transformatorer, dessa kan även få en fortsatt funktionell användning.

### ***Systembehov under rivningen***

Alla system och all utrustning som inte erfordras ur rivningsynpunkt 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.
- Avloppssystemen kommer att hållas i driftdugligt skick tills rivningen omöjliggör detta.
- Ventilationssystemen hålls 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 en förenklad form, dvs enbart partikeluppsamling för senare analys.
- Elkraftbehovet kommer efter hand att minska när bränslet är borta. Erforderliga skenor och utrustningar kopplas bort och separata matningar kan komma att arrangeras till från rivningssynpunkt väsentliga funktioner, t ex vissa ventilationsanläggningar. Kraftmatningen sker från befintliga ställverk.
- Kontrollutrustningen anpassas efter behovet under rivningen. Avgränsningar görs i kontrollrummet så att visning endast ges för system i drift. Härigenom kan operatören enkelt överblicka anläggningens driftstatus.
- Underhåll av byggnader och utrustning utförs 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 förutsätts ske i en-skift under normal dagtid. Uttransport av material från processutrymmen förutsätts ske i två-skift. Även strålskyddare och sanerare arbetar i två-skift.

### ***Rivningsmetoder***

Arbetsmetoder och utrustning för demontage och nedkapning av rörsystem och apparater väljs så att personalen inte utsätts 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 skilda metoder, dvs omgivningen skall skyddas mot radioaktivt stänk, och andra metoder där kapningen kan göras snabbare eftersom omgivningen inte behöver skyddas.

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

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

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

Öppna rörändar försluts med lock för att undvika spridning av aktivitet. I undantagsfall sker tätsvetsning och då i första hand för apparater som avses att transporteras utan transportbehållare.

Rivningen genomförs 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 tryckluftssystem kommer att utnyttjas i slutskedet.

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

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

I flera genomförda rivningsprojekt har huvuddelen av processrören kapas med plasma- eller termiska skärbrännare. Både manuella och automatiska utrustningar har använts. Termiska skärmetoder som t ex plasma eller pulver-skärbrännare har en mycket snabb avverkningsförmåga men ger upphov till aerosoler som kan orsaka luftburen kontaminering. Metallgaserna utgör även arbetsmiljömässiga problem.

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

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

För komponenter typ ventiler, pumpar och motorer förväntas normalt ett begränsat demontage av komponenten i dess beståndsdelar. I de fall då enbart någon del är kontaminerad kan denna del demonteras medan resterande material behandlas för friklassning.

För mycket stora, sammansatta komponenter, som turbiner och generatorer, förväntas ett långtgående demontage med åtföljande friklassning av materialet. Detta gäller 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 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 andra apparater som ingår i reaktorns primärsystem torde inte dekontaminering och/eller smältning vara meningsfull utom för att minska dosbelastningen på personalen.

### ***Kommunikation och materialtransporter***

Personalens tillträde till kontrollerad area sker på samma sätt som vid normala drifts- 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 töms på utrustning i ett tidigt skede kan utnyttjas som buffert för lagring av material.

Före start av rivningsarbetet har en noggrann radiologisk kartläggning gjorts av anläggningens olika systemdelar. Denna mätning 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.

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

- Vissa interna delar och reaktortanksmaterial har så höga aktivitetsnivåer på grund av inducerad aktivitet, att de måste transporteras i behållare typ B.
- Övrigt material, som behöver transporteras till slutförvar, placeras i ISO standardcontainers. Beroende på materialets aktivitetsnivå kan yttre strålskärm behöva användas.
- Lågaktivt material kan eventuellt deponeras, om detta befunnits vara ett godkänt och ekonomiskt alternativ, i markförvar i anslutning till anläggningen.
- Friklassning av material, eventuellt efter dekontaminering, sker enligt de gränser som diskuterats i kapitel 3.

#### **4.2.2 Rivning av reaktortank och interndelar**

##### ***Interndelar***

Interna delar i närheten av reaktorhärden samt härdkomponenter har utsatts för stark neutronbestrålning och har erhållit mycket höga aktivitetsnivåer. Sönderdelningen av dessa måste ske under vatten för att erhålla tillräcklig strålskärmning vid arbetets utförande. Med hänsyn till den höga aktivitetsnivån hos materialet förutses att det placeras i kassetter anpassade till härdkomponentbehållaren. Även denna hantering med fyllning av kassetter och placering av kassetterna i härdkomponentbehållaren sker under vatten på motsvarande sätt som bränslehanteringen sker för närvarande. Transporter med härdkomponentbehållare genomförs rutinmässigt till CLAB varför denna hantering är beprövad. I vissa fall lagras härdkomponenter torrt i särskilda, kraftigt strålskärmade, behållare. Detta förfarande kan komma att bli aktuellt även vid rivning av kraftverken.

Sönderdelning av de interna delarna har förutsatts ske under vatten och i huvudsak med mekaniskt skärande eller klippande metoder. Vid segmentering av moderatortankar och härdgaller i Forsmark 1 och 2 kapades moderatortank och härdgallerkontur med bandsåg medan härdgallrets gitterstruktur sönderdelades med ett hydrauliskt klippverktyg. Se vidare avsnitt 4.3.1.

Alternativa eller kompletterande metoder är vattenstrålskärning med tillsatsmaterial, gnistning och plasmaskärning. Den sistnämnda är en mycket effektiv metod men kräver att skärmunstycket 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 gaser och andra partiklar frigörs i samband med skärbetandet.

Reaktorhallens travers används för alla tyngre lyft; dessutom behövs serviceplattformen för hantering av kapade delar och en hjälpkran som placeras vid bassängkanten. All kapning sker i interndelsbassängerna. Don för fastspänning av komponenterna kan fordras i den ena bassängen.

### **Allmänt om reaktortankhantering**

Omhändertagande av reaktortankarna är, både då det gäller BWR och PWR, ett område där utredningar och underbyggande av tekniken måste göras för att välja optimal princip och metodik.

Två huvudprinciper för omhändertagande av reaktortankar drivs och utreds för närvarande parallellt inom planeringen för den svenska kärnkraftsrivningen, nämligen sönderdelning av tank och tanklock i delar 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 SKBs 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.

Det konstaterades att det är tekniskt möjligt att demontera en tom hel reaktortank. I en senare studie /7/ anges att det går att demontera reaktortankarna i Olkiluoto 1 och 2 med interndelar och diverse annat skrot placerade i tanken.

I USA har de flesta stora reaktortankar, såsom Big Rock Point, Yankee Rowe, Main Yankee och Trojan blivit godkända som sina egna transportbehållare och därför inte sönderdelats.



**Figur 4-2.** Lyft av hel reaktortank (San Onofre).

## **Sönderdelning av reaktortankar**

Sönderdelningsalternativet innebär att reaktortanken på plats delas i delar av lämplig storlek. Delarna förpackas sedan och transporteras i strålskärmda behållare till SFR eller till slutförvaret för långlivat avfall, i det senare fallet efter en tids mellanlagring.

Sönderdelningsalternativet har studerats separat och redovisats i /8/. I sammanställningsrapporten /2/ har teknik och kostnader sammanställts bland annat för att få bra jämförelseunderlag för de två alternativen heltank och sönderdelning. Forsmark 1 har använts som referensanläggning och dimensionerande data, som till exempel aktivitetsinventarium och dosrater, är samma som använts i heltanksstudien.

Sönderdelningen av själva reaktortanken görs efter det att tankens interndelar har demonterats. Sönderdelningen kan ske med 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 erfarenheterna från bl a reaktorn BR-3, förutsätts att ett antal vertikala snitt läggs först varefter ett cirkulärt, horisontellt snitt läggs för att frigöra de enskilda delarna. Delarnas storlek och form är valda med tanke på hantering, packning i transportbehållare och deponering i slutförvar.

I de äldre BWR-anläggningarna med externa huvudcirkulationskretsar vilar reaktortankarna på sin bottendel inne i reaktorinneslutningen varför inget extra stöd behövs under tanken. Internpumpsreaktorerna hänger i en fläns strax under tanklocksflänsen. Kapningen under denna nivå kräver därför en temporär stödkonstruktion för att hålla upp reaktortanken.

En alternativ metod till mekanisk sågning är flamskärning där metallen avlägsnas genom reaktion med syrgas vid hög temperatur. Den erforderligt höga temperaturen åstadkoms genom en låga av brännbar gas och syrgas.

