

The logo for SKB (Svensk Kärnbränslehantering AB) consists of the letters 'S', 'K', and 'B' in a bold, white, sans-serif font, each contained within a separate black vertical rectangular block.

**KÄRNKRAFTENS
SLUTSTEG**

Teknik och kostnader för rivning av svenska kärnkraftverk

Maj 1986

**TEKNIK OCH KOSTNADER FÖR RIVNING
AV SVENSKA KÄRNKRAFTVERK**

Utarbetad av en arbetsgrupp inom svensk
kraftindustri

Maj 1986

SAMMANFATTNING

När ett kärnkraftverk tas ur drift är delar av det radioaktiva, och måste rivras och tas om hand på ett säkert sätt. I denna studie redovisas tillvägagångssätt och kostnader vid rivning.

Studien visar att man kan riva ett kärnkraftverk på ett ur strål-skyddssynpunkt säkert sätt direkt efter att det har tagits ur drift och bränslet har transporterats bort, vilket beräknas ta ca 1 år. Huvuddelen av den utrustning, som kommer att användas vid rivningen, finns redan tillgänglig och används rutinmässigt vid underhåll och ombyggnader på kraftverken. Specialutrustning behöver endast tas fram för demontering av reaktortanken och för rivning av kraftiga betongkonstruktioner. I studien ges exempel på befintlig utrustning, som kan användas efter smärre modifieringar.

Rivningen av ett kärnkraftverk kan genomföras på ca 5 år, med en genomsnittlig personalinsats av ca 200 man. Maximalt har för Ringhals 1 personalstyrkan beräknats uppgå till ca 500 man under de första åren, då aktiva system rivs på flera fronter i anläggningen. Under de sista åren då byggnaderna rivs behövs ca 50 man.

För att begränsa arbetsinsatsen och dosbelastningen till personalen, tas materialet ut i så stora bitar som möjligt. Detta innebär till exempel att rör kapas i längder om 2-5 m, och packas direkt i avfallscontainers, och att vissa apparater tas ut och transporteras hela.

I studien har i första hand direkt rivning studerats. Genom att vänta några tiotal år, kan vissa fördelar ur rivningssynpunkt erhållas på grund av att radioaktiviteten i anläggningen avtar. Vid direkt rivning kan samma effekt uppnås genom systemrengöring (dekontaminering). Flera andra faktorer påverkar också valet av rivningstidpunkt, t ex tillgång på personal, behov av markområdet och tillgång på slutförvar. Även icke-tekniska faktorer kommer att få betydelse. Valet av rivningstidpunkt kan därför variera för olika anläggningar.

Kostnaden för att riva en kokvattenreaktor (BWR) av Ringhals 1 storlek har beräknats till ca 540 MSEK i penningvärde januari 1986, och för en tryckvattenreaktor (PWR, Ringhals 2) till ca 460 MSEK. För de övriga svenska kärnkraftverken ligger kostnaderna i intervallet 410-760 MSEK. Detta är de direkta kostnaderna för rivningsarbetet. Till dem skall läggas kostnader för att transportera bort och slutförvara rivningsavfallet, ca 100 000 m³. Dessa har

beräknats till totalt ca 600 MSEK för de tolv svenska reaktorerna /1/.

Ytterligare kostnader tillkommer för avställningsperioden från det att kärnkraftverket slutligen tas ur drift till dess rivningsarbetet påbörjas. Under denna period transporteras bränslet bort och viss dekontaminering görs. Kostnaderna för avställningsperioden blir starkt beroende av i vilken takt verken ställs av och hur lång avställningsperioden blir.

På reaktorinstalleringarna finns det betydande mängder reservdelar, material och utrustning, som kan försäljas i samband med att anläggningarna läggs ned. Totalt uppskattas värdet av detta vara ca 900 MSEK för alla kärnkraftverk. Därtill kommer värdet av mark och infrastruktur.

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

Tabell S-1: Sammanställning av kostnader för rivning m m av de svenska kärnkraftverken.

	Oskarshamn 1-3	Barsebäck 1-2	Ringhals 1-4	Forsmark 1-3
Avställningsdrift	190	110	310	190
Rivning	1630	950	1920	2190
Transport och slutförvar av avfall	150	90	190	170
Totalt	1970	1150	2420	2550
Restvärde	-230	-150	-300	-230

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

	Sida
SAMMANFATTNING	i
1 BAKGRUND	1
2 TIDPUNKT FÖR RIVNING	4
2.1 Faktorer som påverkar rivningstidpunkten	4
2.1.1 Allmänt	4
2.1.2 Anläggningens aktivitetsinnehåll och stråldoser i olika utrymmen	5
2.1.3 Anläggningens status för övrigt	6
2.1.4 Återanvändning av mark och faciliteter	6
2.1.5 Tillgång på personal med anläggningskännedom	6
2.1.6 Slutförvar för avfallet	7
2.1.7 Kostnad för övervakning	7
2.1.8 Tillgång på teknik för att genomföra rivningen	8
2.1.9 Tillgång på ekonomiska medel	8
2.1.10 Slutsats	8
2.2 Tidplan för rivning	9
3 FÖRUTSÄTTNINGAR FÖR RIVNINGSSSTUDIEN	11
4 AKTIVITETSINNEHÅLL	14
4.1 Material med inducerad aktivitet	14
4.2 Material med ytkontamination (crud)	17
4.3 Övrigt	18
5 TEKNISK BESKRIVNING AV RIVNINGENS OLIKA FASER	19
5.1 Allmänt	19
5.2 Avställningsdrift vid direkt rivning	19
5.2.1 Allmänt	19
5.2.2 Bränslehantering	19
5.2.3 Systemdekontaminering	21
5.3 Systemrivning - BWR	21
5.3.1 Systembehov under rivningen	21
5.3.2 Principer för genomförande	22
5.3.3 Kommunikation och materialtransporter	24
5.3.4 Genomförande av systemrivningen	25

	Sida
5.4	Systemrivning - PWR 28
5.5	Byggnadsrivning 29
5.5.1	Aktiv byggnadsrivning 29
5.5.2	Inaktiv byggnadsrivning 31
6	TIDPLAN OCH PERSONALBEHOV 32
7	AVFALLSHANTERING 35
7.1	Materialmängder 35
7.2	Klassning av avfall 37
7.3	Behandling av avfallet 38
7.4	Transport av rivningsavfall 39
7.5	Slutförvaring av rivningsavfall 41
8	KOSTNADSUPPSKATTNING 44
8.1	Grunder och metodik 44
8.1.1	Allmänt 44
8.1.2	Avställningsdrift 44
8.1.3	Rivning av aktiva system 44
8.1.4	Rivning av inaktiva system 45
8.1.5	Byggnadsrivning 45
8.2	Kostnadssammanställning - Referensanläggningar 46
8.2.1	Avställningsdrift 46
8.2.2	Rivning 46
8.3	Kostnader för övriga svenska kärnkraftverk 46
8.3.1	Avställningsdrift 46
8.3.2	Rivningskostnader 46
8.3.3	Transport och slutförvaring 48
8.4	Restvärde i reaktoranläggningen 48
9	DISKUSSION KRING MÖJLIGA FÖRÄNDRINGAR 49
9.1	Senarelagd rivning 49
9.2	Hantering och slutförvaring av hel reaktortank 51
	REFERENSER 54

1 BAKGRUND

Driften av ett kärnkraftverk leder till att delar av verket blir radioaktivt nedsmutsade. Det sker dels genom att materialet i reaktortanken och den närmast omgivande betongen blir aktiverat genom neutronbestrålning, dels genom att radioaktiva produkter förs ut till olika system i anläggningen, främst via reaktorvattnet. Dessa delar av kärnkraftverket måste därför tas om hand och rivs på ett ur strålskyddssynpunkt säkert sätt.

Kostnaderna för att ta kärnkraftverken ur drift och sedermera riva dem utgör enligt tidigare beräkningar en stor andel av de totala kostnaderna för omhändertagande av kärnkraftens restprodukter.

Enligt kärntekniklagen (SFS 1984:3) åligger det den, som har tillstånd till kärnteknisk verksamhet, att bland annat

"svara för att de åtgärder vidtas, som behövs för att på ett säkert sätt avveckla och riva anläggningar i vilka verksamheten inte längre skall bedrivas"

Enligt finansieringslagen (SFS 1981:669) åligger det en reaktorinnehavare att upprätta en beräkning av kostnaderna för att avveckla och riva anläggningen.

De svenska kärnkraftföretagen har uppdragit åt Svensk Kärnbränslehantering AB att samordna och bedriva nödvändig verksamhet för att uppfylla dessa åligganden. SKB sammanställer därför årligen en kostnadsberäkning över de åtgärder, som behöver vidtas för att ta hand om kärnkraftens restprodukter, inklusive avveckling och rivning av kärnkraftverken /1/.

Kostnadsberäkningen har tidigare, beträffande rivning av kärnkraftverken, baserats på en studie, som genomfördes av SKB 1979 /2/. Med hänsyn till främst den ökade erfarenhet som erhållits från underhålls- och ombyggnadsarbeten på kärnkraftverken har det nu varit motiverat att uppdatera studien.

Det svenska kärnkraftsprogrammet omfattar 12 aggregat (se tabell 1-1), 9 BWR av ASEA-ATOMS konstruktion och 3 PWR av Westinghouses konstruktion. Det första aggregatet, Oskarshamn I, togs i drift 1972 och de två sista, Oskarshamn 3 och Forsmark 3, 1985.

Tabell 1-1: Sveriges kärnreaktorer

Reaktor	Typ	Effekt MWe	Kommersiell drift
Oskarshamn 1	BWR	440	1972
Oskarshamn 2	BWR	595	1974
Oskarshamn 3	BWR	1050	1985
Ringhals 1	BWR	750	1976
Ringhals 2	PWR	800	1975
Ringhals 3	PWR	915	1981
Ringhals 4	PWR	915	1983
Barsebäck 1	BWR	595	1975
Barsebäck 2	BWR	595	1977
Forsmark 1	BWR	972	1980
Forsmark 2	BWR	972	1981
Forsmark 3	BWR	1050	1985

Enligt gällande riksdagsbeslut skall inga ytterligare kärnkraftverk byggas i Sverige.

Beslutet anger också att inga kärnkraftverk skall vara i drift efter år 2010, och att den ordning i vilken avställningen skall ske får bestämmas med hänsyn till anläggningarnas säkerhet. De svenska kärnkraftverken bedöms ha en teknisk livslängd av minst 40 år. Ingen av dem kommer att ha uppnått denna ålder 2010. Avställningstakten baseras således inte på den tekniska livslängden.

I denna studie antas att alla kärnkraftverk tas ur drift i slutet av år 2010. Den direkta kostnaden för att riva ett kraftverksblock påverkas inte av detta antagande. Däremot får det betydelse för kostnaderna för avställningsdriften, dvs perioden mellan slutavställning och start av egentlig rivning. En beräkning av dessa kostnader genomförs därför även för det mera realistiska fallet att den slutliga avställningen av verken sprids ut över en 5-årsperiod.

Kostnadsberäkningarna omfattar samtliga svenska kärnkraftverk. De har genomförts i detalj för Ringhals 1 och 2. Ringhals 1 är representativ för en BWR med externa kylpumpar. Som en komplettering har rivningen av reaktortanken studerats även för Forsmark 3, som är representativ för en BWR med interna pumpar. Ringhals 2 är representativ för svenska PWR. För övriga reaktorer har rivningskostnaderna beräknats genom proportionering mot ingående materialmängder.

Studien har genomförts i nära samarbete med personal på kärnkraftverken. I studien har Vattenfall, Sydkraft och OKG medverkat.



Figur 1-1. Vy över Ringhalsverket, med M/S Sigyn i förgrunden.
(Foto Hallandsbild)

Arbetet har delats upp så att:

Vattenfall studerat rivning av reaktortank och system;

Sydskraft studerat rivning av byggnader;

OKG studerat driften av anläggningen från det att elproduktionen upphört till rivningen påbörjas, samt vissa driftinsatser under rivningsperioden.

Arbetet har letts av en styrgrupp bestående av

Arnold Amberntson	Sydskraft
Hans Forsström	SKB
Bertil Mandahl	OKG
Stig Pettersson	Vattenfall

Delområdena har redovisats i ett antal arbetsrapporter /3-8/. Styrgruppen har sammanställt denna rapport baserad på arbetsrapporterna.

2 TIDPUNKT FÖR RIVNING

2.1 FAKTORER SOM PÅVERKAR RIVNINGSTIDPUNKTEN

2.1.1 Allmänt

När ett kärnkraftverk tas ur drift finns bränslet kvar i reaktorn, och verket kräver normal bemanning. För att kunna minska personalbehovet blir därför den första åtgärden att så snart som möjligt transportera bort bränslet till CLAB för mellanlagring. Bestämmande för i vilken takt detta kan ske är dels bränslets resteffekt, dels transport- och mottagningskapaciteten för CLAB.

När allt bränsle är borta finns det två alternativ för hur man går vidare:

- Rivningen inleds omedelbart, eller
- Verket "konserveras" och övervakas under en viss tidsperiod (20 - 100 år), innan det slutligen rivs.

Tabell 2-1: Exempel på faktorer som påverkar rivningstidpunkten.

Anläggningens aktivitetsinnehåll och stråldoser i olika utrymmen

Anläggningens status för övrigt

Återanvändning av mark och faciliteter

Tillgång på personal med anläggningskännedom

Slutförvar för avfallet

Kostnad för övervakning

Tillgång på teknik för att genomföra rivningen

Tillgång på ekonomiska medel

Politiska och sociala faktorer

Genom en senareläggning av rivningen tillgodoser man sig radioaktivitetens avklingning, varigenom delar av rivningsinsatserna kan förenklas.

Vilket alternativ, som väljs beror av ett flertal olika faktorer, som kan variera från land till land och även mellan olika kraftverk i ett land. Frågan har diskuterats mycket i olika internationella sammanhang, men någon gemensam slutsats har inte kunnat formuleras /11/. I det följande belyses några av de faktorer, som påverkar valet.

2.1.2 Anläggningens aktivitetsinnehåll och stråldoser i olika utrymmen

Det främsta skälet att senarelägga rivningen av ett kärnkraftverk är att aktivitetsinnehållet ges tillfälle att avklinga. Därmed minskar strålnivån i anläggningen och rivningsarbetet torde förenklas. Det kan även medföra att dosbelastningen till personalen minskar.

Huvuddelen av aktiviteten i ett avställt kärnkraftverk finns i reaktortankens interna delar, vilka blivit aktiverade genom neutronbestrålning från härden. Även reaktortanken och betongstrålskärmen närmast reaktortanken, biologiska skärmen, är aktiverade. Det är främst för dessa delar, som en utsträckt förvaringsperiod innan rivningen har betydelse.