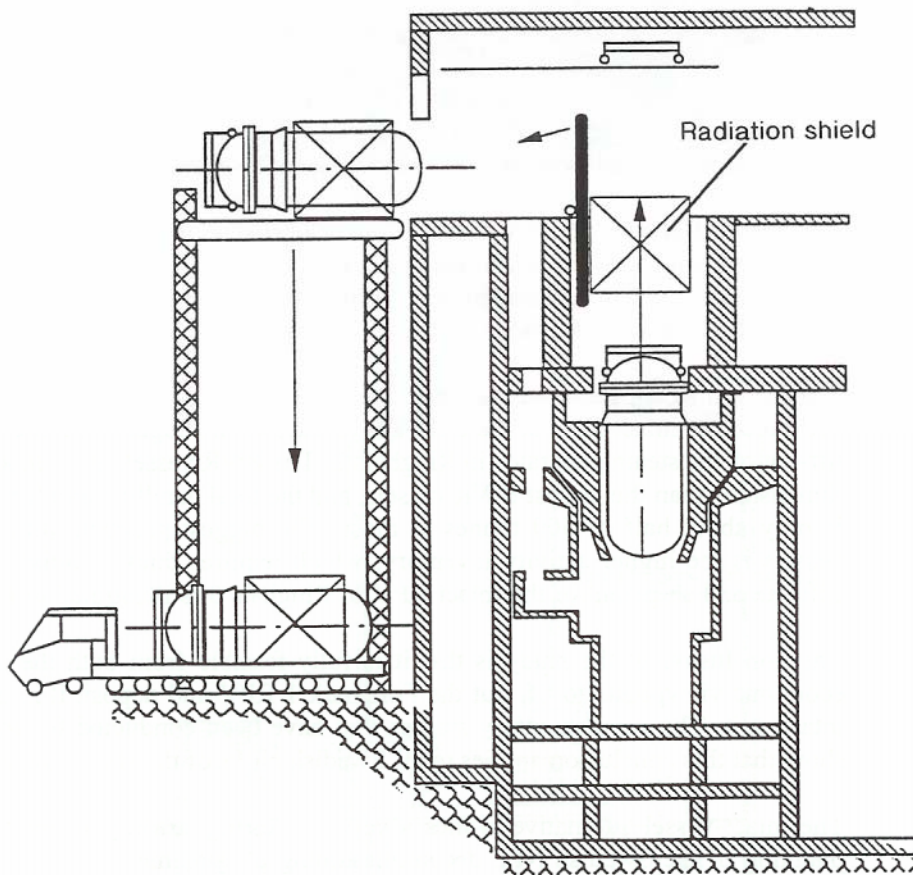
## **Hantering av reaktortanken som en enhet**

Förutsättningar för demontage, transport och deponering av reaktortankarna som hela enheter har studerats i den så kallade "Heltanksstudien" /9/ där Forsmark 1 används som referensanläggning. En kompletteringsstudie för Ringhals 1 (externpumpsreaktor) och Ringhals 3 (tryckvattenreaktor) redovisas i /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 ur den befintliga byggnadskroppen och sedan genomföra transporten till slutförvar i SFR. Ett krav har varit att IAEA:s transportrekommendationer om maximalt tillåtna dosrater från kollit skall innehållas från det utlyftet påbörjas till färdig deponering. För detta krävs en strålskärm som signifikant påverkar lyft- och transportvikten. Utgångspunkten för heltanksalternativets genomförande har därför varit att utifrån beräknat aktivitetsinventarium bestämma strålskärmens geometri och tjocklek och därmed få fram den totala vikt som skall hanteras. Det har även undersökts möjligheterna att omhänderta hela reaktortanken med interndelarna inkluderade.

Aktivitetsinventariet har utgjort grund för bedömning av nödvändig strålskärmning med och utan interndelar. För reaktortankarna har dosraten på 2 m visat sig vara dimensionerande för att uppfylla transportbestämmelserna. För fallet Forsmark 1 är den erforderliga strålskärnstjockleken 85 mm motsvarande vikten 90 ton. Det totala lyftet för en tom reaktortank med lock och strålskärm blir då ca 900 ton. Med interndelarna inkluderade blir strålskärmsvikten 400 ton och den totala lyftvikten ca 1 500 ton.

Grova beräkningar av byggnadsstommen för Forsmark 1 visar att belastningar motsvarande ett lyft på ca 1 000 ton kan klaras med acceptabel säkerhetsmarginal. Det har då förutsatts att lyftet sker på samma sätt som när tanken lyftes in. Förslag för utlyft och transport visas i figur 4-3.



**Figur 4-3.** 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 transporten och deponeras tillsammans med tanken.

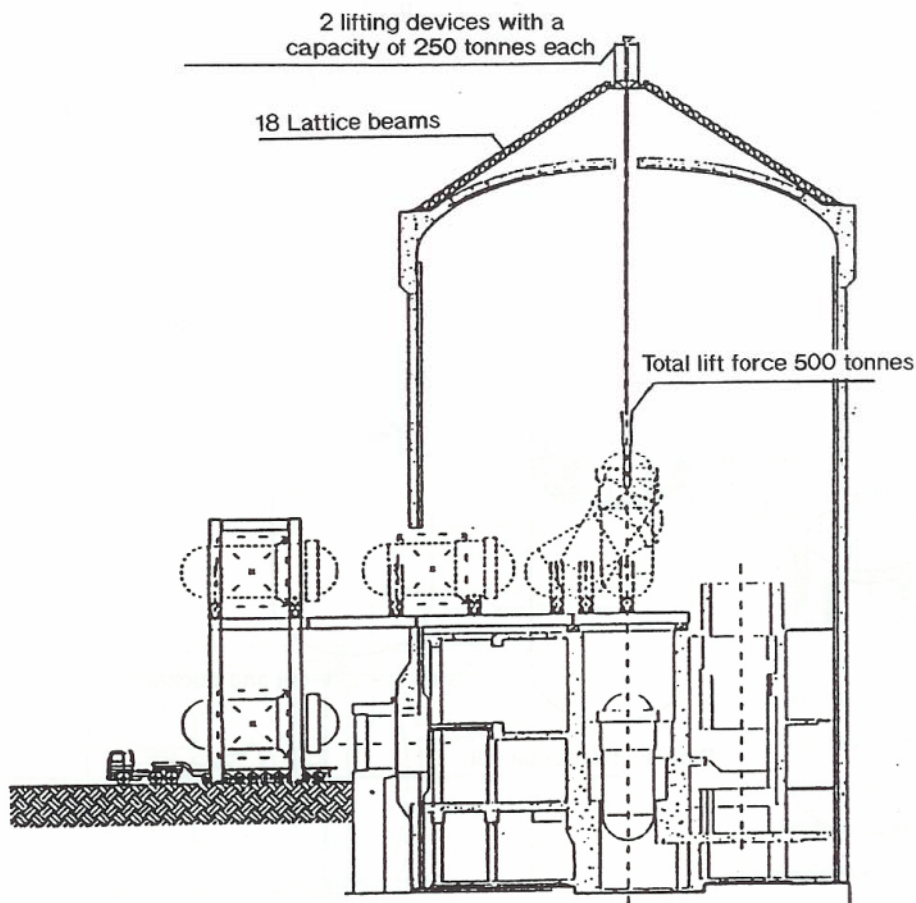
Möjligheten för ett totallyft på upp emot 1 500 ton, vilket är fallet om interndelarna inkluderas, har i de svenska studierna inte närmare undersökts och det praktiska arbetet då det gäller demontage och omhändertagande av hel reaktortank har därför endast studerats för en plundrad tank. De olika momenten 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. För Ringhals 1, som har externa huvudcirkulationskretsar, tillkommer arbetsmomenten med kapning av de tolv anslutningsstutsarna. Vidare vilar tanken i Ringhals 1 i en vagg som är fastsvetsad mot den sfäriska bottendelen. Vaggan är undergjuten med betong och fästad 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 bytestekniken för ånggeneratorer användas för demontage och utlyft av hel reaktortank. PWR-tankarna har betydligt mindre mått än de största BWR-tankarna och den totala lyftvikten överstiger ej ca 500 ton. Det största problemet med PWR-tankarna är det högre aktivitetsinventariet som kräver tjockare strålskärmar.

Slutsatsen av ovan refererade studier är att det är fullt realiserbart både ur säkerhets-, teknisk och ekonomisk synvinkel att lyfta ut reaktortanken i Forsmark 1 och deponera den i slutförvar som en hel enhet. Genom de kompletteringsstudier som gjorts för övriga anläggningar har denna slutsats befunnits gälla för samtliga svenska kärnkraftanläggningar. Heltanksalternativet är alltså en mycket intressant handlingslinje då det gäller planeringen av den svenska kärnkraftsrivningen.



**Figur 4-4.** Lyft och transport av hel reaktortank (Ringhals PWR).

För att kunna bedöma om det också är en lämplig metod måste hela kedjan från demon- tage till slutförvaring studeras. Om en hel BWR-tank ska placeras i ett bergförvar måste förvarets tillfartstunnel dimensioneras för reaktortankens stora diameter (6–7 m) och vikt (Forsmark 3: 770 ton utan interndelar). Tillfartstunneln i SFR har dimensionerats så att såväl BWR-reaktortank som ånggeneratorer från PWR, efter en del ingrepp, kan transporteras ned i anläggningen. För transporten ned i tunneln används speciell räls och ”släde”. För PWR-tankar är inte SFR aktuell som slutförvarsplats eftersom delar av dessa reaktortankar innehåller avsevärda mängder inducerad långlivad aktivitet. Slutförvarsalternativet för PWR-reaktortank är i förvaret för långlivat avfall.

Vidare måste ett antal anläggnings-specifika detaljfrågor besvaras innan det slutgiltigt går att avgöra om det är rätt metod att lyfta ut en hel reaktortank. Eftersom förutsätt- ningarna är olika för varje kraftverk och för de olika blocken inom samma verk krävs att det görs en individuell analys för varje fall.





*Figur 4-5. Transport av hel reaktortank (Big Rock Point).*

### **4.2.3 Byggnadsrivning**

När systemrivningen avslutats och alla utrymmen är rengjorda påbörjas rivningen av byggnadsdelarna. Först rivs och borttransporteras all kvarvarande aktiv och kontaminerad betong. Efter en noggrann aktivitetskontroll friklassas sedan byggnaden och en konventionell byggnadsrivning tar vid. Det är dock troligt att vissa inaktiva/friklassade byggnader lämnas till kommande verksamhet på platsen. Rivningen avslutas med att området återställs.