Aktiviteten i reaktortanken och dess interna delar domineras ur strålningssynpunkt av Co-60, och i betongen även av Eu-152 och 154. Co-60 har en halveringstid på ca 5 år, vilket innebär att stråldosen minskar med ca en faktor 250 på 40 år. Eu-152 har halveringstiden 13 år, vilket innebär att den minskar med ca en faktor 10 på samma tid.

För reaktortankens interna delar kommer även efter 40 års avklingning strålnivån att vara så hög att kapning och hantering av dessa delar måste ske med strålskärning och med hjälp av avståndsmanövrering. En senareläggning av rivningstidpunkten påverkar därför inte rivningsmetoden för dessa i större utsträckning. För reaktortanken och biologiska skärmen kan dock en senareläggning ge positiva effekter.

I övriga delar av anläggningen är aktivitetsinnehållet mycket lägre. Det utgörs främst av föroreningar, crud, som från reaktortanken via reaktorvattnet förts över till övriga primärsystem. Även här är Co-60 dominant nuklid ur strålningssynpunkt.

Strålnivån kommer dock att vara så låg i de flesta utrymmen att rivningsarbetet kan genomföras på ett ur strålskyddssynpunkt acceptabelt sätt redan kort tid efter avställningen. Genom att genomföra en ordentlig systemdekontaminering innan det egentliga rivningsarbetet påbörjas bedöms dessutom strålnivån kunna sänkas med en faktor 10-100, vilket motsvarar ca 15-30 års avklingning.

Sammantaget finner man att även om en senareläggning kan ge vissa fördelar ur dossynpunkt, blir det inga avgörande skillnader mot om rivningen påbörjas direkt.

2.1.3 Anläggningens status för övrigt

Konditionen hos anläggningens system, komponenter och byggnadsdelar har betydelse vid val av rivningstidpunkt. Sålunda måste man ifall rivningstidpunkten förskjuts kunna visa att anläggningen inte försämras, så att risk för läckage och utsläpp uppkommer. Med en måttlig insats av byggnadsunderhåll, främst takunderhåll, samt med lämplig frekvens återkommande kontroller och övervakning, bedöms kärnkraftverken kunna hållas i gott skick under flera 10-tal år.

2.1.4 Återanvändning av mark och faciliteter

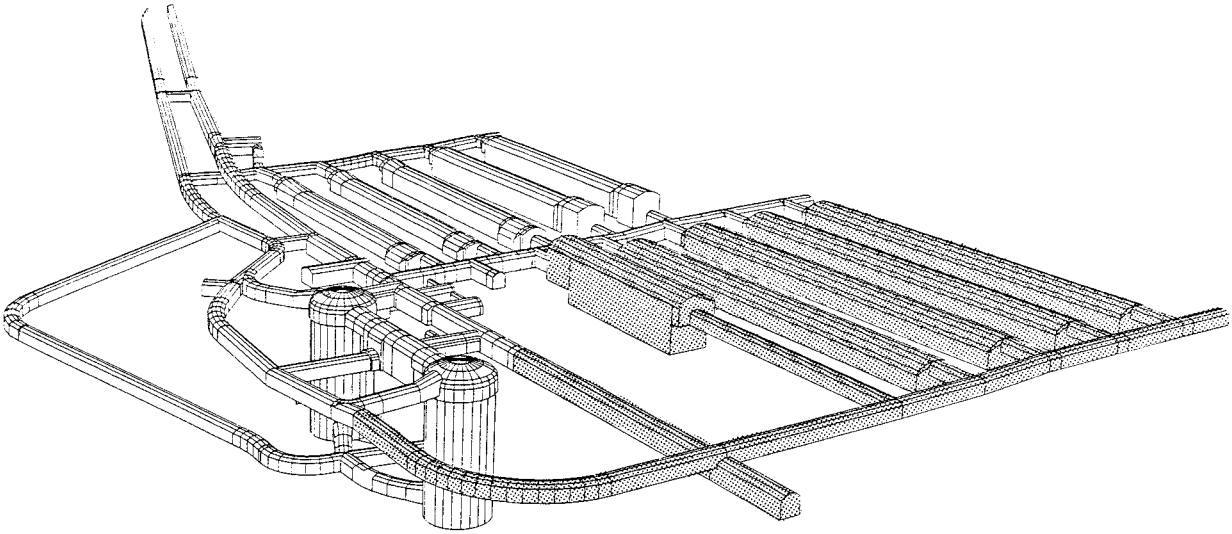
Platsen, där kärnkraftverket är beläget, torde även i framtiden vara lämpad för industriändamål. På platsen finns en betydande infrastruktur uppbyggd, t.ex. el- och vattenförsörjning, kylvattenkanaler, goda kommunikationer, verkstäder, bostäder, och mäss. Med hänsyn till att tillgången till god industrimark kommer att vara begränsad i framtiden torde efterfrågan på utrymmet vid kärnkraftslägena bli stor. I första hand kommer lägena antagligen att utnyttjas för elkraftproduktion, där befintlig infrastruktur kommer till maximal nytta. Även andra industrietableringar kan emellertid bli aktuella.

Enligt vår bedömning kommer denna faktor sannolikt att vara den starkaste vid val av rivningstidpunkt. Utfallet kan dock bli olika på olika platser, beroende på marktillgång vid kärnkraftverken.

2.1.5 Tillgång på personal med anläggningskännedom

När kärnkraftverket stängs av finns huvuddelen av personalen fortfarande kvar. En del av personalen är under de sista driftåren delvis sysselsatt med att planera för den förestående avvecklingen. Deras anläggningskännedom har då stor betydelse.

Även under själva rivningsarbetet är det en fördel att kunna utnyttja personal med god anläggningskännedom, och erfarenheter från hur man löst arbets- och hanteringsproblem i samband med revisioner och ombyggnadsarbeten.



Figur 2-1. Slutförvar för reaktor- och rivningsavfall, SFR. Utbyggnaden för rivningsavfall har markerats.

2.1.6 Slutförvar för avfallet

Vid rivningen uppstår stora mängder radioaktivt avfall, som behöver tas om hand. Det är därför väsentligt att ett slutförvar finns tillgängligt när rivningen inleds. I Sverige avses huvuddelen av rivningsavfallet bli slutförvarat i SFR 3, vilket är en utbyggnad av SFR 1, som nu byggs vid Forsmark. SFR 3 kan byggas när behov föreligger, och utgör således ingen begränsning vid val av rivningstidpunkt.

En del avfall kommer dessutom att kunna deponeras vid anläggningen.

2.1.7 Kostnad för övervakning

Om rivningen senareläggs måste anläggningen övervakas under mellanperioden. Kraven på övervakningen blir bland annat beroende av hur mycket aktivitet, som finns kvar i anläggningen och i vilken form aktiviteten föreligger. Vidare kommer möjligheterna att säkert försluta anläggningen att få stor betydelse.

I avsnitt 9.1 görs en bedömning av övervakningsbehovet. Det framgår att anläggningarna kan förslutas på ett sådant sätt, att ingen

bevakning på platsen är nödvändig. Övervakningen kan ske med automatiska ~~larm~~ larmordningar och regelbundet återkommande inspektioner. Kostnaden för övervakning med denna omfattning har bedömts ligga på ca 0.5 MSEK/år och anläggningsplats. Ifall en kontinuerlig bevakning på platsen krävs ökar kostnaden till ca 2 MSEK/år och anläggningsplats /8/. Finns andra industrianläggningar på området, minskar bevakningskostnaden.

2.1.8 Tillgång på teknik för att genomföra rivningen

Den utrustning, som behövs för att riva ett kärnkraftverk finns redan. Huvuddelen av rivningsarbetet kommer att genomföras med utrustning, som används vid de årliga revisions- och ombyggnadsperioderna. Specialutrustning behöver endast tas fram för demontering av reaktortanken. I denna studie ges exempel på befintlig utrustning, som kan användas efter smärre modifieringar.

Senareläggs rivningen kan främst utvecklingen inom robottekniken leda till att rivningsarbetet kan förenklas. Detta är dock inte avgörande för val av rivningstidpunkt.

2.1.9 Tillgång på ekonomiska medel

Denna faktor har givits stor vikt internationellt. Det svenska systemet med avsättning i fonder av medel för bland annat rivning ger emellertid tillräcklig säkerhet, för att pengar skall finnas tillgängliga, när kärnkraftverken skall rivas.

2.1.10 Slutsats

Den genomförda analysen visar att det ur teknisk synpunkt inte finns några avgörande skillnader mellan om ett kärnkraftverk rivs snarast efter avställning eller efter några tiotal år. Arbetsgruppen förordar dock en tidig rivning, främst med hänsyn till tillgången på personal med god anläggningskännedom.

Det framgår också att det är icke-tekniska faktorer, som sannolikt blir avgörande för när rivningen genomförs, främst att marken är attraktiv. Politiska och sociala faktorer, som inte har behandlats här, kommer troligen att få betydelse.

I denna studie analyseras i första hand en tidig rivning. Konsekvenserna av en senareläggning belyses.

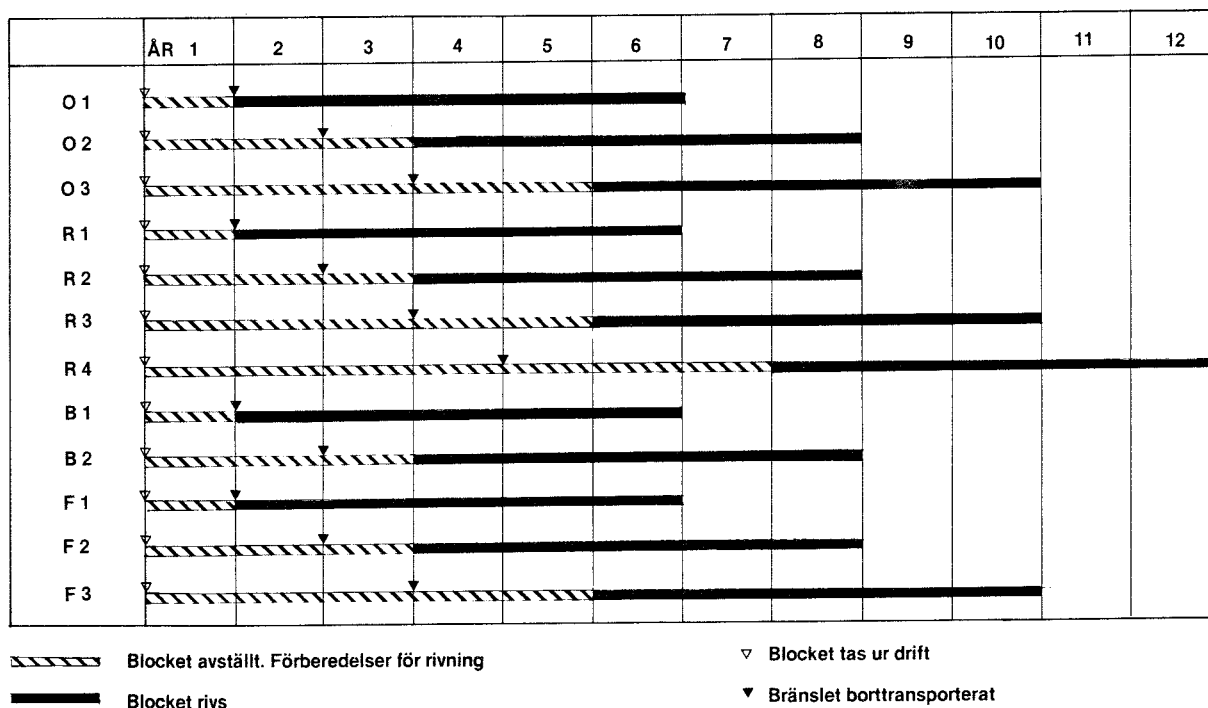
2.2 TIDPLAN FÖR RIVNING

Det svenska kärnkraftsprogrammet omfattar 12 reaktorblock. I denna studie har antagits att dessa tas ur drift nästan samtidigt i slutet av år 2010. Väljer man att därefter snarast riva anläggningarna kan den egentliga rivningen av det första blocket påbörjas efter ett knappt år. Då har sluthärdens bränsle och styrcylindrar mm hunnit transporteras bort.

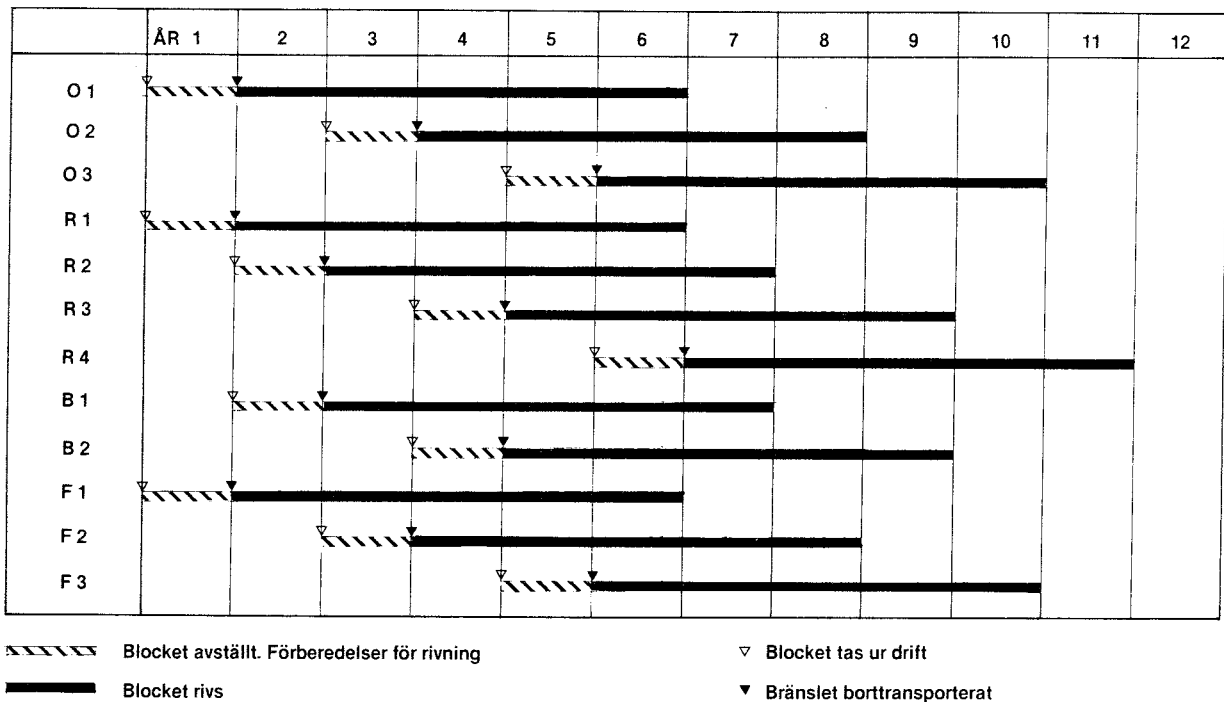
Avgörande för när rivningen av de övriga blocken kan påbörjas blir transport- och mottagningskapaciteten för CLAB. CLAB är dimensionerat för att ta emot ca 300 ton bränsle per år. Kapaciteten bedöms kunna ökas till 600 ton om behov föreligger. Bränslemängden i sluthärdarna är ca 1140 ton. Det tar således totalt två till fyra år att föra över allt bränsle från sluthärdarna till CLAB.

Parallellt med bränsletransporterna kommer även transport av interna delar och hårdkomponenter att ske från de reaktorer, där rivning påbörjats. För att få en lämplig logistik är det praktiskt att starttidpunkterna för rivning förskjuts, så att man börjar riva det första reaktorblocket på varje plats ett år efter elproduktionen har upphört, och att rivningen av de övriga blocken på samma plats därefter påbörjas med två års mellanrum. Därigenom erhålles även ett rationellt utnyttjande av rivningspersonalen. Den kan successivt flyttas från anläggning till anläggning.

I figur 2-2 visas en möjlig tidplan för rivning av de svenska kärnkraftverken. Då rivningen av ett block bedöms ta 5 år, innebär denna tidplan att den totala rivningsperioden blir ca 12 år.



Figur 2-2. Exempel på tidplan för rivning av de svenska kärnkraftverken om alla block ställs av år 2010.



Figur 2-3. Exempel på tidplan för rivning av de svenska kärnkraftverken om den slutliga avställningen sker under en femårsperiod.

Om reaktorerna istället slutligt tas ur drift succesivt under en femårsperiod kan den egentliga rivningen påbörjas ett år efter slutavställning för varje enskilt block. Den tidplan, som då erhålles framgår av figur 2-3.

Om rivningen senareläggs med 20-100 år blir det andra överväganden, som bestämmer tidplanen. Det kan i det fallet vara rationellt att använda en rivningsstyrka, som flyttar från anläggning till anläggning. För att utnyttja denna möjlighet bör starten för rivningen vara förskjuten med två år mellan olika block. Rivningen blir då utsträckt över en 25-årsperiod.

3 FÖRUTSÄTTNINGAR FÖR RIVNINGSTUDIEN

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

Referensanläggningar: Ringhals 1 och Ringhals 2.

Drifttid före avställning: 40 år

Kostnaden för att riva övriga anläggningar skall även beräknas, men på ett förenklat sätt utifrån resultaten från referensanläggningarna.

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

Som alternativ studeras även skillnaderna vid rivning efter ca 40 år.

- 2 En bedömning skall göras av kostnader för "drift" av anläggningen från slutavställning till rivningen påbörjas. Detta innefattar kostnader för att hålla anläggningens system igång i den omfattning som erfordras för att kunna lagra bränsle och sända iväg det för mellanlagring i CLAB.

För fallet att rivningen senareläggs skall en bedömning göras av kontroll- och underhållsbehovet under mellanperioden, samt kostnaderna för att reaktivera anläggningen i den utsträckning som behövs, för att kunna riva den på ett ur arbetarskyddssynpunkt säkert sätt.

- 3 Rivningen skall utföras med nu känd teknik.
- 4 Val av arbetsmetod skall ske med hänsyn till personskydd och skydd mot utsläpp till omgivningen, som normalt vid ombyggnadsarbeten på kärnkraftverk.
- 5 Vid rivningen förutsättes ingen annan verksamhet som stör rivningsarbetet pågå.
- 6 Händelser som medfört större aktivitetsspridning har ej inträffat under driftperioden. Aktivitetsspridningen inom kont-

rollerat område har således begränsats till normala läckage och mindre utsläpp.

- 7 En uppskattning av aktivitetsinventariet skall göras utifrån tidigare studier, mätningar och beräkningar.
- 8 För spridning av aktivitet till betong antas följande gälla:
- a) för större bassänger med rostfri täckplåt antas läckage ha medfört aktivitetsinträngning till ett djup av 5 cm över hela ytan bakom plåten. Sprickor i betongen antas dessutom ha medfört att ytterligare ca 5 m³ betong försmutsats
 - b) i pumpgropar antas betongen förorenats till ett djup av 10 cm och att sprickbildning medfört att ytterligare ca 1 m³ betong förorenats
 - c) spill i rum med begränsad mängd aktiv processutrustning har medfört att 1% av golvytan försmutsats. I rum med större läckagerisk antas 10% av golvytan vara försmutsad.

Dessa antaganden är grova och medför en överskattning av mängden radioaktivt avfall. Golvytorna är målade, vilket medför att normalt ingen aktivitet tränger in i betongen.

- 9 En systemdekontaminering av reaktorsystemet görs innan rivningen påbörjas. Dekontamineringsmedel, som är lämpliga med hänsyn till såväl effektivitet som avfallshantering, användes.

Rengöring av turbiner och turbinsystem med enklare dekontamineringsmetoder, t.ex. högtryckssprutning beaktas. Aktivitetsspridningen dit är som regel liten och aktiviteten är ofta lätt att ta bort.

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

- 10 Avfallet delas in i tre kategorier:

- A. Avfall som kan frisläppas;
- B. Avfall som kan deponeras på platsen, t.ex. i byggnadernas underjordiska delar;
- C. Avfall som måste föras till slutförvar

- 11 Material betraktas som rent om det uppfyller myndigheternas krav på friklassning. Idag tillämpas gränsen 300 Bq/kg. Denna gräns är medvetet satt mycket lågt och kommer sannolikt att höjas, när mer erfarenheter från friklassning erhållits. T.ex. kan gränsen för material som inte fordrar tillstånd för

innehav enligt strålskyddslagen, 70 kBq/kg användas som ett riktvärde.

12 Transporter och slutförvaring sker i enlighet med SKBs planer för övrigt avfall.

13 Icke aktivt rivningsavfall behandlas på konventionellt sätt. Möjligheten att använda dem som fyllmassor för återställning av kraftverksplatsen beaktas.

Möjligheter till återanvändning anges.

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

15 Kostnaderna beräknas i penningvärde januari 1986.

4 AKTIVITETSINNEHÅLL

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

Radioaktiviteten, som finns kvar i ett kärnkraftverk efter att det har tagits ur drift och det använda bränslet har transporterats bort, härrör dels från material, som blivit aktiverat genom neutronbestrålning från reaktorhärden, dels från radioaktiva korrosionsprodukter (s.k. crud) och fissionsprodukter, som med reaktorvatten, ånga och bränsle transporterats ut i system och bassänger.

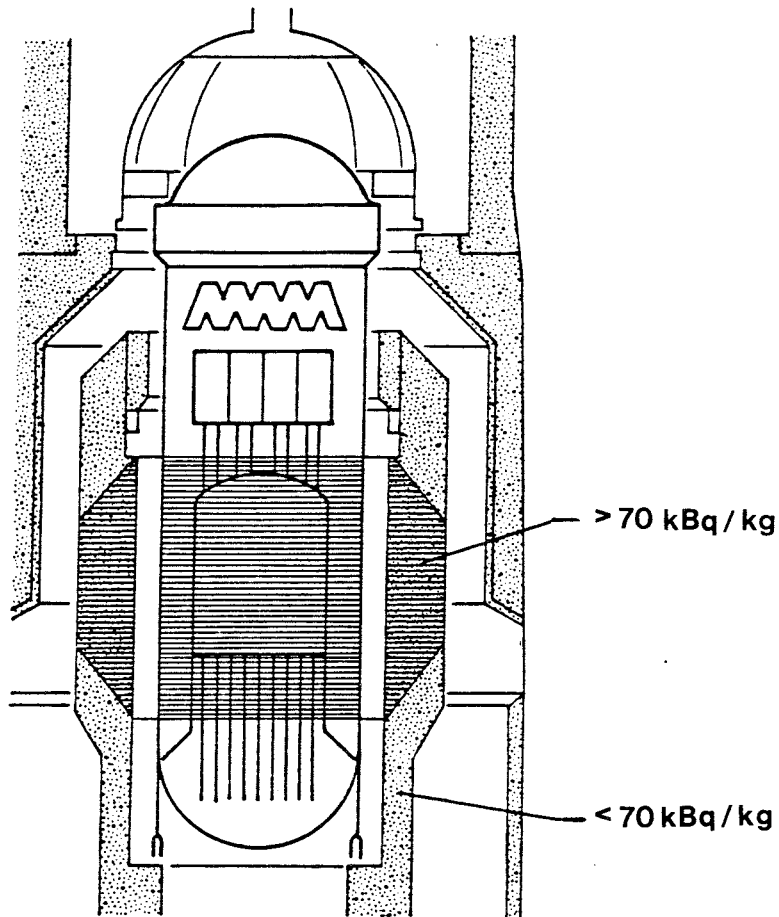
4.1 MATERIAL MED INDUCERAD AKTIVITET

Huvuddelen av radioaktiviteten finns i reaktortanken och dess interna delar. En beräkning av den inducerade aktiviteten har tidigare gjorts för Oskarshamn 2 /2/. Aktivitetsnivån i olika komponenter är beroende dels av sammansättningen hos de ingående konstruktionsmaterialen, dels av vilket neutronflöde materialet utsätts för.

Neutronflödet och därmed aktiveringen avtar mycket snabbt utanför själva reaktorhärden. Redan på några meters avstånd dominerar crudaktiviteten. I figur 4-1 visas schematiskt de delar av reaktortanken och kringliggande betong i biologiska skärmen, som får en inducerad aktivitet överstigande 70 kBq/kg. En detaljerad bild av reaktortanken och dess interna delar visas i figur 4-2. Aktivitetsinnehållet framgår av tabell 4-1.

Den inducerade aktiviteten domineras ur dossynpunkt av Co-60. I de mest aktiva delarna, t.ex. härdgallret och moderatortanken beräknas den specifika aktiviteten efter 40 års drift vara ca 300 GBq/kg, vilket motsvarar ytdosrater på mer än 100 Sv/h.

I den biologiska skärmen är Co-60-aktiviteten betydligt lägre, 10 MBq/kg, vilket medför att dosraten på insidan av skärmen är mindre än 1 mSv/h. En meter in i biologiska skärmen är den inducerade aktiviteten försumbar. Bidraget från Eu-152 har inte analyserats här. Mätningar i andra kraftverk visar att Eu-152-innehållet är av samma storleksordning, som Co-60 /10/.

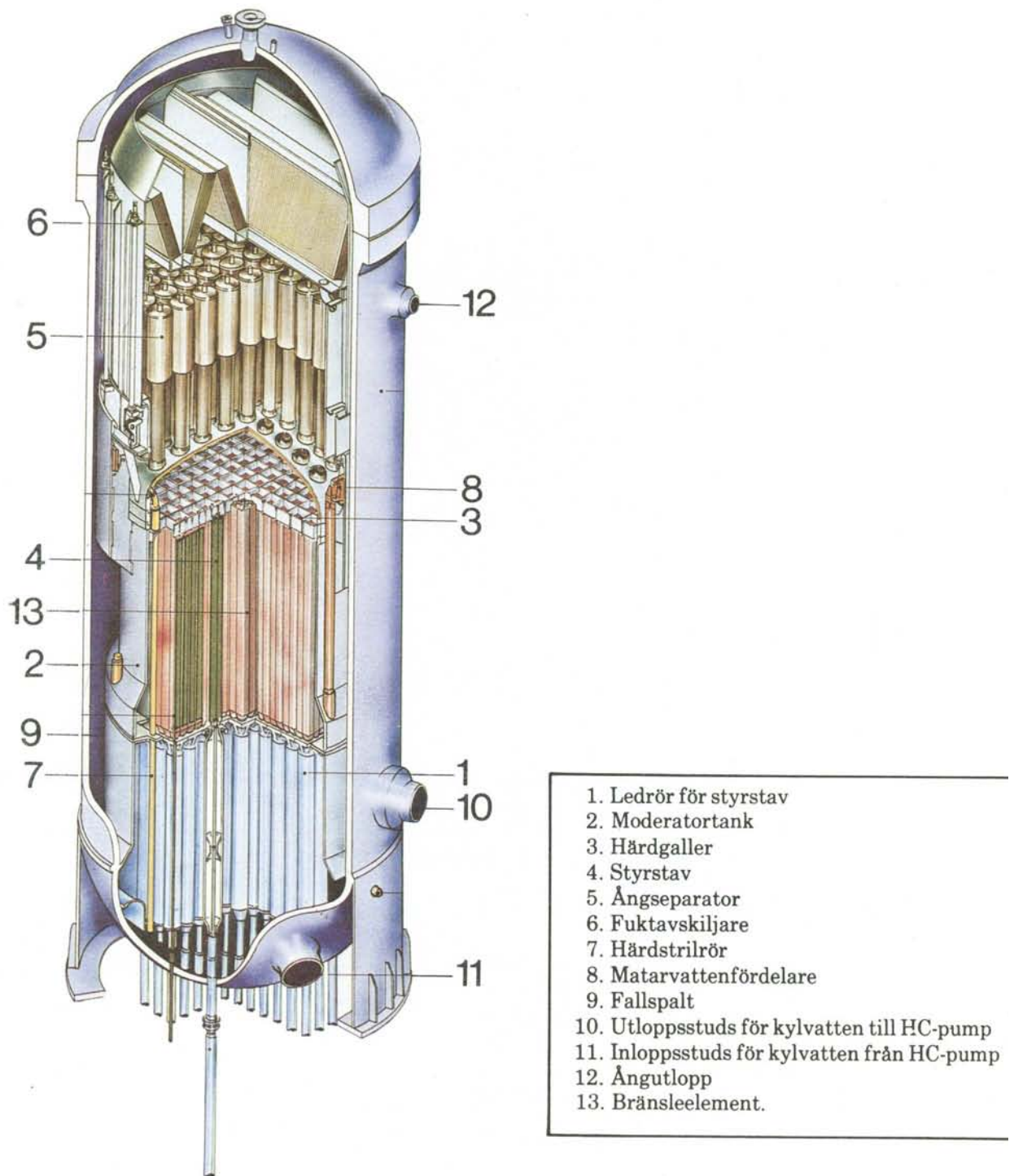


Figur 4-1. Inducerad aktivitet i reaktortanken och omgivande strålskärm (biologiska skärmen).

Tabell 4-1: Aktivitetsinnehåll i reaktortank och interna delar (Oskarshamn 2, 40 års drift) /2/

Komponent	Massa (ton)	Aktivitet (GBq)		
		Co-60	Ni-63	Ni-59
Härdgaller	3	$1.0 \cdot 10^6$	$1.5 \cdot 10^6$	$1.0 \cdot 10^4$
Moderatortank	23	$1.8 \cdot 10^6$	$2.6 \cdot 10^6$	$1.9 \cdot 10^4$
Moderatortanklock	19	$1.0 \cdot 10^4$	$1.3 \cdot 10^4$	100
Fuktavskiljare	24	$2.6 \cdot 10^3$	150	10
Styrstavsledr.	25	$1.1 \cdot 10^3$	$2.0 \cdot 10^3$	20
Totalt interna delar	130	$4 \cdot 10^6$	$6 \cdot 10^6$	$4 \cdot 10^4$
Reaktortank	530	$1.1 \cdot 10^3$	$1.3 \cdot 10^3$	10

Reaktortank med interna delar



Figur 4-2. Reaktortank med interna delar för en BWR.