#### ***Aktiv byggnadsrivning***

Efter det att rivning och uttransport av processutrustningen är klar, samt dekontaminering av nedsmutsade ytor är genomförd, följer den aktiva byggnadsrivningen. 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 kontaminerade. 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. 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 vatten upp av betongen och vattenspill undviks. Denna metod att bila bort betong användes vid rivningen av biologiska skärmen i forskningsreaktor R1 i Stockholm.

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

En alternativ metod till bilning är sågning och då företrädesvis med så kallad wiresåg.

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

För borttagning av tunnare kontaminerade ytskikt på golv eller väggar finns flera möjliga alternativ såsom högtryckstvättning, slipning, fräsning och hyvling med eller utan fjärrstyrning.

### ***Inaktiv byggnadsrivning***

Sedan all kontaminerad betong bortbilats, förpackats och transporterats ut, vidtar den konventionella byggnadsrivningen. Efter avsökning och friklassning av aktuell byggnad/byggnadsdel påbörjas byggnadsrivningen.

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 skärs ut med hjälp av en bilningsmaskin och släpps ned till marken på utsidan av väggen. Med bjälklagen förfärs på samma sätt. Uttransport till yttervägg sker med en liten mobilkran som opererar från det aktuella bjälklaget.

En alternativ metod är demolering med hydrauldriven sax monterad på bärare. Saxen griper tag om betongen och trycker sönder den så att armeringsjärn och eventuella ingjutningsdetaljer kan separeras från betongen. Metoden utvecklar ej mycket damm som måste bindas med vatten, men däremot kan det bli nödvändigt med tillfälliga skydd på grund av att betongen "sprätter" då den demoleras.

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

Reaktorinneslutningens vägg, som är ca 1 m tjock, har en ingjuten tätplåt av stål och är 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.

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

#### **4.2.4 Avfallshantering**

##### ***Behandling av avfall***

Med hänsyn till behandlingen av avfallet kan det uppdelas i direkt rivningsavfall och processavfall.

Det direkta rivningsavfallet utgörs främst av metallskrot, betong och sand samt isolering. Processavfallet utgörs av jonbytmassor, filter, skyddskläder och liknande. Det senare behandlas på liknande sätt som under driftsperioden, dvs jonbytmassor solidifieras eller avvattnas och filter kompakteras.

Betong och sand placeras direkt i lämpliga transportförpackningar. Komponenter som inte placeras i containrar eller annan behållare kan målas eller inplastas för att förhindra spridning av aktivitet.

Metallskrot kapas direkt vid rivningen i lämpliga dimensioner för transport till slutförvaring. Öppna rörändar försluts för att undvika aktivitetsspridning. Lågaktivt material placeras direkt i transportcontainrar, vilka kan deponeras i SFR. Material som kräver strålskärmning transporteras med en extra yttre strålskärm kring containern.

Olika metoder har utvecklats för att minska mängden och volymen av avfall som måste slutförvaras. De metoder som kan komma ifråga för friklassning av metalliskt skrot är bl a mätning, dekontaminering och smältning.

Gods måste alltid mätas före friklassning. På grund av att det ofta är svårt att bestämma dess ytkontaminering och aktivitetssinnehåll enbart genom mätning har smältning tagits fram som ett alternativ. Då kan materialets specifika aktivitet enkelt mätas med god noggrannhet och dess volym minskas. Andelen skrot som kan friklassas väntas bli större än vid alternativet med enbart mätning. I vissa fall kan det vara ekonomiskt fördelaktigt att dekontaminera godset före smältning.

För lätt kontaminerade ytor kan enkla tvättmetoder vara tillräckliga. Om aktiviteten är hårdare bunden till ytan kan blästring eller kemisk dekontaminering tillgripas vilka båda innebär en viss materialavverkning. För komponenter med komplex geometri är den begränsande faktorn för friklassning möjligheten till fullständig mätning snarare än möjligheten till dekontaminering.

#### **4.2.5 Transporter**

För transporter av aktivt rivningsavfall kommer SKBs transportsystem att användas. Detta består av 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.
- Strålskärmade behållare.
- Standard ISO-container, hel- eller halvhöjds.

Den största delen av det material som inte kan friklassas placeras i ISO-containerar. I denna sammanställning har förutsatts ISO-containerar med en volym på 15 m<sup>3</sup>. Innehållet har begränsats så att vikten inte överskrider 20 ton.

Transporter av radioaktivt avfall inom Sverige skall godkännas av SSI. Transporten skall uppfylla kraven enligt IAEA:s transportrekommendationer /11/. Detta innebär att dosraten inte får överskrida 2 mSv/h på ytan eller 0,1 mSv/h på två meters avstånd. I denna sammanställning har det förutsatts att det direkta rivningsavfallet transporteras med strålskydd på ISO-containern vid högre dosrater. Alternativet är ATB-behållare.

Vissa typer av utrustning placeras inte i container. Det gäller dels högaktiva interndelar och dels större enskilda komponenter. I BWR kräver de interndelar, som varit placerade närmast härden, transport i härdkomponentbehållare. I PWR kräver även en del av reaktortankmaterialet denna typ av transport. Större enskilda komponenter, såsom värmeväxlare och tankar, bedöms som olämpliga att skära isär på grund av risken för aktivitetsspridning. Dessa ryms därmed inte i ovan angivna typer av transportbehållare och kan istället transporteras utan särskild förpackning.

En stor del av turbinsystemen, ca 3 000 ton för O3, bedöms kunna friklassas efter enkel dekontaminering. Detta har dock inte tagits hänsyn till i denna sammanställning.

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 4-1.

**Tabell 4-1. Transporter av rivningsavfall från de svenska kärnkraftverken uppdelat på typ av transportbehållare.**

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

## 4.3 Erfarenheter från ombyggnader

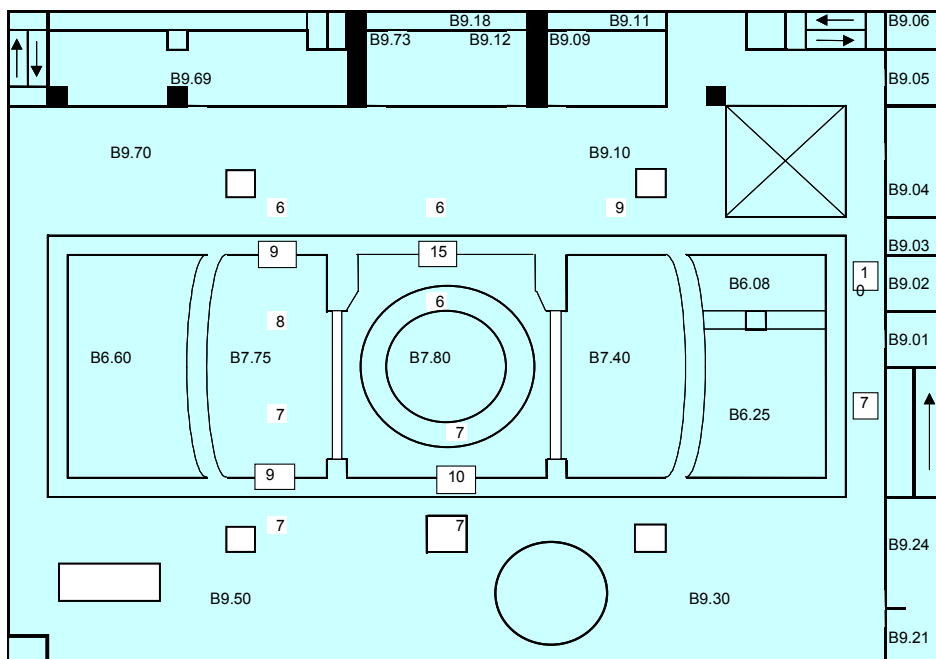
I föregående sammanställningsrapport /3/ rekommenderades att studier av rivningsarbeten i samband med reparations- och moderniseringsprojekt skulle genomföras för att verifiera de antaganden beträffande lämplig teknik och realistiska kostnadsuppskattningar som gjort för den framtida avvecklingen av de svenska reaktorerna. Detta har gjorts under perioden vid två olika tillfällen. Det ena fallet var en studie av sönderdelning av interndelar som gjordes i samband med byte av moderatortankar och härdgaller på Forsmark 1 och 2. Det andra var en studie av rivning av elkomponenter i samband med den omfattande moderniseringen av Oskarshamn 1 (Projekt O1-MOD).

### 4.3.1 Sönderdelning av interndelar

Vid revisionsavställningarna 2000 installerades nya moderatortankar och härdgaller på Forsmark 1 och 2. De utbytta interndelarna segmenterades efter respektive revisionsavställning och packades i lådor för tillfällig förvaring i bränslebassängerna. Ett separat projekt /12/ etablerades parallellt med segmenteringsprojektet med syfte att samla och värdera teknisk och ekonomisk information som kunde vara till nytta för den svenska avvecklings- och rivningsmodellen.

Moderatortank och härdgallerkontur kapades med bandsåg medan härdgallrets gitterstruktur sönderdelades med ett hydrauliskt klippverktyg. Metoderna hade valts främst för att de inte producerar några gaser och att kapresterna i samband med bandsågning är huvudsakligen större spånor, som relativt snabbt sedimenterar på bassängbotten. Dessa egenskaper förenklar vattenreningen, håller förbrukad filtervolym till ett minimum och eliminerar risken för luftburen aktivitet.

Segmenteringsjobbet kan delas in i fyra olika delar. Först skedde en etablering i reaktorhallen där utrustningen installerades i bassäng B7.75 och bassängbotten täcktes in med skyddsplåtar.



Figur 4-6. Layout över reaktorhallen i Forsmark 2.

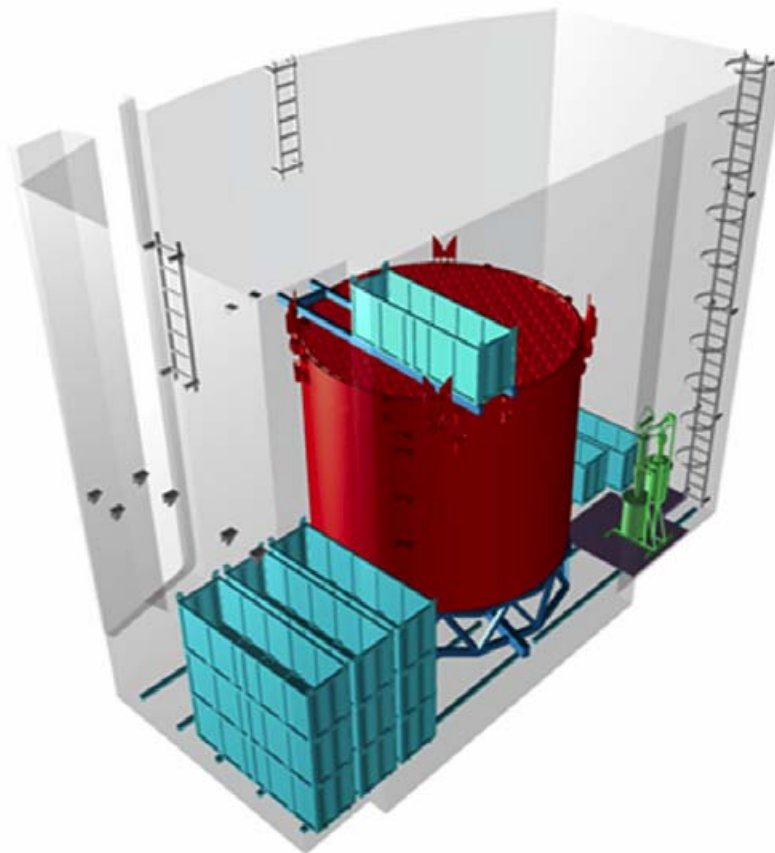
Segmenteringen startade sedan med sönderdelning av härdgallret vilket skedde genom klippning. Efter att ha sågat härdgallerringen så inleddes arbetet med att sönderdela moderatortanken genom sågning. Tanken kapas på sex stycken horisontella nivåer. För att ge sågbladet utrymme att vända från vertikal till horisontell sågning bearbetades hål genom gnistning på varje nivå av moderatortanken.

Efter avslutad segmentering återstod avetablering i reaktorhallen och vattenrening till godkänd vattenkvalitet. Skrotlådorna flyttades till B6.60 för lagring.

De valda metoderna, klippning och sågning, fungerade mycket bra. Spånor som bildades sjönk snabbt till botten och därmed erhöles mycket god sikt i bassängen under arbetet jämfört med andra metoder, t ex vattenskärning eller plasmaskärning. De spånor som bildades vid kapningen var lätta att samla upp med den utrustning som var avsedd för detta. Det skedde ingen ökad belastning av filtren i det ordinarie reningssystemet och kapningen gav inte någon luftburen aktivitet.

Vidare så behövdes endast ett fåtal personer för att sköta utrustningen och genomföra segmenteringen.

Vid kapningsarbeten där tiden är en begränsande faktor kan det vara problem med metoderna klippning och sågning eftersom de är relativt långsamma. Detta bör dock vara acceptabelt för ett rivningsprojekt.



**Figur 4-7.** Installation av de interna delarna, kap- och reningsutrustningen samt skrotlådor.

Tidåtgången på anläggningsplatsen blev enligt följande:

- Forsmark 2: 19 veckor (inklusive slutrengöring).
- Forsmark 1: 14 veckor (inklusive slutrengöring).

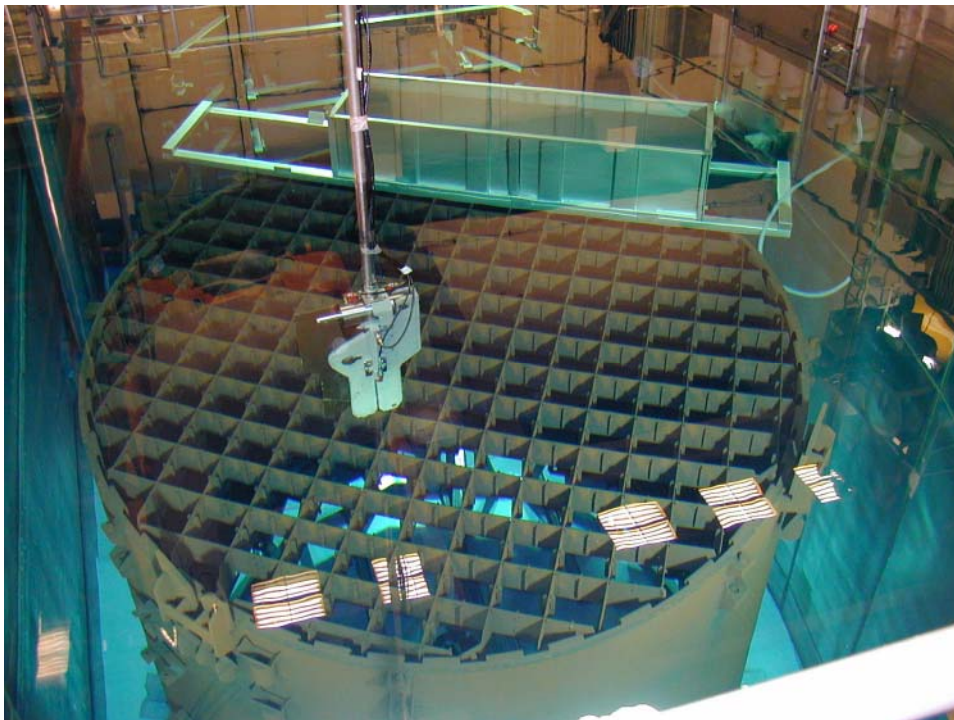
Dessa arbeten föregicks av 10 månader för konstruktion, tillverkning, provning och etablering på plats.

Den totala arbetsinsatsen på anläggningsplatsen blev enligt följande:

- Forsmark 2: 3 112 mantimmar.
- Forsmark 1: 2 692 mantimmar.

För Forsmark 2 blev dosbelastningen högre än den beräknade. Detta berodde delvis också på att mantiden ökade. Dessutom förekom det mer arbete på bryggan än vad som var planerat och dosratsnivån i reaktorhallen vid kapbassängen var högre än förväntat.

På Forsmark 1 blev dosbelastningen lägre än den beräknade. Inför arbetet på F1 hade dosbudgeten reviderats avseende de högre allmämdosraterna i reaktorhallen.



*Figur 4-8. Saxen hänger över hårdgallret.*

Kollektivdosen blev enligt följande:

- Forsmark 2: 44,15 mmanSv
- Forsmark 1: 27,75 mmanSv

Den erhållna kollektivdosen är till största delen att hänföras till allmändosraterna i reaktorhallen. Själva interndelarna, moderatortanken och härdgallret, har ingen signifikant påverkan på allmändosraterna, utan den allmänna kontaminationsnivån har det avgörande inflytandet. Det betyder att kollektivdosuppskattningen för segmenteringsarbetet i hög grad är beroende av vilken station som avses och vilka förberedande åtgärder som vidtas för att minska allmändosraterna.

Den totala produktionen av avfall blev enligt följande:

Forsmark 2:

- Vikt: ca 22 220 kg
- Volym: ca 21 m<sup>3</sup>

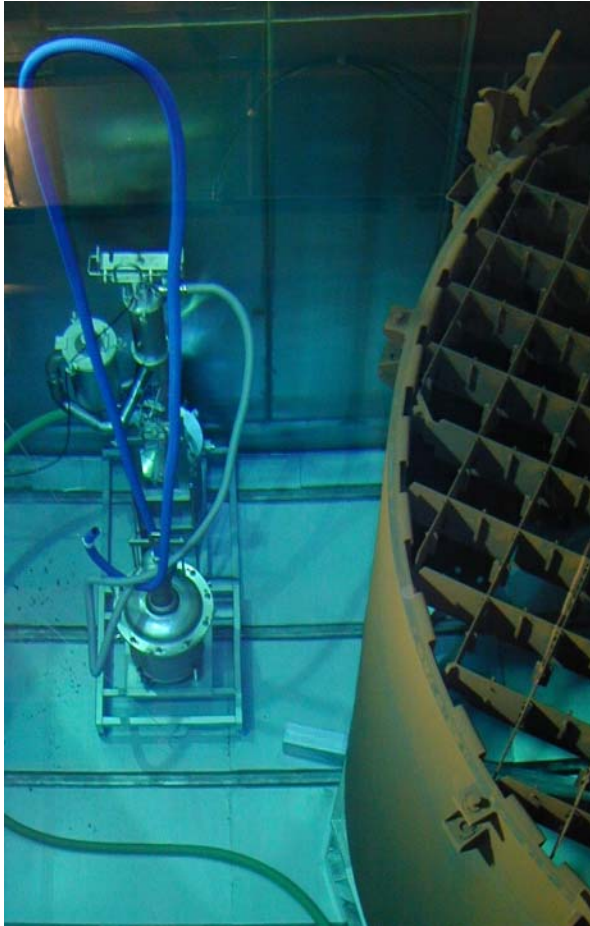
Forsmark 1:

- Vikt: ca 22 290 kg
- Volym: ca 21 m<sup>3</sup>

Sammanfattningsvis kan det konstateras att den valda segmenteringstekniken har lämpat sig väl för uppgiften och skulle fungera mycket bra för ett rivningsprojekt. Utfallet har blivit:

- God sikt i bassängen under arbetet.
- Liten aktivitetsspridning i bassängvattnet.
- Ingen luftburen aktivitet i hallen.
- Låga personaldoser.
- I stort problemfri drift (efter justering av initiala problem).
- Effektiv drift (relativt långsam men krävde liten personalstyrka).