4.2 MATERIAL MED YTKONTAMINATION (CRUD)

Alla systemtytor som berörs av reaktorvatten blir i viss utsträckning kontaminerade med aktiva metallpartiklar, sk crud. Erfarenhetsmaterial från cruduppbyggnaden på olika ställen i reaktorsystemen har samlats genom årliga mätningar i samband med underhållsarbeten.

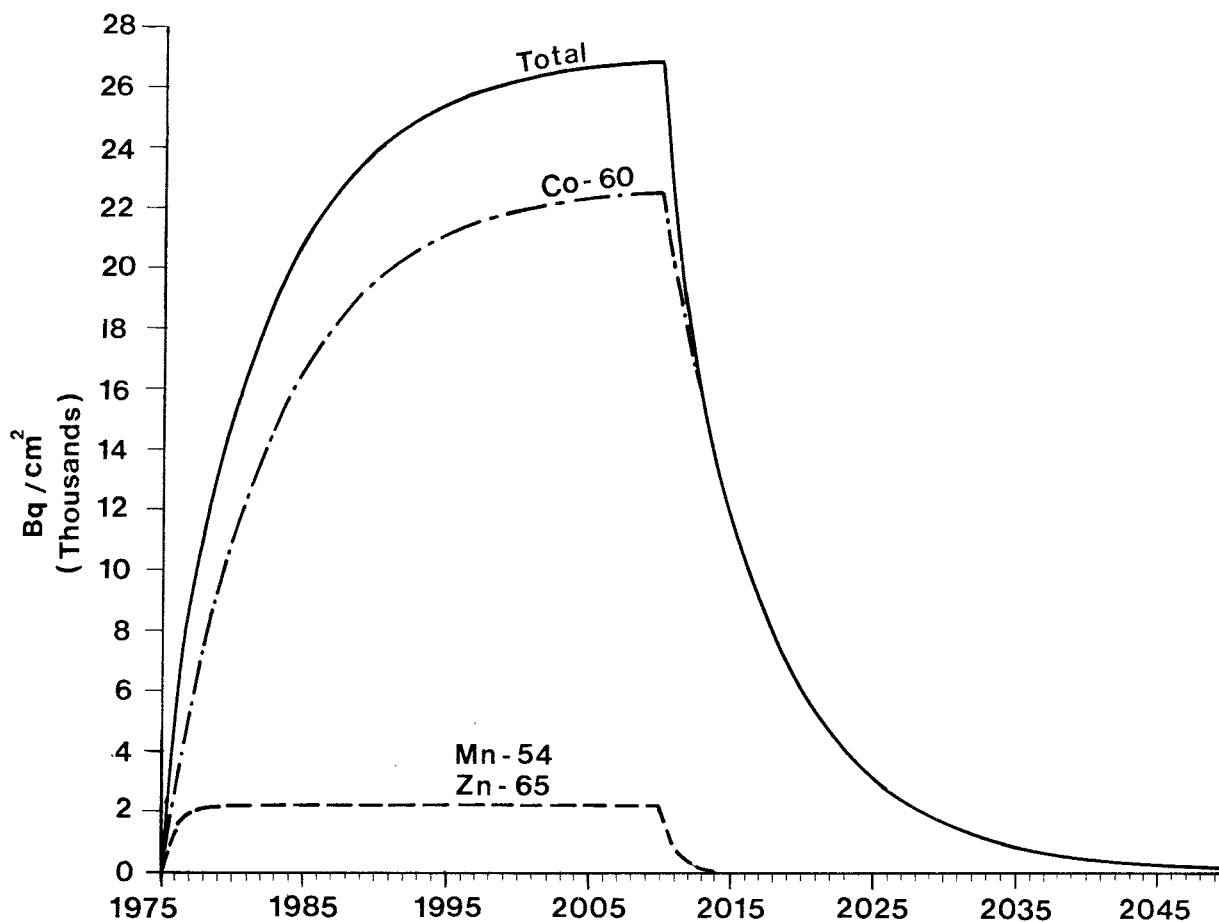
Från detta underlag har en prognos gjorts över hur cruduppbyggnaden utvecklas under 40 års drift /9/. Man har därvid utgått från ett reaktorsystem (reningssystemet för reaktorvatten) i Ringhals 1 och därefter gjort en bedömning av hur hög aktivitetsnivån är i övriga system i relation till detta. Vidare har en bestämning gjorts av hur mycket material, som kommer i kontakt med reaktorvatten, och därmed kan vara kontaminerade. De erhållna resultaten har även jämförts med erfarenhetsvärden från mätningar på uttagna komponenter.

I tabell 4-2 redovisas uppskattat aktivitetsinnehåll i några olika system. Tabellen anger värdena ett år efter avställning. Enbart Co-60 redovisas, eftersom denna nuklid är dominant. En mindre mängd fissionsprodukter, främst Cs-137, kan även ingå (<10%). I tabellen har inte hänsyn tagits till att en dekontaminering kommer att genomföras för reaktorsystemen. Denna beräknas minska aktivitetsnivån med en faktor 10-100, beroende på typ av komponent.

Även reaktortanken och dess interna delar kommer att ha ytkontamination. Det totala bidraget till aktivitetsinnehållet härifrån beräknas bli ca 10^4 GBq /2/.

Tabell 4-2: Aktivitetsinnehåll i några system (Ringhals 1, 40 års drift, ett års avklingning) /9/

System	Aktivitet (GBq) Co-60
Huvudcirkulationssystem (externpumpar)	100
Kylsystem för avst. reaktor	100
Reningssystem för reaktorvatten	200
Huvudångledningar	150
Matarvattensystem (inkl.förvärmare)	50
Totalt (alla system)	2000



Figur 4-3. Uppmätt och beräknad aktivitetsupbyggnad på ledning i reningssystemet för reaktorvatten i Ringhals 1 /9/.

Efter dekontamineringskampanjen bedöms dosnivån i de flesta utrymmen utanför reaktortanken bli så låg att rivningsarbetet i huvudsak kan utföras utan speciella skyddsåtgärder.

En motsvarande bedömning av aktivitetsinnehåll och strålnivåer har även gjorts för Ringhals 2. Det totala aktivitetsinnehållet överensstämmer väl med det i Ringhals 1.

4.3 ÖVRIGT

En viss mängd aktivitet kommer att finnas utanför reaktor- och turbinsystemen till följd av läckage och spill. Den totala mängden är dock liten i förhållande till vad som finns i systemen.

I fördröjningstanken för aktiva avgaser ansamlas radioaktiva ädelgasdöttrar, främst Cs-137 och Sr-90. Totalt beräknas ca 500 GBq finnas där. Huvuddelen av aktiviteten kommer att finnas i fördröjningstankens nedre del. Vid beräkningen av avfallsvolymer antas 10 % av sanden behöva sändas till SFR.

5 **TEKNISK BESKRIVNING AV RIVNINGENS OLIKA FASER**

5.1 **ALLMÄNT**

Rivning eller nedläggning av kärnkraftanläggningar har i denna studie indelats i tre huvudfaser enligt följande:

- Avställningsdrift;
- Systemrivning;
- Byggnadsrivning och återställning av markområdet.

En projektgrupp för rivningen svarar för sammanhållningen under dessa faser. Denna grupp genomför den detaljerade planeringen av rivningen, utarbetar erforderligt tekniskt underlag och säkerhetsrapporter, samt har kontakter med myndigheter etc. Projektgruppen bildas ca 3 år före start av rivningsarbetet. Gruppens storlek varierar under de olika faserna. Projektgruppen tillhör organisatoriskt koncessionsinnehavaren och är ansvarig för redovisning och tillståndsfrågor gentemot myndigheter.

Nedan följer en kortfattad beskrivning av verksamheten under de tre faserna. Detaljerade redovisningar ges i underlagsrapporterna /3-8/.

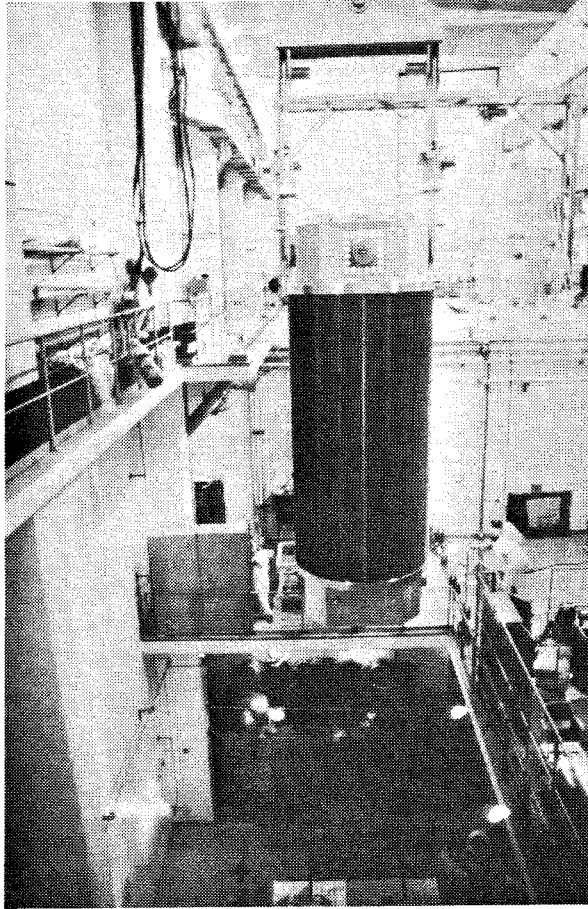
5.2 **AVSTÄLLNINGSDRIFT VID DIREKT RIVNING**

5.2.1 **Allmänt**

Med avställningsdrift avses den driftverksamhet, som erfordras under perioden från det att reaktorn har tagits ur drift till dess den egentliga rivningsverksamheten påbörjas. Under denna period sker borttransport av det använda bränslet och viss systemdekontaminering. Då sker även den slutliga rivningsplaneringen.

5.2.2 **Bränslehantering**

Avställningen har förberetts så att bränslebassängerna endast innehåller bränsle från närmast föregående års bränslebyte. Bränsle från tidigare års bränslebyten är borttransporterat.



Figur 5-1. Uttransport av bränsleflaska från ett kärnkraftverk.

Bassängerna är urstädade vad gäller utbytta interndelar och motsvarande material.

Bränslet i reaktorhärden överföres omgående till bränslebassängerna. Bränslet från föregående års bränslebyte har nu lagrats ett år, vilket förenklar hantering och transport till CLAB. Transport av ett-års bränslet kan därför inledas.

Borttransporten av bränslet från avställningshårdarna kommer att planeras, så att de block som skall rivas först får sina bassänger tömda först.

Transportsystemet förutsättes ha sådan kapacitet att även styrstavar kan transporteras bort under den period, som bränsletransporterna pågår.

Så länge bränsle finns kvar i blockets bränslebassänger förutsättes kontinuerligt skiftgående personal.

5.2.3 Systemdekontaminering

Under den tidsperiod som hantering och borttransport av reaktorbränslet pågår vidtages åtgärder för att minska aktivitetsnivån inom blocket. Samtliga aktiva primärsystem inklusive reaktortanken blir föremål för denna behandling.

Minskningen av aktivitetsnivån sker genom rundpumpning av dekontamineringslösningar i de aktiva primärsystemen. Dekontamineringsmedlen väljes med hänsyn till önskad effektivitet samt lämplig avfallsbehandling. Dekontamineringen beräknas ge en reduktion av aktiviteten med en faktor mellan 10-100 vid en behandlingstid på ca en månad även vid användning av milda dekontamineringslösningar. Angivna dekontamineringsfaktorer baserar sig på erfarenhetsvärden, varvid det lägre värdet gäller apparater t ex tankar medan värdet 100 gäller för rörledningar, där högre flödes-hastigheter kan erhållas.

Efter genomförd systemdekontaminering sker sköljning med vatten, varefter systemen dräneras.

5.3 SYSTEMRIVNING - BWR

5.3.1 Systembehov under rivningen

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

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

- Avfallsstationen behöver utnyttjas för rening av vatten och behandling av filter- och jonbytarmassor;
- Dränagesystem kommer att hållas i driftdugligt skick tills rivningen omöjliggör det;
- Ventilationssystemen hålles i normal drift så länge bränsle finns kvar i anläggningen. Under rivningsarbetet kommer risken för spridning av luftburen aktivitet inom anläggningen att beaktas. Skorstensmoniteringen kommer att bibehållas även efter det att bränslet är borta, men då i förenklad form, dvs enbart partikeluppsamling för senare analys;
- Elkraftbehovet kommer att minskas när bränslet är borta. Ej erforderliga skenor och utrustningar kopplas bort och separata matningar arrangeras till ur rivningssynpunkt väsentliga funktioner t ex vissa ventilationsanläggningar. Kraftmatningen sker från befintliga ställverk;

- Kontrollutrustning och alarmsystem anpassas efter behovet under rivningen. Avgränsningar görs i kontrollrummet så att endast visning ges för system i drift. Härigenom kan operatören enkelt överblicka anläggningens status;
- Underhåll av byggnader och utrustning utföres i erforderlig omfattning för att undvika personskador och inläckage av vatten;
- Bevakning och rondning sker i erforderlig omfattning. Driftområdesstaketet klassas till industristaket sedan bränslet borttransporterats. Tillträdeskontroll till aktiva områden bibehålles till dess att det aktiva materialet transporterats bort;
- Servicefunktioner i form av aktiv tvättstuga, personalutrymmen, restauranger, lokalvård och skyddsverksamhet finns kvar i erforderlig omfattning under rivningsperioden.

Under rivningsperioden bibehålles en del av driftpersonalen. Dessa skall sköta driftläggningar av system, hantering av arbetsbesked, service, underhåll, förrådshållning, lokalvård etc samt bevakningen.