*Figur 4-9. Reningstrustningen bestående av Luxemburgare samt cyklon.*

Även reningstekniken med slamsug och hydrocyklon visade sig fungera utmärkt för slutrening av poolvatten och bassängbotten.

### **4.3.2 Rivning av elutrustning**

#### ***Bakgrund***

Vid den senaste moderniseringen av Oskarshamns block 1 (Projekt O1-MOD) revs det ut stora mängder elutrustning under förhållanden som i vissa utrymmen motsvarade vad som förväntas gälla vid rivning av ett helt kraftverk. I slutfasen av projektet genomfördes en begränsad studie i syfte att söka finna nyckeltal som endera bekräftar de antaganden som gjorts i /13/ eller visar att dessa behöver revideras. Studien omfattade främst följande steg:

- Sammanställning av erfarenheter beträffande rivning av elkomponenter i O1-MOD-projektet.
- Jämförelse av de erfarenhetsbaserade nyckeltalen med tidigare antaganden i /13/.
- Slutsats att tidigare kostnadsbedömning gäller eller rekommendation av förändrade kostnadsbedömningar.

Resultatet av studien redovisas i /14/.

## **Projekt O1-MOD**

Oskarshamn 1 konstruerades och byggdes under 1960-talet och ett flertal moderniseringsinsatser har tidigare genomförts innebärande bland annat en ny reservkontrollbyggnad.

Projekt MOD hade fyra huvudspår:

- Ett nytt säkerhetskoncept som stärker och kompletterar befintliga säkerhetsfunktioner. En viktig del är den nya elkombibyggnaden med fyra subar.
- Mjukvarubaserat styrsystem.
- Moderniserat kontrollrum.
- Ny turbin.

Projektet berörde flesta av anläggningens byggnader och utrymmen. Den mest intensiva tidsperioden var hela år 2001 under vilken tid anläggningen även var avställd.

Följande tabell 4-2 ger en uppfattning om omfattningen för elutrustningen:

**Tabell 4-2. Mängd av vissa elkomponenter som hanterades under O1-MOD.**

<b>Slag</b>	<b>Mängd</b>
Nya skåp, antal	340
Ombyggda skåp, antal	500
Rivna skåp, antal	60
Installerad kabel, m	130 000
Installerad kabelstege, m	18 500
Riven kabel, m	30 000

Ovanstående är ett exempel på att en anläggning under sin livstid genomgår ett antal moderniseringar och ombyggnader vilket innebär att den vid rivningstillfället innehåller komponenter och installationer från många tidsepoker. Vidare utnyttjas de ursprungliga utrymmena i många fall till bristningsgränsen vilket medför minskad åtkomlighet jämfört med ursprungsanläggningen.

### **Studiens genomförande**

Studien inriktades på elskåp och lådor, stora elkomponenter samt kablar och kabelstegar. Förutom kartläggning av verklig tidsåtgång för rivning inom vissa områden gjordes även mer generella uppskattningar av tidsåtgången baserat på erfarenheter från hela projektet.

### **Kvantitativa resultat**

De kvantitativa erfarenheterna från Projekt O1-MOD jämfört med antaganden gjorda i O3-studien kan sammanfattas som följer:

- Tidsåtgången för rivning av elskåp och lådor i O3-studien kan vara underskattad med en faktor av storleksordningen 2.

- Tidsåtgången för rivning av stora elkomponenter kan vara underskattad men underlaget från MOD är för litet för att kunna dra några säkra slutsatser.
- Tidsåtgången för rivning av kablar i O3-studien kan vara något överskattad.

### **Övriga erfarenheter**

Utöver de kvantitativa resultaten gjordes följande erfarenheter:

Beredning och avgränsning av arbetsområdet innan rivning innebar betydande insatser. Det är vidare viktigt med tillgång till komponentdata, ritningar etc, både vid beredningen och vid rivningsarbetet.

Vanligen arbetade man parvis vid rivning. Det bör vara så få som möjligt om en arbetsuppgift; helst endast en person för att inte ge väntetider. Om många personer arbetar inom en byggnad erhålls hinder och väntetider vid transporter.

Transporterna kan ta lång tid och är i vissa fall helt styrande. Man bör satsa på att åstadkomma rationella transportvägar.

Avlägsnande av miljöfarliga komponenter i skåp och liknande bör göras på plats innan rivning eftersom det brukar vara svårt att komma åt senare.

All elutrustning från kontrollerat område deponerades i markförvaret, MLA, eftersom detta bedömdes ge lägre kostnad än friklassning. Elutrustning från okontrollerat område gick huvudsakligen till återvinning och förorsakade ingen kostnad; kabelskrot kunde säljas till återvinningsföretag, stål gick till en lokal skrotfirma och en betydande mängd utrustning av fabrikat ASEA omhändertogs av ett företag som specialiserat sig på återvinning och försäljning av reservdelar för äldre ASEA-utrustning.

## **4.4 Internationell kunskapsutveckling**

Frågor som rör avveckling och rivning av kärntekniska anläggningar hanteras inom EU och av stora internationella organisationer som t ex OECD/NEA och IAEA.

Inom EC har olika avvecklingsprojekt genomförts mellan åren 1979 och 2003. Inom nuvarande femårsprogram minskas resurserna för forskning och utveckling inom rivningsområdet då man anser att tekniken är väl utvecklad kan tillämpas industriellt. Ett nätverk för informationsutbyte finns inom EU (Thematic network on Decommissioning of Nuclear Installations, TND). Ett 50-tal organisationer, såväl industri som myndigheter och forskningsinstitut, deltar.

Inom OECD/NEA finns ett aktivt nätverk av organisationer med pågående rivningsprojekt, Co-operative programme on Decommissioning (CPD). Vidare har OECD/NEA sedan några år en arbetsgrupp för utbyte av information, det s k Working Party on Decommissioning and Dismantling, WPDD.

IAEA arbetar aktivt med utarbetande av riktlinjer och rådgivande dokument för avveckling, rivning samt omhändertagande av avfallet.

På tekniksidan råder samstämmighet i att rivning av kärntekniska anläggningar är välutvecklad och kan genomföras i industriell skala på ett säkert och ekonomiskt sätt. Det är dock fortfarande så att varje projekt är unikt. Detta visar sig bl a vid kostnadsjämförelser. Flera jämförande studier har genomförts men det har i många fall visat sig vara komplicerat att jämföra kostnader eftersom så många anläggnings- och landsspecifika förutsättningar råder. Öppenheten vid redovisning av kostnader är också begränsad bl a av kommersiella skäl.

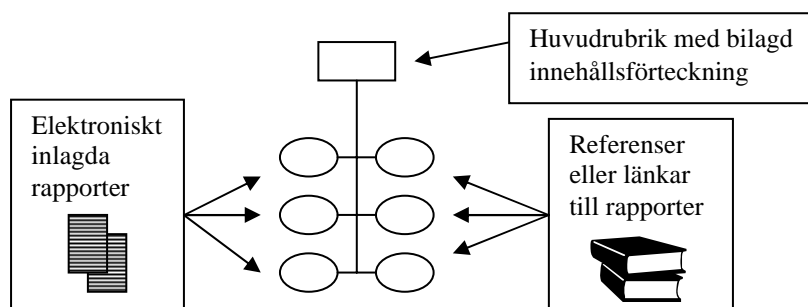
## 4.5 Rivningsdatabasen

SKB har ansvar för att sammanställa information kring hur en rivning av en svensk kärnkraftsreaktor bör gå till. Denna information uppdateras och kompletteras ständigt och blir därigenom allt mer omfattande. För att få en struktur på all denna bakgrundsinformation har en rivningsdatabas byggts upp, där dokument och referenser rörande rivning av kärnkraftverk samlas /15/. Rivningsdatabasen har byggts upp med kriterier att den ska vara:

- Överskådlig.
- Aktuell.
- Kunskapssäkerställande.
- Lätt kommunicerbar.
- Kontinuerlig.
- Kvalitetssäkrad.

Det primära syftet med Rivningsdatabasen är att den ska tillgängliggöra relevant information om rivning för de som arbetar inom området. Dessutom ger den en samlad bild av kunskapsläget inom olika rivningsrelaterade områden.

Rivningsdatabasen har lagts upp på en kommersiell webserver, som är åtkomlig för registrerade användare via Internet. Rivningsdatabasen har en hierarkisk mappstruktur, som gör det möjligt att lägga in informationen på olika nivåer. Informationen är sedan inlagd i form av en komplett dokumentfil, en intern länk till något dokument i databasen eller i form av en extern länk till något annat dokument tillgängligt på Internet, se figur 4-10.



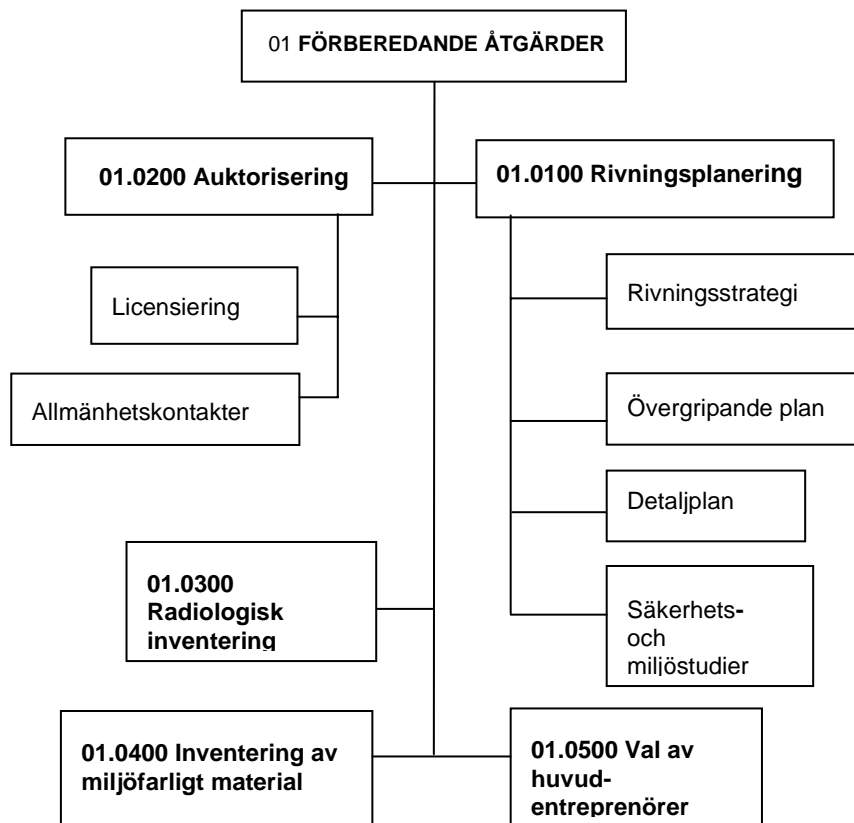
Figur 4-10. Typ av information på olika nivåer.

Innehållet har samma struktur som rekommenderas i EU/IAEA/OECD-studien, ”A Proposed Standardised List of Items For Costing Purposes in the Decommissioning of Nuclear Installations” /16/. Eftersom denna struktur gör anspråk på att vara komplett, leder det till att det framgår vilka områden som är starkt respektive svagt underbyggda.

Denna struktur är på högsta nivån indelad i följande 11 sektioner:

- 01 Förberedande åtgärder
- 02 Avställning
- 03 Införskaffande av särskild utrustning och material
- 04 Rivningsaktiviteter
- 05 Hantering, mellanlagring och slutlig lagring av rivningsavfall
- 06 Anläggningens säkerhet, övervakning och underhåll
- 07 Återställande av platsen
- 08 Projektledning, teknikstab och service
- 09 Forskning och utveckling
- 10 Bränsle och kärnämnen
- 11 Övriga kostnader

Databasen utnyttjar även nästa underliggande rubrikstruktur. Exempel på underrubriker till den första huvudrubriken, Förberedande åtgärder, visas i figur 4-11.



Figur 4-11. Underliggande rubrikstruktur till huvudpunkten Förberedande åtgärder.

## 5 Kostnader

### 5.1 Allmänt

En sammanställning av de totala rivningskostnaderna för de svenska kärnkraftverken finns redovisade i tabell 5-3. Detta är en uppdaterad version av vad som tidigare presenterats i /3/ både avseende kostnadsutveckling och kostnadsposter. Där nya kostnadsuppgifter tagits fram så anges dessa siffror i sammanställningen. För de fall där föregående studies resultat fortfarande anses gälla, eller där brister i tidigare underlag konstaterats men ej kvantifierats, har en indexuppräknings gjorts.

#### 5.1.1 Kostnadsuppräknings

Om inget annat nämns, anges alla kostnadsposter i kostnadsnivån januari 2004.

Uppräkningen av kostnadsposterna från föregående studie har baserats på Statistiska Centralbyråns Arbetskostnadsindex, eftersom kostnaderna huvudsakligen utgörs av mantid. Detta ger en kostnadsökning mellan januari 2000 till januari 2004 på ca 20 % för tjänstemän och ca 13 % för arbetare. Eftersom aktuella insatser huvudsakligen är av den senare personalkategorien, har en viktad total kostnadsökning satts till 15 %.

Den uppräknade mantidskostnaden blir då 680 kSEK per manår, vilket motsvarar ca 430 SEK per arbetstimme.

#### 5.1.2 Förändrade kostnadsposter

Under perioden från föregående rivningssammanställning /3/ har kostnadsunderlaget främst uppdaterats avseende avställnings- och servicedrift. Här har ett helt nytt underlag tagits fram utifrån detaljuppskattningar för alla förmodade kostnadskomponenter under dessa avvecklingsfaser /5/. Se vidare kapitel 5.2.

Vidare har, som beskrivits i kapitel 4.3, nya kostnadsuppskattningar gjorts för omhändertagande av interndelar genom segmentering /12/. Baserat på de maninsatser och utrustningskostnader som erhöles vid segmenteringsprojektet på Forsmark 1 och 2, samt med ett antagande om samfinansiering mellan de olika blocken av utrustningsframtagningen, gjordes en bedömning som låg något under de kostnader som tidigare uppskattats. Dessa poster har införts med fet stil i kostnadssammanställningen (tabell 5-2) för att markera att de avser en reviderad bedömning jämfört med /3/. Kostnaden har också uppräknats med samma index som angetts under kapitel 5.1.1.

Studien föreslår inga övriga justeringar av kostnadsmodellen med det underlag som föreligger idag.

## 5.2 Avställnings- och servicedrift

I kostnaderna för avställnings- och servicedrift ingår de åtgärder som behöver vidtas från det att anläggningen tas ur drift till dess att det egentliga rivningsarbetet påbörjas. Kostnaderna förknippade med denna period har uppskattats i en särskild studie /5/ som beskrivits under kapitel 2.3.

Den överordnade metodiken för kostnadsuppskattningen bygger på att en modell där totalkostnaden för ett skede utgörs av summan av kostnaden för de aktiviteter, eller projekt, som genomförs under denna period samt en baskostnad, bestående av kostnader för personalens basbeläggning samt årliga avgifter av olika slag. Baskostnaden är därigenom helt beroende av hur många år som aktuellt skede pågår. Aktivitetskostnaden är däremot oberoende av under hur lång tid som skedet pågår.

Avställningsdriften antas ha en fix längd på 1,5–2 år, eftersom kraftverksägaren förutsätts att så snart möjligt avlägsna allt bränsle från anläggningsplatsen. På så sätt blir kostnaden för avställningsdriften helt styrt av vilka aktiviteter som genomförs under detta skede.

Servicedriften däremot, kan variera avsevärt i längd beroende på olika omständigheter. Även under detta skede genomförs ett antal aktiviteter, främst under dess inledning, när stationen tas ned till ett basläge, och vid dess slutskede, det så kallade återetablerings-skedet, då stationen förbereds för rivningsdrift. Här skiljs på kostnaden för genomförda aktiviteter och den årliga baskostnaden, så att hänsyn kan tas till olika scenarier, med olika servicedriftstid, vid kostnadssammanställningen.

Kostnadsuppskattningen har dragit nytta av de erfarenheter som gjorts på Barsebäcksverket, där Barsebäck 1 nu gått från avställningsdrift in i servicedrift. Kostnadsposterna har dock generaliserats för att vara mer representativa för samtliga svenska reaktorblock.

De uppskattade kostnaderna har tagits fram med förutsättningen att det aktuella reaktorblocket är helt fristående. Detta innebär att det som inte den angivna organisationen kan utföra på egen hand köps in från lokala firmor, större entreprenörer eller andra specialiserade företag.

Bemanningen har dock gjorts utifrån förutsättningen att personal av olika kategorier finns tillgängliga i erforderlig omfattning. Detta har resulterat att många funktioner bemannats på deltid. Detta förutsätter alltså att denna personal delar sin tid mellan olika block eller kan tillhandahållas på deltid från en annan organisation.

De svenska anläggningsplatserna har flera reaktorblock, vilket innebär att det under mer eller mindre tid kommer att finnas ett kraftproducerande block på samma plats som det avställda. Det gör att många av de löpande insatser som erfordras under avställnings- och servicedriften kan samordnas med det kraftproducerande blockets organisation. Exempelvis kan samma vaktstyrka bevaka flera block och många specialistfunktioner kan betjäna flera block samtidigt till en lägre totalkostnad.

Detta gäller för personalkostnaden men för de övriga kostnadsslagen (drift- och underhålls-, projekt-, fasta samt administrativa kostnader) antas att kostnaderna endast påverkas marginellt av samordningen.

Reaktorblocken på de svenska anläggningsplatserna är sinsemellan av skiftande konstruktion med varierande utformning och storlek. Det har dock bedömts att kostnaderna för avställnings- och servicedrift endast i mindre omfattning påverkas av dessa skillnader eftersom flertalet av kostnadsposterna är oberoende, alternativt påverkas i mindre grad, av anläggningens tekniska utformning och storlek.

Den resulterande kostnaden har i tabell 5-1 sammanställts för fyra olika fall: ett där rivningen startar omedelbart efter avställningsdriften samt tre ytterligare fall med 1, 2 respektive 3 efterföljande år av servicedrift. Sammanställningen har gjorts enligt den struktur som rekommenderas av OECD/NEA, EU och IAEA /16/ och som beskrivs i kapitel 4.