5.3.2 Principer för genomförande

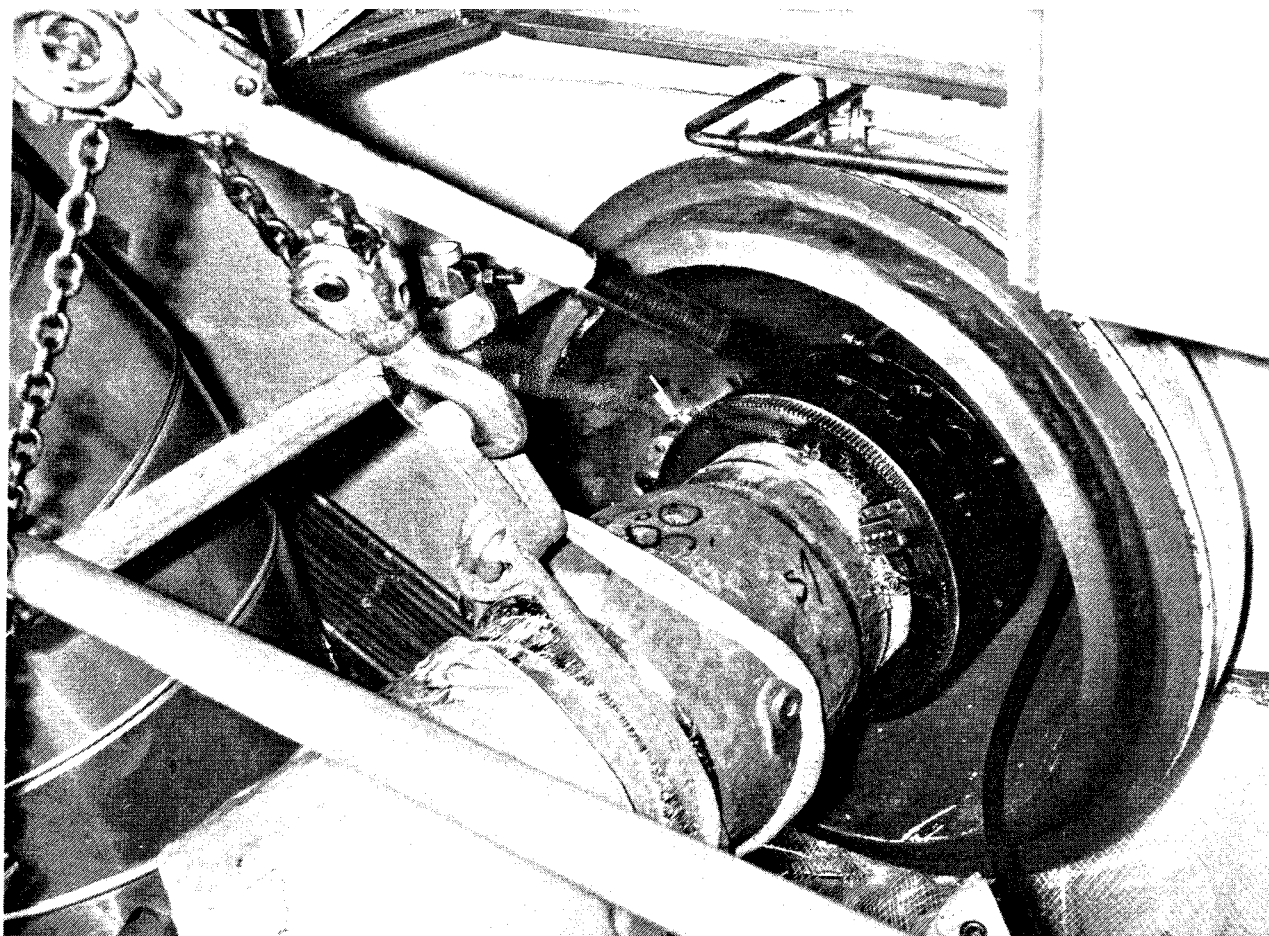
Rivningsarbetet förutsättes ske i en-skift under normal dagtid. Uttransport av material från processutrymmen förutsättes ske i två-skift. Strålskyddare och sanerare arbetar även i två-skift.

Arbetsmetoder och utrustning för demontage och nedkapning av rör-system och apparater väljes så att personalen inte utsättes för onödig dosbelastning. För att undvika uppkomst av luftburen aktivitet kapas grövre rör i aktiva system med rörsvarv, medan klenare rör kapas med hydraulsax.

Allt isoleringsmaterial och eventuell asbest avlägsnas från rör-system och apparater innan aktiva system öppnas. Huvuddelen av isoleringsmaterialet är inaktivt och kan friklassas. En begränsad mängd kan vara kontaminerad på grund av läckage från packboxar och flänsförband i aktiva system. Endast det kontaminerade isoleringsmaterialet måste omhändertagas som aktivt avfall.

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

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



Figur 5-2. Nedkapning av rör med rörsvarv.

Rör i aktiva system kapas i lämpliga längder, 2-5 m, med hänsyn till hantering i processutrymmet och övrig hantering fram till deponering.

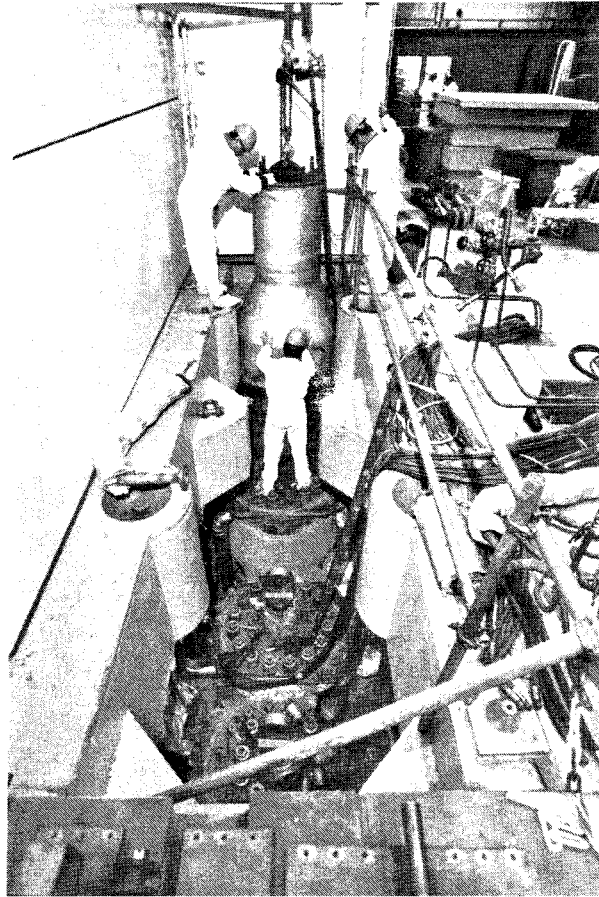
Rördelar och apparater placeras i ISO-containrar, vilka deponeras i slutförvaret.

Sönderdelning av apparater skall om möjligt undvikas. Detta innebär att speciella transporter av stora apparater utan transportbehållare blir aktuella i viss utsträckning.

Extra lådor och behållare skall undvikas så långt som möjligt även i de fall transport sker i strålskärmad avfallstransportbehållare, som tömmer i slutförvaret och återanvändes.

Rivningen skall genomföras med vissa system i drift. Elmatning till ventilationsfläktar och kraftuttag får inte påverkas av kabeldemontage i anläggningen. Detta kan medföra behov av separata matningsvägar till den utrustning som behöver vara i drift.

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



Figur 5-3. Demontering av isolering kring ventiler. (Foto Hallandsbild)

5.3.3 Kommunikation och materialtransporter

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

Materialflödet ut från anläggningen sker huvudsakligen genom befintliga portar och kommunikationsstråk. Vid detaljplaneringen av rivningen är det viktigt att tillräckliga utrymmen skapas inne i 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 tömms på utrustning i ett tidigt skede t.ex. generatordelen kan utnyttjas för buffertering av material och för dekontaminering samt avsökning.

Före start av rivningsarbetet har en noggrann radiologisk kartläggning gjorts av anläggningens olika systemdelar. Denna radiologiska kartläggning förutsättes bli accepterad av tillståndsgivande myndigheter, så att ingen nuklidspecifik mätning skall behöva göras på varje enskilt avfallskolli eller transportbehållare före uttransport. Varje transportbehållare avses dock kontrolle-

ras vad gäller dosrat och förekomst av eventuell ytkontamination före uttransport från anläggningen enligt IAEA:s transportrekommendationer /13/. Ytdosraten på transportbehållaren får därvid inte överskrida 2 mSv/h och dosraten på 2 m avstånd 0,1 mSv/h.

Vid rivningsarbetet sorteras det aktiva materialet, med hänsyn till hur det skall hanteras i fortsättningen. Bestämmande är därvid kraven på strålskärning och möjligheten att friklassa materialet. Grovt sett sker följande uppdelning:

- En del interna delar och reaktortanksmaterial har så höga aktivitetsnivåer på grund av inducerad aktivitet, att de måste transporteras i en behållare av typ B. För dessa komponenter används en speciell transportflaska, hårdkomponentflaskan. Den liknar till sin utformning en bränsletransportflaska;
- Övrigt material, som behöver transporteras till slutförvar placeras, beroende på materialets aktivitetsnivå, i strålskärmande avfallstransportbehållare (ATB), eller i vanliga ISO-standardcontainers;
- Lågaktivt material deponeras om så är möjligt i markförvar i anslutning till anläggningen;
- Friklassning av material eventuellt efter dekontaminering sker enligt gränser som angivits av tillståndsgivande myndigheter.

5.3.4 Genomförande av systemrivningen

Interna delar och reaktortank

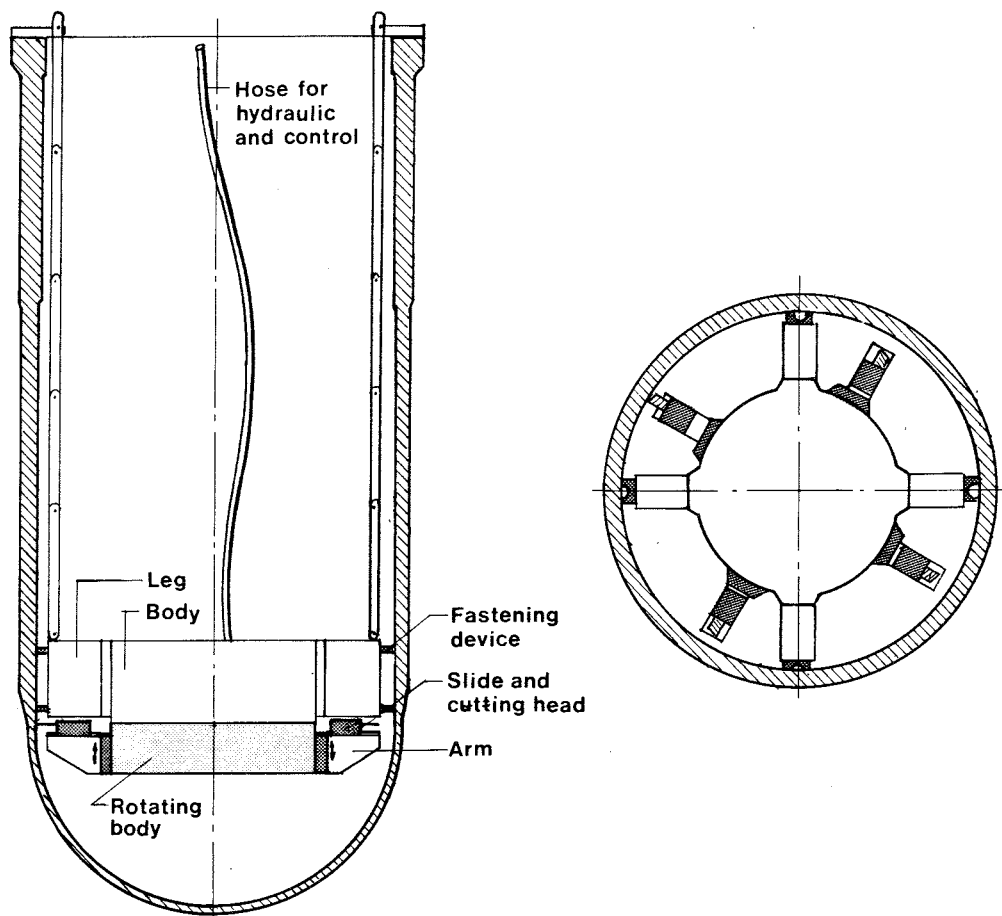
Reaktortanken för en externpumpsreaktor visas i figur 4-2. Totala vikten av tanken med interna delar uppgår till ca 650 ton. För internpumpsreaktorer uppgår vikten till ca 760 ton.

De interna delarna i närheten av reaktorhärden håller så höga aktivitetsnivåer att borttransport av materialet måste ske i B-behållare.

Arbetet med sönderdelning av interndelarna påbörjas så snart bränslet har transporterats bort.

Sönderdelningen av interndelarna sker med plasmaskärning under vatten. Lämpligt stora bitar placeras i lådor och kassetter som är anpassade till hårdkomponentflaskan.

Interndelar med lägre aktivitetsnivåer t.ex. fuktavskiljare och nedre partiet av styrstavsledrören kan placeras i lådor och sedan i en strålskärmande avfallstransportbehållare för transport till SFR.



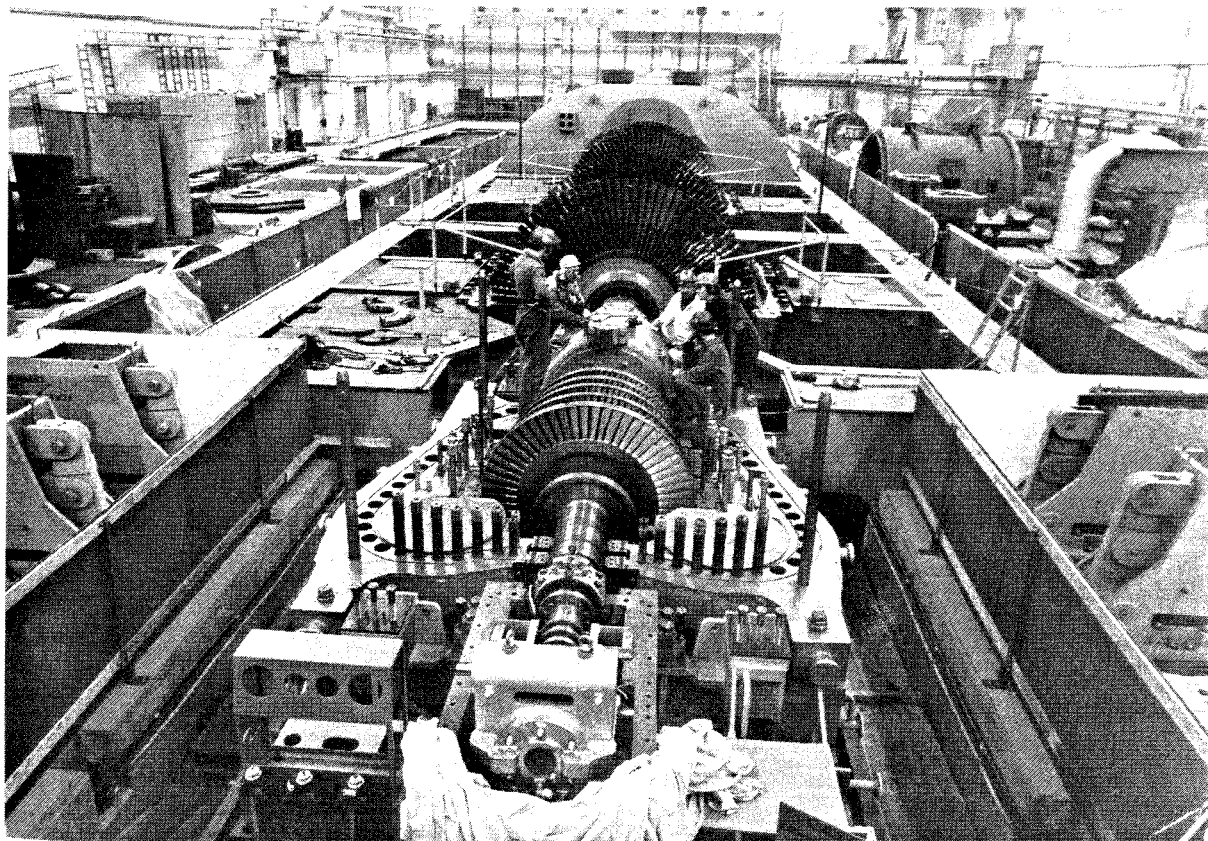
Figur 5-4. Principskiss av utrustning för svarvning av reaktortanken.