Myndighetskostnaderna är heller inte medtagna i summeringen i tabell 5-1, men en uppskattning av dessa har indikerats såsom post 11.03.

**Tabell 5-1. Kostnader, sorterade enligt OECD/NEA, för rivning av enstaka block med 0–3 års servicedriftsperiod (MSEK).**

NEA-kod	Kostnadspost	Totalkostnad för rivning av ett block med olika antal servicedriftsår (MSEK)			
		0 år	1 år	2 år	3 år
01.01	Avvecklingsplanering	5,0	5,8	5,0	5,8
01.02	Licensiering och tillståndsinhämtning	2,0	2,0	2,0	2,0
01.03	Radiologisk kartläggning för planering	1,5	1,5	1,7	1,7
02.01	Avställning av drift	59,2	59,2	56,7	56,7
02.02	Avlägsnande av bränsle	9,0	9,0	9,0	9,0
02.07	Systemdekontaminering för dosreduktion	35,0	35,0	35,0	35,0
02.12	Isolering av kraftutrustning	1,4	1,4	1,4	1,4
04.03	Förberedelse för konservering	0,4	0,6	0,8	1,0
04.06	Omkonfigurering av anläggningen	6,0	6,0	6,0	6,0
04.22	Dekontaminering för återanvändning	0,6	0,9	1,2	1,5
06.01	Övervakning av områdets yttre skydd	11,0	14,3	17,5	20,8
06.02	Service- och rivningsdrift	0,0	14,6	30,1	42,9
06.03	Områdets skötsel	3,0	4,5	6,0	7,5
06.04	Energi och vatten	4,5	6,8	9,0	11,3
06.05	Periodisk undersökning av radioaktivitet och miljö	5,0	7,5	9,0	11,5
08.02	Projektledning och teknikstab	4,0	6,0	4,0	6,0
08.03	Samhällskontakt	1,0	1,5	2,0	2,5
08.04	Hälsa och säkerhet	2,0	2,6	4,3	4,9
11.03	Generella avgifter, inspektioner, certifieringar, kontroller	(20,0)	(30,0)	(40,0)	(50,0)
11.05	Försäkringar	2,0	3,0	4,0	5,0
11.06	Generell administration	11,0	16,3	21,5	26,8
	TOTALT	163,6	198,3	226,2	259,1



I studien /5/ har vidare de olika kostnadsposterna grupperats med följande antaganden beträffande finansieringen:

- Kostnader som avser aktiviteter som syftar till planering och förberedelse inför avställnings- och servicedrift bekostas av medel som kraftverksägaren själv avsatt, oavsett när dessa kostnader uppstår (dvs även om delar av dessa aktiviteter av praktiska skäl genomförs under själva avställningsdriftsperioden).
- Kostnader som avser aktiviteter som syftar till planering och förberedelse inför själva rivningen bekostas av medel från verkets andel i "Kärnavfallsfonden". Dessa kostnader sorteras under PLAN-redovisningens rubrik "Rivning", oavsett när dessa kostnader uppstår.
- Alla övriga aktiviteter och kostnadsposter som primärt syftar till att hålla anläggningen i avsett skick under avställnings- och servicedriftsperioden bekostas av Kärnavfallsfonden och redovisas under rubriken "Drift vid avställda kärnkraftsblock".
- Kostnader för avgifter till myndigheterna (SKI och SSI) uppskattas men redovisas separat eftersom dessa inte tidigare angetts i PLAN-redovisningarna utan lagts till separat.

I tabell 5-2 redovisas totalkostnaderna, sorterade enligt ovan, för varierande längd för avställnings- och servicedriftsperioderna: allt från direkt rivning efter avställningsdriften, dvs 0 antal servicedriftsår, upp till en servicedriftsperiod på 15 år. De kostnader som i tabellen angetts tillhöra rivning, dvs att betrakta som rivningsförberedelser, har inte lagts in i sammanställningen av rivningskostnaderna i tabell 5-3. Detta eftersom rivningsförberedelsernas totalkostnad är beroende av vilket scenario som antas gälla för reaktorernas avställning, dvs hur lång servicedrift som kan vara aktuell för respektive block. I tabell 5-2 har en återetableringsperiod på tre år antagits efter en längre tids servicedrift. Denna återetablering torde dock kunna genomföras på två år.

**Tabell 5-2. Uppskattning av totalkostnaden (exklusive myndighetskostnader) för avställnings- och servicedriftsperioden med olika antal servicedriftsår.**

Antal service-driftsår	Drift-relaterade kostnader (MSEK)	Avställnings- och servicedrifts-kostnader (MSEK)	Kostnader för rivningsförberedelser (MSEK)	Summa (MSEK)
0	1,6	113	51	165
1	1,6	124	74	200
2	2,6	133	93	228
3	2,6	142	117	261
4	2,6	161	120	284
5	2,6	178	125	305
6	2,6	186	123	312
7	2,6	195	148	345
8	2,6	203	149	354
9	2,6	211	150	363
10	2,6	221	172	396
11	3,6	230	173	406
12	3,6	238	174	416
13	3,6	247	175	425
14	3,6	255	176	435
15	3,6	265	177	446

### 5.3 Rivningsdrift

I kostnader för rivningsdrift ingår kraftverkets personal under perioden från systemrivning till återställande av marken. Här ingår bl a övergripande planering, övervakning av tillträden till anläggningen, drift av anläggningens system före successiv avstängning, behandling av gods efter rivning, avfallsbehandling samt strålskyddsåtgärder. Kostnader för rivningsdriften redovisas i tabell 5-3.

### 5.4 Rivning av processystem

Kostnader för rivning av system, inklusive reaktortanken och dess interna delar, har beräknats i föregående rivningsstudier /2, 3/. Dessa typer av arbeten antas utföras av entreprenörer till marknadsmässiga priser. Uppräknat till dagens (januari 2004) kostnadsnivå är kostnaderna som följer.

Kostnaderna för arbetsinsatserna för rivning av processystemen på Oskarshamn 3 har beräknats till 592 MSEK. Härtill kommer verktygsförbrukning och inhyrning av specialmaskiner. Kostnaden för maskinanskaffning har beräknats till 66 MSEK. Maskinerna kan användas för flera block. Efter rivningen antas därför ett restvärde på 46 MSEK. Nettokostnaden per block för maskinanskaffning blir då 20 MSEK. Verktygsförbrukningen har beräknats till 9 MSEK. Detta ger totalt ca 621 MSEK för systemrivningen av Oskarshamn 3.

För Ringhals 2 har systemrivningskostnaden i tidigare studie bedömts till ca 250 MSEK /3/.

Rivning och sönderdelning av de interna delarna och reaktortanken i Forsmark 1 har tidigare studerats /2/. Rivning och sönderdelning av reaktortankarna har beräknats till ca 63 MSEK per block. Kostnad för sönderdelning av de interna delarna har beräknats till 16–39 MSEK per block enligt en senare studie /12/, se kapitel 5.1.2. Dessa kostnader har beräknats utifrån ett antagande om samfinansiering av utrustningsinvesteringen mellan olika reaktorblock beroende på när åtgärderna ligger i tiden, därigenom den stora skillnaden mellan de olika blocken.

Demontage och utlyft av hel reaktortank har också tidigare studerats. Kostnaderna för detta har bedömts till ca 18–25 MSEK för Forsmark 1 samt 25 MSEK för Ringhals 1 och Ringhals 3.

I kostnadssammanställningarna har alternativet med sönderdelning av tanken redovisats.

### 5.5 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 å-priser. I dessa priser ingår utöver personalkostnader även kostnader för hyra av utrustning och maskiner. Kostnaden för byggnadsrivningen har beräknats till 267 MSEK för O3 och 183 MSEK för R2. I denna kostnad ingår även rivning av inaktiva byggnader som eventuellt inte behöver rivas. I tabell 5-3 framgår kostnaderna för övriga reaktorblock.

## 5.6 Sammanställning av rivningskostnader

I tabell 5-3 redovisas kostnaderna för rivning av de svenska kärnkraftverken uppdelat per block. Kostnaden har baserats på studier av de två referensanläggningarna, Oskarshamn 3 och Ringhals 2.

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 skillnad i storlek och konstruktion i de olika anläggningarna. För Ringhals 3 och 4 har samma kostnader för systemrivning använts som för referensanläggningen Ringhals 2.

Totala kostnaden för rivning av de svenska reaktorblocken uppskattas till ca 10 700 MSEK. Till detta kommer sedan kostnaden för avställnings- och servicedrift.

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, förutom material som kan återanvändas, antas läggas på en närliggande deponi.

**Tabell 5-3. Sammanställning av rivningskostnaderna för de svenska kärnkraftverken [MSEK] (poster som baserats på nytt underlag anges i fet stil).**

	B1	B2	F1	F2	F3	O1	O2	O3	R1	R2	R3	R4	Summa
Rivningsdrift	135	135	151	142	151	146	146	151	143	141	128	126	1 693
Rivning av tank	64	64	65	65	65	64	64	65	64	64	64	64	767
Rivning av interndelar	16	16	22	22	22	22	22	22	16	39	22	22	263
Rivning av system	394	394	602	602	620	360	394	620	482	248	248	248	5 213
Byggnadsrivning	148	176	214	203	289	123	154	267	175	183	189	202	2 324
Avfallsbehållare	9	10	16	16	17	7	9	17	11	14	14	14	154
Transp./dep. av inaktivt avfall	5	5	7	7	7	5	5	7	6	9	9	9	82
Miljöhantering	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	214
<b>Total rivning</b>	<b>788</b>	<b>816</b>	<b>1095</b>	<b>1075</b>	<b>1190</b>	<b>745</b>	<b>811</b>	<b>1167</b>	<b>915</b>	<b>715</b>	<b>691</b>	<b>702</b>	<b>10 710</b>

## **5.7 Transport och slutförvaring**

Kostnaderna för transport och slutförvaring av aktivt avfall redovisas inte i denna studie. Dessa kostnader redovisas separat.

## **5.8 Restvärde i anläggningarna**

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 verkstadsutrustning, lyftutrustningar och elanläggningar (till exempel 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 dock inte hänsyn tagits till några restvärden.

## 6 Utvecklingsområden

### 6.1 Generellt

De ursprungliga kostnadsuppskattningarna för avvecklingen av det svenska kärnkraftsprogrammet var baserade på ett stort mått av antaganden och uppskattningar. I takt med att mer kunskap genereras kring teknik och metoder för rivning så är det väsentligt att modellerna justeras och att påslagen för osäkerhet reduceras. Ju bättre erfarenheterna tas omhand, desto bättre tekniskt underlag, vilket i sin tur leder till mer realistiska kostnadsuppgifter. Det är därför en strävan att successivt ersätta antaganden med mer realistiska, spårbara, uppgifter.

Nedan anges vilka områden som bedöms som mest aktuella för kompletterande studier. För dessa områden har projekt redan startats eller har planer tagits fram för hur utredningsprojekt kan utformas.

### 6.2 Rivningsdrift och återställande av mark

I kostnadssammanställningen finns en post som benämns ”rivningsdrift” och avser anläggningsplatsens drift under rivningsskedet. Bakgrunden till denna kostnadsuppskattning har dock varit svår att spåra, varför det anses motiverat att ta fram ett nytt kostnadsunderlag, baserat på identifierbara reella poster.

En studie har därför initierats som syftar till att utarbeta en beskrivning av vad som innefattas av begreppet ”rivningsdrift” samt att ta fram en kostnadsuppskattning av de ingående delarna.

Den metodik som utvecklades under studien av avställnings- och servicedrift /5/ skall användas även här, så att årliga poster identifieras och kostnadsuppskattas på en tillräckligt detaljerad nivå. Uppgifterna ska redovisas på så sätt att det ska vara enkelt att revidera kostnadsbedömningen om andra uppgifter tillkommer eller om ett annat rivningsscenario blir aktuellt.

Med rivningsdrift menas upprätthållande av verksamheten på anläggningsplatsen under den tid som rivningen av anläggningens aktiva delar pågår. I denna studie ska även inkluderas den efterföljande perioden för rivning av friklassade byggnader och återställande av anläggningsplatsen. Det innefattar alla stödjande aktiviteter som erfordras för att förutsättningar ska finnas för projektens genomförande, såsom överordnad projektledning, anläggningstillsyn, underhåll av gemensamma anläggningsdelar, fortlöpande anpassning av hjälpsystem, bevakning, passerkontroll, städning, allmän service etc. Med projekt menas här de egentliga rivningsaktiviteterna som dekontaminering, systemrivning, avfallshantering, byggnadsrivning, transporter och återställande av marken.

### **6.3 Byggnadsrivning**

En av de största posterna i kostnadssammanställningen för rivning utgörs av byggnadsrivningen med en uppskattad totalkostnad, för tolv block, på drygt 2,3 miljarder kronor. Varje osäkerhet i denna uppskattning får därför ett stort genomslag för totalbedömningen av kostnaden. Underlaget för detta har dock inte följts upp på många år varför det finns skäl att se över det, inte minst eftersom rivningstekniken har utvecklats och nya regler införts under denna period.

En studie har därför startats inom detta område vars primära syfte är att göra en genomgång av metodiken för rivning av reaktor-anläggningarnas byggnader med beaktande av dagens tekniker, gällande lagar och förordningar samt andra regler och föreskrifter för hantering och kategorisering av rivningsavfallet. I studien ska även rivningsvolymen och kostnadsbedömningen för referensanläggningen Oskarshamn 3 granskas och uppdateras. Resultatet av studien ska utgöra referensmaterial för bedömning av motsvarande frågeställningar för andra anläggningar än referensanläggningen.

### **6.4 Hantering av reaktortank och interndelar**

Dagens underlag bygger på en segmentering av reaktortankarna före uttransport. Det finns dock anledning att tro att ett alternativ där tanken transporteras ut och deponeras hel, eventuellt med interndelarna på plats, är fullt genomförbart och dessutom mer kostnadseffektivt. Det bör därför fastslås vilket alternativ som är mest realistiskt, med beaktande av hanteringen både vid uttransport från blocket och vid deponering.

Kostnadsuppskattningen för respektive förfarande behöver också ses över.

### **6.5 Sammanställning för BWR**

Det har tidigare gjorts många utredningar för att få bättre förståelse inom olika områden av rivningsförloppet. Det är dock viktigt att dessa kan sammanfogas till en fungerande helhet så att inga glapp eller överlapp uppstår. Detta för att den tekniska utformningen av rivningsprogrammet ska vara trovärdig och motsvarande kostnadsuppskattning realistisk.

En studie har därför initierats som syftar till att ta fram ett heltäckande underlag för tidplan, kostnader och avfallsproduktion vid rivning av svenska kokarvattenreaktorer (BWR), som sammanfattar och kompletterar tidigare referensrapporter. Studien ska utformas så att det klart framgår vad som ingår och inte ingår och att det enkelt ska gå att revidera enskilda kostnadsposter när ny kunskap föreligger.

Eftersom nio av de tolv svenska reaktorerna är av BWR-typ, prioriteras dessa.

### **6.6 Sammanställning för PWR**

Motsvarande utredning som beskrivs i kapitel 6.5 bör även göras för de svenska tryckvattenreaktorerna (PWR). En liknande studie har gjorts i ENRESA:s regi för spanska PWR-reaktorer. Metodik och data kan användas från den studien för att få fram motsvarande resultat för svenska PWR på Ringhalsverket.

## 6.7 Dosuppskattning vid rivning

Den totala dosen vid rivning har i /2/ uppskattats till 12 manSv för systemrivningen och 2 manSv för segmentering av reaktortank och interndelar.

Det finns anledning att mer noggrant granska dessa uppgifter och se hur alternativa metoder kan påverka doserna. Vidare bör acceptabla målvärden ställas upp och en analys göras för att se vilka åtgärder som erfordras för att nå dem.

Barsebäcksverket genomför för närvarande en kampanj på det avställda block 1, där aktivitetsnivåerna för olika delar av anläggningen fastställs. Med dessa data som grund skulle doserna för genomförande av rivningen kunna göras genom att applicera rivningsscenarioer med olika uppehållstider i olika utrymmen för olika typer av personal.

## 7 Referenser

- 1 Teknik och kostnader för rivning av svenska kärnkraftverk. Svensk Kärnbränslehantering AB, maj 1986.
- 2 Teknik och kostnader för rivning av svenska kärnkraftverk. Svensk Kärnbränslehantering AB, (engelsk utgåva betecknad med SKB TR 94-20), juni 1994.
- 3 **Hedin G, Torstenfelt B, Carlsson J, 2000.** Teknik och kostnader för rivning av svenska kärnkraftverk. SKB R-00-18, Svensk Kärnbränslehantering AB.
- 4 **Hedin G, 2000.** Studie av rivningslogik för nukleära anläggningar i Sverige. Westinghouse, Rapport SP 00-129.
- 5 **Pålsson J, Dolck P-A, Hedin G, 2003.** Studie av avställnings- och servicedrift för svenska kärnkraftverk. Westinghouse, Rapport SEP 03-508.
- 6 **Hamrefors G, 2004.** Friklassning av material från rivning av kärntekniska anläggningar i Sverige. SSI, Rapport 2004:03.
- 7 **Pulkkinen R, 1997.** Olkiluoto 1–2. Demontage av hel reaktortank vid nedläggning. Vattenfall, Arbetsrapport VLJ-8/97.
- 8 **Pillokat, 1993.** Conceptual Study of the Dismantling of Reactor Pressure Vessel and Reactor Pressure Vessel Internals. Siemens, Report NR-R/93/041.
- 9 **Kalderud B, Hildén A, 1991.** Demontage, transport och deponering av hel reaktortank, Etapp 2 (Forsmark 1). Vattenfall Energisystem AB, BEK 29/91.
- 10 **Stenberg T, 1993.** Heltanksstudie för Ringhals 1 och Ringhals 3. SKB Arbetsrapport 94-30, Svensk Kärnbränslehantering AB.
- 11 Regulations for the Safe Transport of Radioactive Material. 19985 Edition (As Amended 1990). IAEA, Safety Series No 6, 1990.
- 12 **Fornander L, Hedin G, 2001.** Uppföljning av segmentering av interna delar på Forsmark 1 och 2. Westinghouse, Rapport SPP 01-021.
- 13 **Lönnerberg B, 1994.** Rivningsstudie för Oskarshamn 3 – Processutrustning. ABB Atom, Rapport NM 94-627.
- 14 **Gustavsson B, 2003.** Studie av rivningsparametrar för elkomponenter. Westinghouse, Rapport SEP 03-033.
- 15 **Hamrefors G, 2001.** Rivningsdatabas – Manual. Westinghouse, Rapport SEP 01-110.
- 16 A Proposed Standardised List of Items For Costing Purposes in the Decommissioning of Nuclear Installations. Interim Technical Document, EC/IAEA/OECD/NEA, NEA, Paris, september 1999.