Isoleringsmaterialet på utsidan av reaktortanken kommer att avlägsnas i samband med sönderdelning av reaktortanken. En del av detta material har blivit aktivt på grund av neutronbestrålning.

Reaktortanken sönderdelas genom svarvning av ringar, som sedan sektioneras i lämpligt stora bitar för transport till slutförvar. Svarvningen sker fjärrstyrt i luft. Ringarna lyfts därefter upp i en bassäng, där sektioneringen utförs under vatten.

Svarvutrustningens principiella utseende framgår av figur 5-4. Motsvarande utrustning har använts för sönderdelning av en forskningsreaktortank.

I anläggningar med externpumpsreaktorerna står reaktortanken uppställd på ett stöd. Delningen av dessa tankar kan därför göras uppifrån och ned, med den översta ringen först. I reaktorer med interna pumpar hänger reaktortanken i en fläns upptill. Innan sönderdelningen påbörjas måste därför ett stöd byggas underifrån och från sidorna. Därefter kan svarvningen ske på samma sätt. Tidsåtgången för arbetena med reaktortanken blir i det senare fallet 4 månader längre.



Figur 5-5. Montering av turbinen i Ringhals 1.

Alternativa metoder finns för att sönderdela reaktortanken. En översiktlig studie har dessutom gjorts beträffande hantering och slutförvaring av en hel reaktortank. Deponering av hel reaktortank är ett genomförbart alternativ och rekommenderas speciellt vid fördröjd rivning (Se avsnitt 9.2).

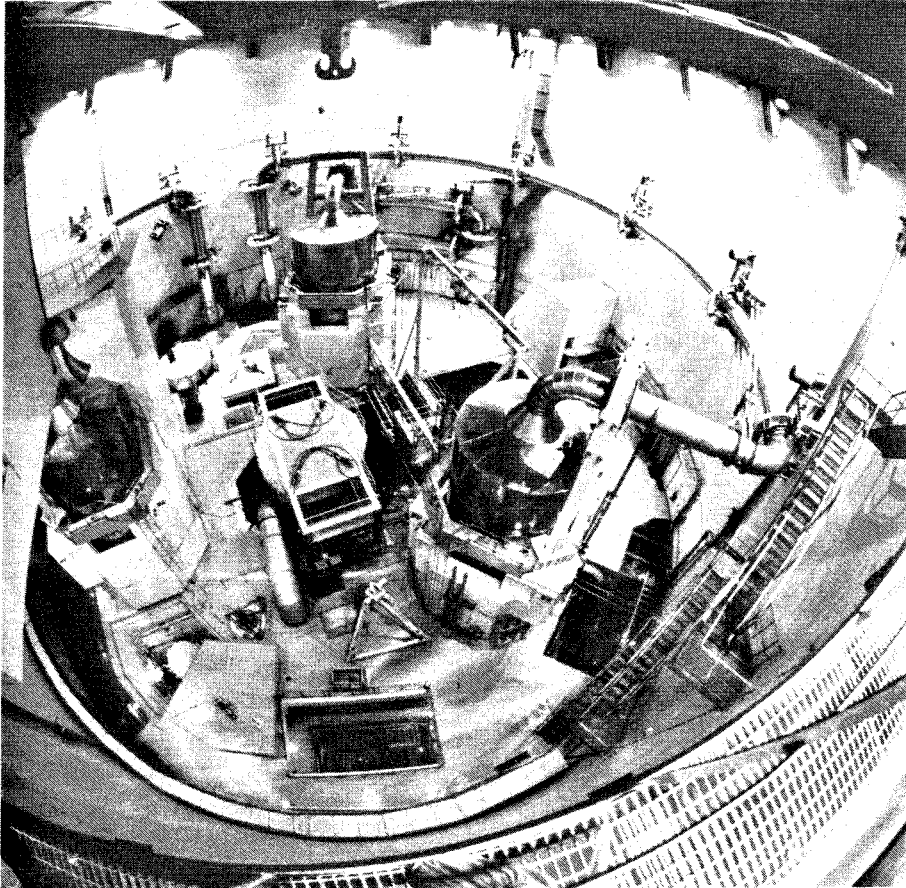
Aktiva processsystem

Rivningen av aktiva processsystem inleds med att allt isolermaterial och eventuell lös kontamination i processutrymmena avlägsnas.

Grova rör kapas med rörsvav för att så långt möjligt undvika uppkomsten av luftburen aktivitet.

Användning av rörsvav medför även att personalens vistelse i direkt anslutning till processrören kan begränsas. Klenare rör förutsätts kapas med hydraulsax.

Vid bedömning av personalbehovet för rivning av de aktiva processsystemen har erfarenheter från större modifierings- och ombyggnadsarbeten utnyttjats. Detta kan medföra en viss överskattning av resursbehov och tid, eftersom rivningsarbetet enbart medför demontage och ingen montagekontroll erfordras.



Figur 5-6. Reaktorinneslutningen i Ringhals 2.

Turbin och generator

Beräkningen av personal- och tidsbehov för demontage av turbin och generator är baserad på erfarenheter från genomförda underhållsarbeten på denna utrustning.

Huvuddelen av materialet i turbinen kan friklassas inklusive de stora turbinaxlarna. Vissa delar t.ex. turbinskovlar kan behöva dekontamineras. Generatoren har förutsatts vara helt inaktiv.

Inaktiva system

Ingen speciell studie har genomförts för nedmonteringen av icke-aktiva systemdelar. Dessa förutsätts antingen ha ett restvärde, som motsvarar kostnaden för rivning, eller så ingår de i den kommande byggnadsrivningen.

5.4 SYSTEMRIVNING - PWR

Systemrivning av en PWR skiljer sig principiellt ej från rivning av en BWR-anläggning.

Befintlig transportöppning genom reaktorinneslutningens vägg måste förstöras för att kunna transportera bort interna delar, reaktor tanksdelar m m i hårdkomponentflaska och strålskärmande avfalls-transportbehållare.

Ett bjälklag måste även byggas så att terminalfordonet kan placera avfallsbehållare inom inneslutningstraversens bestrykningsområde.

Ett antal av de stora apparaterna inne i containment såsom pressurizer, accumulatorer, avblåsningstankar förutsättes transporteras hela till slutförvaret. Ånggeneratorerna måste kapas mellan tubknippet och fuktavskiljaren för att transport ned i SFR skall vara möjlig.

5.5 BYGGNADSRIVNING

När systemrivningen avslutats, påbörjas rivning av byggnadsdelarna. Först tas allt aktivt material bort. Därefter genomförs en noggrann aktivitetskontroll, varefter rivningen av de icke-aktiva delarna kan genomföras utan speciell strålskyddskontroll, men med beaktande av normalt arbetarskydd.

5.5.1 Aktiv byggnadsrivning

Den aktiva byggnadsrivningen omfattar rivning och borttransport av de delar av biologiska skyddet, som har inducerad aktivitet, samt av kontaminerad betong bakom bassängplåtar, i pumpgropar och på kontaminerade golvytor i processutrymmen. Borttagning av den rostfria plåtbeklädnaden i bassänger och pumpgropar ingår också.

Den aktiva byggnadsrivningen inledes så snart de aktiva systemen och reaktortanken har avlägsnats.

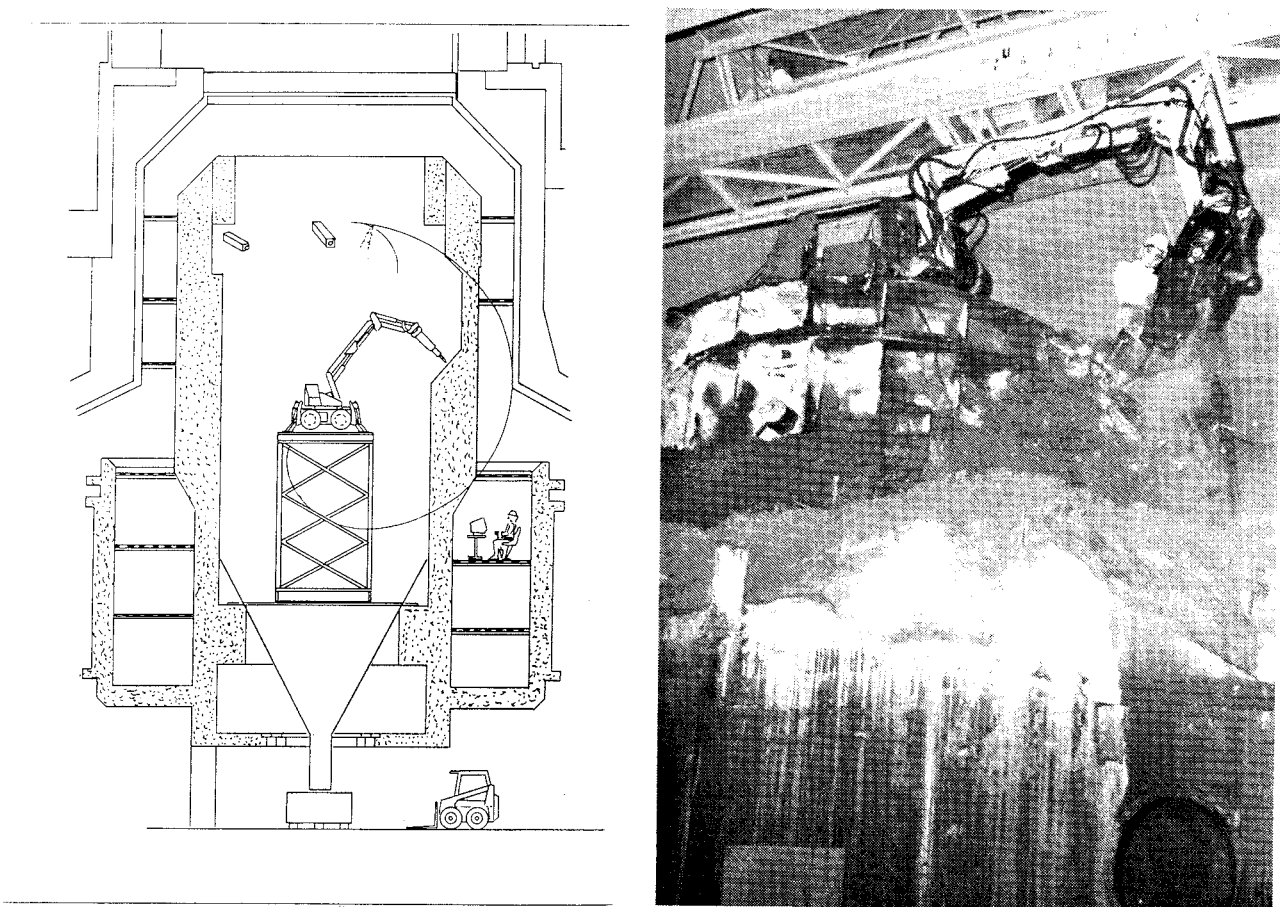
När processutrustningen har transporterats bort och nedsmutsade ytor har dekontaminerats, påbörjas borttagandet av skiktet med inducerad aktivitet i biologiska skyddet. Detta är ca 1 m tjockt.

Rivningen utförs t ex med hjälp av en elhydrauliskt driven och fjärrmanövrerad bilningsmaskin, typ BROKK. Se figur 5-7.

Maskinen opererar från ett höj- och sänkbart lyftbord. Den lossgjorda betongen samlas upp i en tratt upphängd intill väggen. Från tratten släpps avfallet ned i en låda. När den är full lyfts den upp med reaktorhallstraversen och transporteras ut.

Armeringjärn skärs eller klipptes av med samma utrustning.

Det uppkomna dammet binds med vattendusch från en spridare fäst vid hydraularmen. Genom lagom avpassad vattenmängd och finfördelning suges vattnet upp av betongdammet och inget vattenspill uppstår.



Figur 5-7. Rivning av biologiska skärmen med hjälp av bilningsmaskinen BROKK. Principskiss (t.v.) och tillämpning i R1-reaktorn (t.h.). Arbete utfört av Rivteknik AB.

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

Före bilningen täcks den öppna överdelen av biologiska skärmen med en tät konstruktion med öppningar för manöverkablar.

Botten av skärmen täcks så att en inneslutning erhålls, som medger kontrollerad och filtrerad ventilation under bilningen.

Betongspill på botten av inneslutningen suggs upp med en vakuumlaster.

När betongskiktet med inducerad aktivitet i biologiska skyddet har tagits bort, borttages inklädnadsplåten i wetwell och övriga bassänger. Kontaminerad ytbetong i bassänger och på golv bilas bort med BROKK-maskiner med en bredmejsel som verktyg. Den sönderdelade betongen suggs upp med en vakuumlaster.

5.5.2 Inaktiv byggnadsrivning

Sedan all kontaminerad betong avbilats, förpackats och transportrats ut, vidtar den konventionella rivningen. Denna påbörjas i de översta våningarna i kraftverksblocket.

Taktäckning och takbalkar samt traverser avlägsnas först med hjälp av lyftkranar. Sedan bilas med hjälp av t ex BROKK-maskiner väggar av betong på så sätt, att partier med en storlek av ca 2x3 m skäres ut med hjälp av bilningsmaskinen och släppes ned till marken på utsidan av väggen. Med bjälklagen förfars på samma sätt. Uttransport till ytterväggen sker med en liten mobilkran som opererar från det aktuella bjälklaget.

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

Reaktorinneslutningens vägg, som är c:a 1,0 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.

Reaktorinneslutningen hos PWR-blocken och vissa BWR-block har spännkablar 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 borrarade hålen.

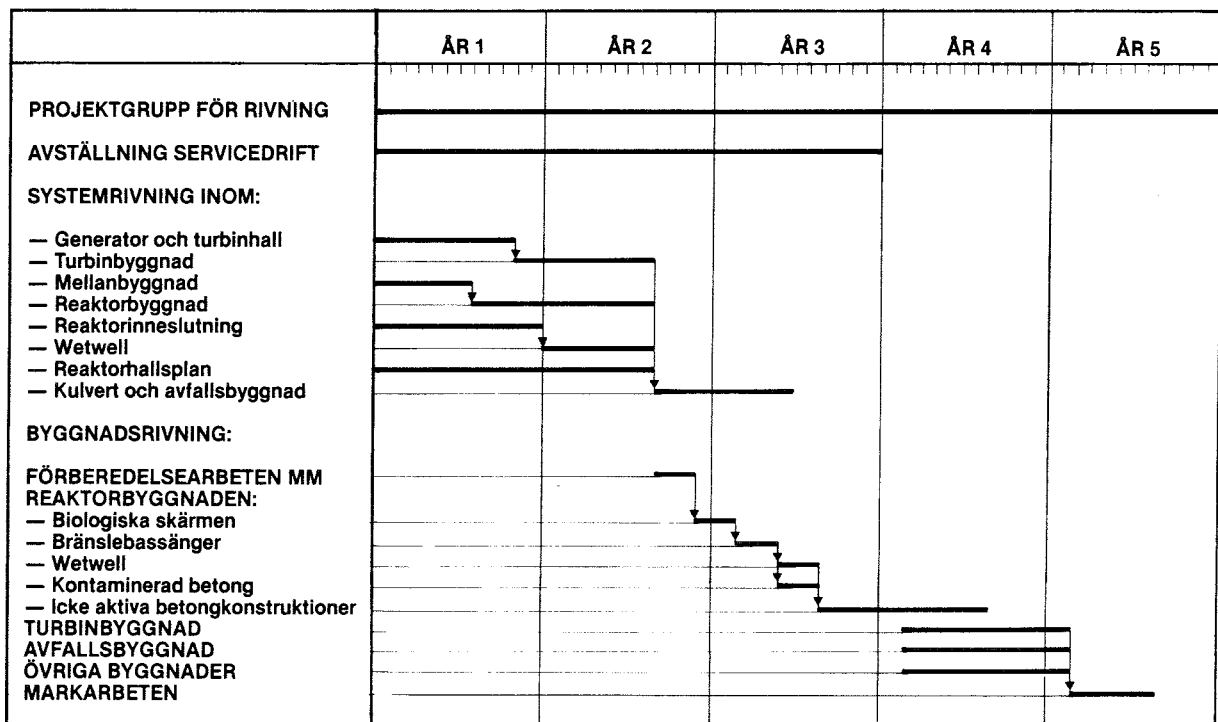
Betongskorstenarna rives enklast genom avbilning vid fundamenten och fällning ut mot kraftverksplanen.

6 TIDPLAN OCH PERSONALBEHOV

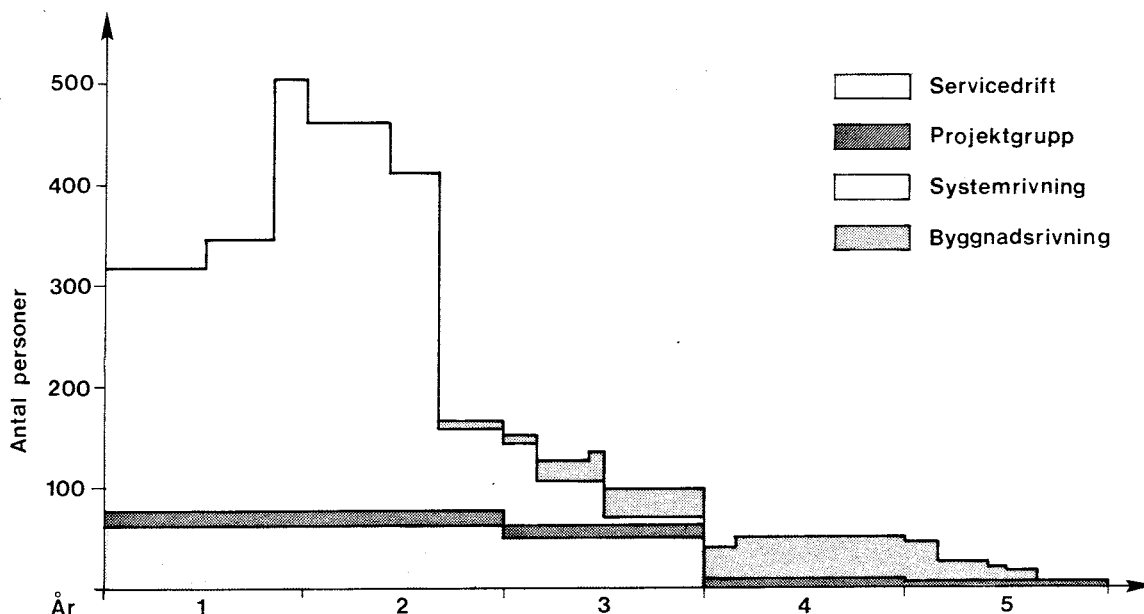
Tidpunkten för start av rivningsarbetet är beroende av hur snabbt allt reaktorbränsle kan transporteras bort. Om hela transport- och mottagningskapaciteten vid CLAB reserveras för ett block, torde rivningen kunna inledas ca 1 år efter det att elproduktionen upphört.

För att tidplanen för borttagande av system och processutrustning skall bli kort, sker rivningsarbete parallellt i olika delar i blocket. För en BWR-anläggning påbörjas rivningen lämpligen i generatordelen, reaktorinneslutningen och reaktorhallsplanet.

Arbetet på reaktorhallsplanet avser huvudsakligen sönderdelning och förpackning av reaktortankens interna delar samt själva reaktortanken. Dessa arbeten är mycket omfattande och är styrande för totaltiden för rivningsarbetet.



Figur 6-1. Total tidplan för rivning av Ringhals 1.



Figur 6-2. Totalt personalbehov för rivning av Ringhals 1.

För en PWR-anläggning är arbetet inne i reaktorinneslutningen styrande för tidplanen och även här blir sönderdelning av de interna delarna och reaktortanken styrande för totaltiden för rivningsarbetet.

Vid bedömning av tidplan och personalbehov har en total genomgång av de båda referensanläggningarna gjorts. Genomgången omfattar en rumsvis genomgång för system och utrustningar och bedömningarna har baserat sig på erfarenheter från normala revisionsarbeten samt större modifieringar och ombyggnadsarbeten.

Totala tiden för systemrivningen för Ringhals 1 har bedömts bli 30 månader. För BWR-block med interna pumpar medför sönderdelningen av reaktortanken en förlängning av totaltiden till 34 månader. Resursbehovet under rivningsperioden varierar och uppgår som maximum till c:a 340 personer för systemrivningen.

Rivning av byggnadskonstruktioner har studerats av företag med mångårig erfarenhet från industrialanläggningar.

Byggnadsrivningen inleds med borttagandet av betong med inducerad aktivitet i biologiska skärmen. Detta arbete kan inledas när all aktiv processutrustning inklusive reaktortanken har avlägsnats, vilket inträffar 20 månader efter start av systemrivningen. För BWR-anläggning med interna pumpar dröjer det ytterligare 4 månader.

Tiden för byggnadsrivningen inklusive återställning av markområdet har beräknats till 36 månader. Under de första 12 månaderna rivs byggnadskonstruktioner med inducerad aktivitet, kontaminerade

bassänginklädnader samt kontaminerad betong. När detta arbete är avslutat och radiologiska mätningar visar att all aktivitet har avlägsnats, kan dessa byggnader klassas som inaktiva och rivningen kan ske med konventionella metoder.

Byggnadsrivningen kommer att genomföras med hjälp av stora entreprenadmaskiner, varför personalstyrkan kan hållas nere. Maximalt uppgår personalen för byggnadsrivning till c:a 40 personer.

En total personalkurva för rivning av Ringhals 1 framgår av figur 6-2. Maximalt uppgår personalbehovet till c:a 480 personer. Detta inkluderar projektgruppen, systemrivare och byggnadsrivare med arbetsledning samt personal för servicedriften. För servicedriften har endast Ringhals 1:s andel av totala driftpersonalen vid Ringhalsverket tagits med.

För övriga BWR-block med externpumpar har samma tidplan antagits, som för Ringhals 1, och för BWR-block med internpumpar har en fyra månader längre tidplan använts. Det är möjligt att hålla dessa tidplaner genom att anpassa arbetsstyrkan, med hänsyn till mängden material som skall bort.

Rivningsplanen för ett PWR-block överensstämmer i stort med ett BWR-block. Omfattning av de aktiva systemen är dock mindre, eftersom turbinanläggningen är helt inaktiv för ett PWR-block. Bestämmande för tidplanen för genomförandet av rivningen är även här demontage av interna delar till reaktortanken samt själva reaktortanken. Den totala tiden för rivningen har därför bedömts vara lika ett BWR-block (R1). Möjligheter torde dock finnas att förkorta tiden.

7 AVFALLSHANTERING

7.1 MATERIALMÄNGDER

För att bestämma mängden avfall, som skall tas om hand i samband med att kärnkraftverken rivs, har en detaljerad studie av materialmängderna i Ringhals 1 (BWR) och Ringhals 2 (PWR) genomförts /6/. Resultatet har sammanställts i tabell 7-1.

Materialmängderna i övriga BWR-block har beräknats i förhållande till Ringhals 1. Vid bestämningen av mängden aktivt material i systemdelar har förhållandet aktivt/inaktivt antagits vara det samma i alla BWR.

Materialmängderna i Ringhals 3 och 4 antages vara lika med Ringhals 2. I tabell 7-2 och figur 7-1 ges en sammanställning av totala mängden rivningsmaterial från samtliga block.

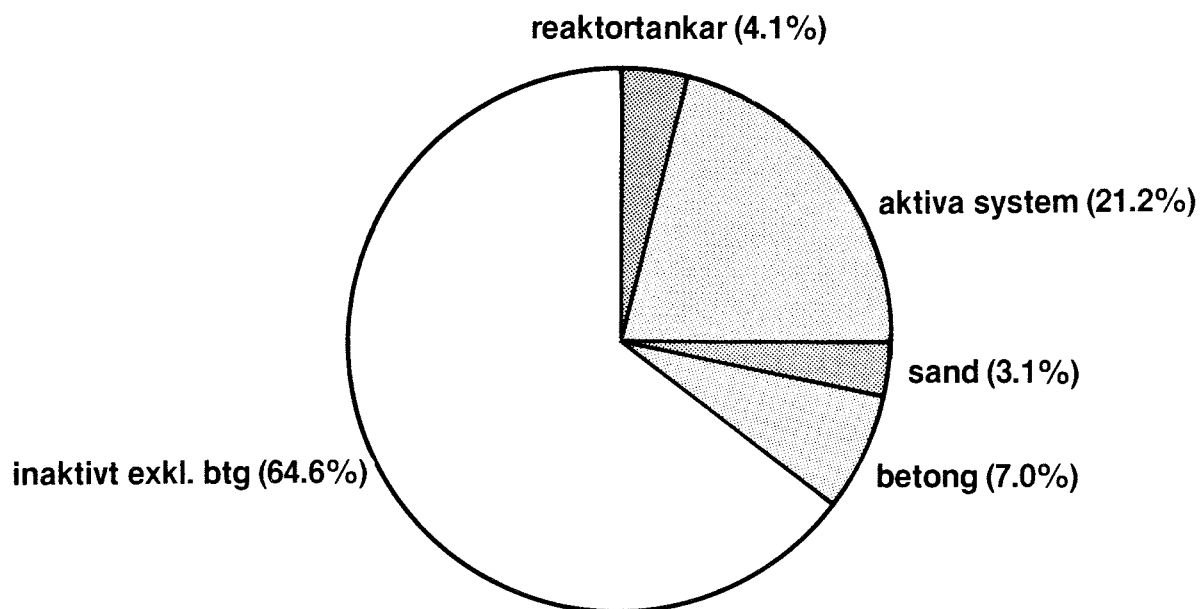
Från rivningen erhålles även en del processavfall, t.ex. jonbytarmassor och filter. Huvuddelen av jonbytarmassorna erhålles vid systemdekontamineringen /8/.

Tabell 7-1: Avfallsmängder för Ringhals 1 och Ringhals 2 i ton.

	Ringhals 1		Ringhals 2	
	Aktivt	Inaktivt	Aktivt	Inaktivt
Tank och interna delar	650	-	330	-
Rör och ventiler	1485	1435	465	ca 1900
Apparater	1780	4215	1935	ca 5800
Isolering	60	90	60	150
Elkablar och stegar	-	280	-	250
Sand	350	3150	-	-
Betong	915	ej ber	975	ej ber
Processavfall (ingjutet)	300	-	300	-

Tabell 7-2: Rivningsmaterial från blocken i ton.

Block	AKTIVT MATERIAL				Totalt	INAKTIVT MATERIAL
	Reaktor-tank	Övriga aktiva system	Sand	Betong		(exkl betong)
01	650	1990	250	615	3505	6135
02	650	2475	250	900	4275	7480
03	760	4725	1050	1410	7945	13905
R1 (ref)	650	3325	350	915	5240	9170
R2 (ref)	330	2460	-	975	3765	8135
R3	330	2460	-	975	3765	8135
R4	330	2460	-	975	3765	8135
B1	650	2470	250	900	4275	7480
B2	650	2655	250	990	4550	7965
F1	760	4120	1050	1230	7165	12540
F2	760	3935	1050	1230	6980	12215
F3	760	4720	1050	1440	7975	13960
SUMMA TON					63.205	115.225



Figur 7-1. Avfallsmängder från rivning av de svenska kärnkraftverken.

7.2 KLASSNING AV AVFALL

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

- Avfall som kan friklassas
- Avfall som kan deponeras på platsen
- Avfall som kräver slutförvaring i SFR eller SFL.

Frikllassning

Materialet friklassas för återanvändning eller för deponering utan restriktioner. Vid friklassning tillämpas idag på försök gränsen ca 300 Bq/kg. Denna gräns är medvetet satt mycket lågt och kommer sannolikt att höjas, när mera erfarenheter från friklassning erhållits. T.ex. kan gränsen för material som inte fordrar tillstånd enligt strålskyddslagen, 70 kBq/kg, användas som ett riktvärde.

Deponering på platsen

OKGs tillstånd för markdeponering vid Oskarshamnsverket innebär att den totala deponerade aktiviteten inte vid något tillfälle får överstiga 100 GBq. Vidare får medelaktivitetskoncentrationen per kolli inte vara större än 300 kBq/kg. Även för markdeponering är det sannolikt att totalaktivitetsgränsen kommer att höjas när man fått erfarenheter. Ett riktvärde kan vara 10 TBq, vilket är gränsvärdet för SSI:s rätt att pröva tillstånd för markförvaring enligt kärntekniklagen. Även högre värden kan bli aktuella med hänsyn till de optimeringsprinciper, som diskuteras inom ICRP /12/.

Slutförvaring i SFR eller SFL

Huvuddelen av det rivningsavfall, som kräver slutförvaring kommer att deponeras i SFR3. Av praktiska skäl kan även en del avfall med hög aktivitetsnivå komma att deponeras i SFL.

Aktivitetssinnehållet i rivningsavfallet domineras av Co-60, som har ca 5 års halveringstid (se kapitel 4). I reaktortankens interna delar ingår även en viss del mera långlivade nuklider, t ex Ni-63, Ni-59, och Nb-94. Aktivitetsnivån och den radiologiska skadligheten hos dessa är dock så låg att även de interna delarna kan deponeras i SFR.

Vissa interna delar har en så hög strålnivå att de måste transporteras i en hårdkomponentflaska. Det kan även vara lämpligt att mellanlagra dem i CLAB under några tiotal år innan de deponeras, varigenom hanteringen vid slutförvaret förenklas. En utredning om vilket alternativ, som är effektivast har inte rymts inom denna studie.

7.3 BEHANDLING AV AVFALLET

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

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

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

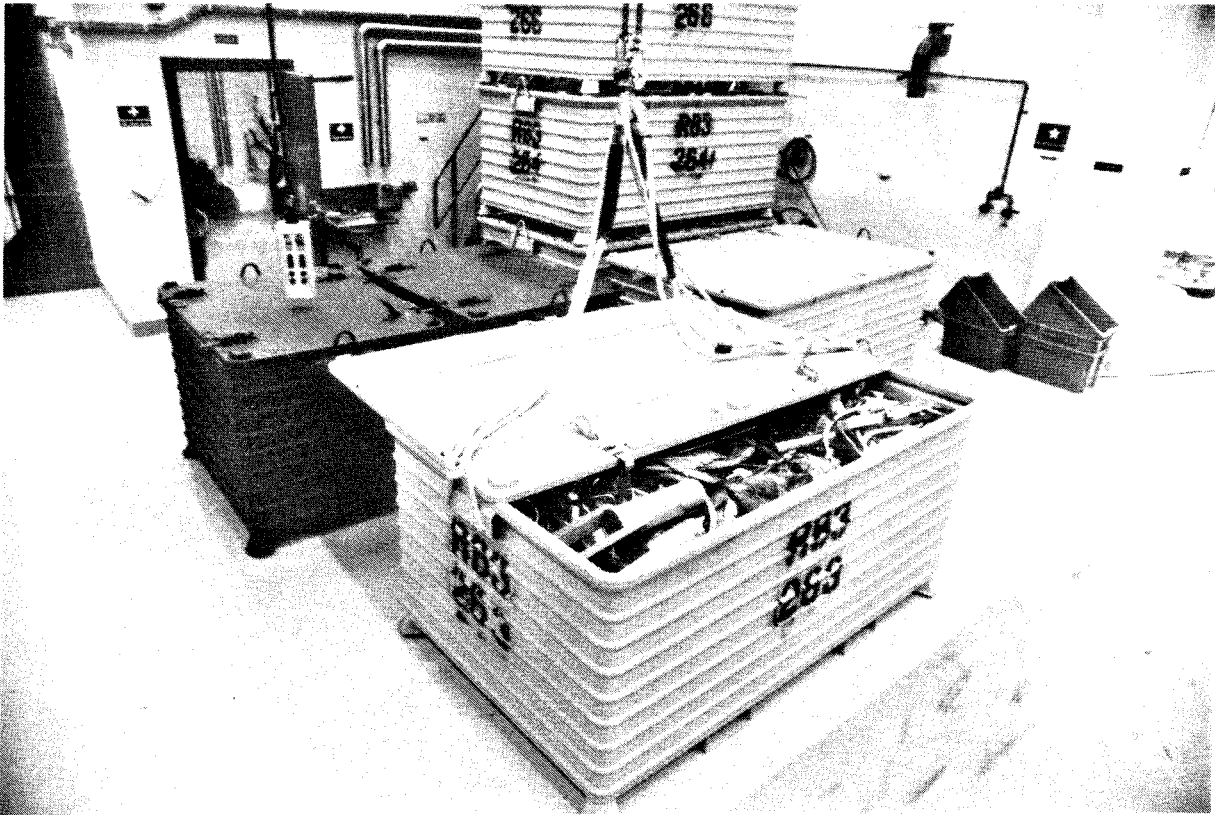
För det direkta rivningsavfallet förutses minsta möjliga behandling. Metallskrot kapas direkt vid rivningen upp i lämpliga dimensioner för transport till slutförvaring. Öppna rörändar försluts med kraftigt plastlock, för att undvika spridning av lös aktivitet. Lågaktivt material placeras direkt i transportcontainers, vilka kan deponeras i SFR. Material som kräver strålskärning placeras i strålskärmande transportbehållare. För att förenkla hanteringen i SFR förses de med lämpliga lyftanordningar, t ex nät med lyftstroppar.

I vissa fall målas skrotet eller plastas in för att förhindra spridning av aktivitet.

Betong och sand placeras direkt i lämpliga transportförpackningar.

Skrot, som bedöms kunna friklassas efter dekontaminering, förs till den centrala dekontamineringsverkstaden. I första hand gäller det rör och tankar från turbinsystemet. Goda erfarenheter från såväl mekanisk, som kemisk och elektrokemisk dekontaminering finns vid de svenska kärnkraftverken /8/. Genom dekontaminering kan främst mängden material, som behöver slutförvar minskas. Det rengjorda skrotet har dessutom ett restvärde.

Grovt sett bedöms ca 500 ton aktivt material per BWR-block kunna friklassas efter dekontaminering.



Figur 7-2. Lådor med radioaktivt skrot.

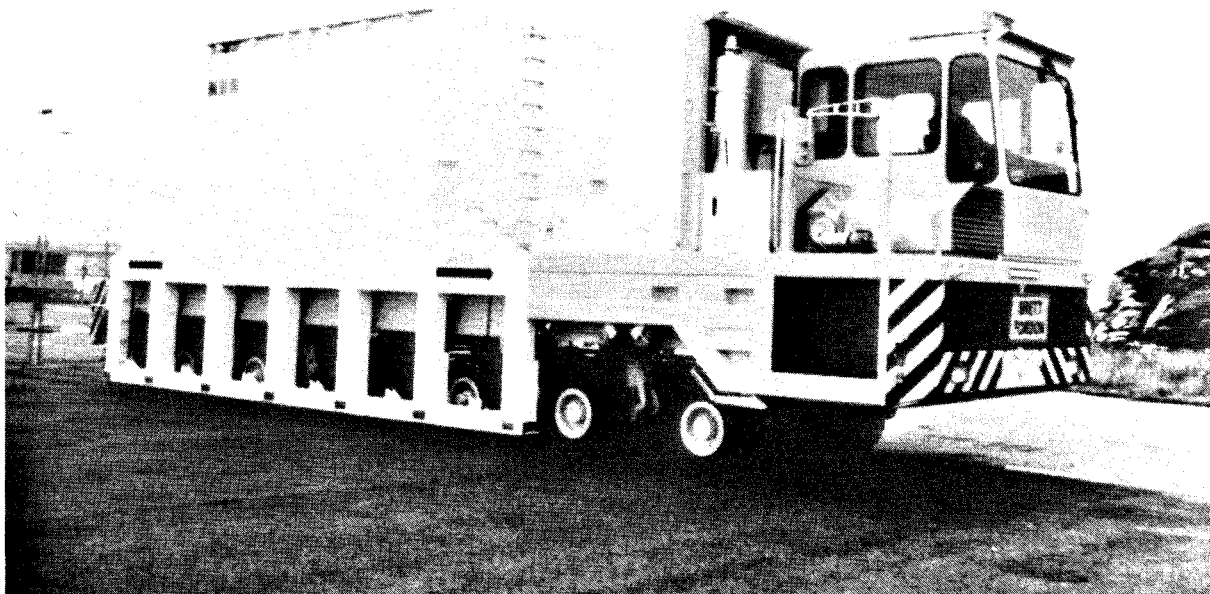
7.4 TRANSPORT AV RIVNINGSAV FALL

För transporter av rivningsavfall kommer SKBs transportsystem att användas. Det består av ett transportfartyg, terminalfordon och transportbehållare. Lågaktivt gods i ISO-containers kan även transporteras per lastbil.

Transporter i Sverige av radioaktivt avfall skall godkännas av SSI. De skall uppfylla kraven enligt IAEA:s transportrekommendationer /13/. Olika typer av transportbehållare kommer att användas. I huvudsak kan de behållare som används för transport av driftavfall från kärnkraftverken även utnyttjas för transport av rivningsavfall, nämligen:

- Härdkomponentflaska, som är typ B-godkänd
- Strålskärmande ATB-behållare (figur 7-3)
- Standard ISO-containers, hel eller halvhöjds.

Eventuellt kan speciella behållare för visst rivningsavfall utvecklas.



Figur 7-3. Strålskärmande transportbehållare, ATB, för reaktoravfall.

Stora komponenter, t ex värmeväxlare och tankar, som inte ryms i befintliga transportbehållare kan lämpligen transporteras utan särskild förpackning. Dessa transporter blir av begränsad omfattning.

För att bestämma behovet av strålskärmning i samband med transporter har strålskärningsberäkningar genomförts /9/. Beräkningarna har genomförts för vanligt förekommande rördimensioner, 125 mm resp. 300 mm rördiameter. De visar att rör med en ytaktivitet upp till ca 15 kBq/cm^2 kan transporteras i vanliga ISO-standardcontainers utan strålskärm och ändå uppfylla kraven i IAEA:s transportrekommendationer.

Utifrån dessa beräkningar och beräknat aktivitetsinnehåll i anläggningen (se kapitel 4) har följande schablonmässiga uppdelning gjorts, för bestämning av transport- och slutförvarsbehov:

- I BWR kräver de interna delar, som sitter närmast härden transport i hårdkomponentflaska. Det gäller från övre delen av styrstavsledrören upp till och med ångseparatorerna (se figur 4-2).

- I PWR kräver även en del av reaktortanksmaterialet transport i hårdkomponentflaska.
- Övriga interna delar, samt reaktortanken kan transporteras till SFR i en ATB-behållare.
- Huvuddelen av de aktiva delarna i primärkretsen, och från avfallsanläggningen antas bli transporterade till SFR. Det mesta materialet kan transporteras i vanliga ISO-standardcontainers. Vissa delar kräver dock strålskärmande ATB-behållare.
- En stor del av turbinsystemen bedöms kunna friklassas efter enkel dekontaminering. För resterande delar bedöms ca 500 ton, främst rör och tankar, kunna friklassas efter t ex elektrokemisk dekontaminering.

Det beräknade aktivitetsinnehållet i de två sista grupperna är några hundra GBq per reaktorblock efter genomförd systemdekontaminering. Detta material skulle därför ur aktivitetssynpunkt kunna deponeras på platsen, t.ex. i anläggningens underjordsdelar.

Antages ingen lokal deponering av aktivt avfall ske blir det totala transportbehovet för de olika reaktorblocken enligt tabell 7-3 och figur 7-4. Ifall lokal deponering genomförs av delar från reaktor- och turbinsystemen i full utsträckning bortfaller samtliga transporter av ISO-standardcontainers, och en stor del av de hela komponenterna. Det totala transportbehovet minskar därmed med ca. 75.000 m³.

7.5 SLUTFÖRVARING AV RIVNINGSAVFALL

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

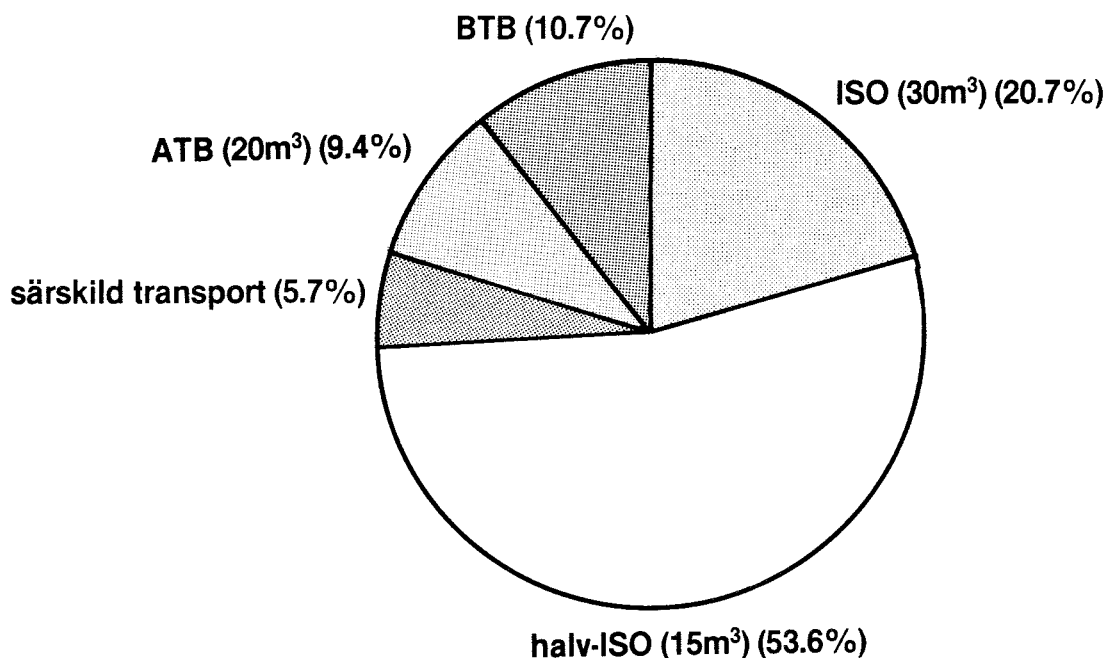
Den totala mängden avfall från rivning av de svenska kärnkraftverken, som planeras bli deponerat i SFR är enligt tabell 7-3 ca 100 000 m³, varav 88 000 m³ lågaktivt och 12 000 m³ medelaktivt.

För rivningsavfall kommer en utbyggnad att ske, SFR 3, som består av fem bergsalar. Se figur 2-1. Fyra av bergsalarna är avsedda för det lågaktiva rivningsavfallet, som transporteras till SFR i standard ISO-containers eller som stora komponenter utan förpackning. Containerarna kommer inte att öppnas i SFR, utan de kommer liksom även de stora komponenterna att deponeras som enheter. Inplacementen av containerarna i slutförvaret sker med en gaffeltruck. Se figur 7-5.

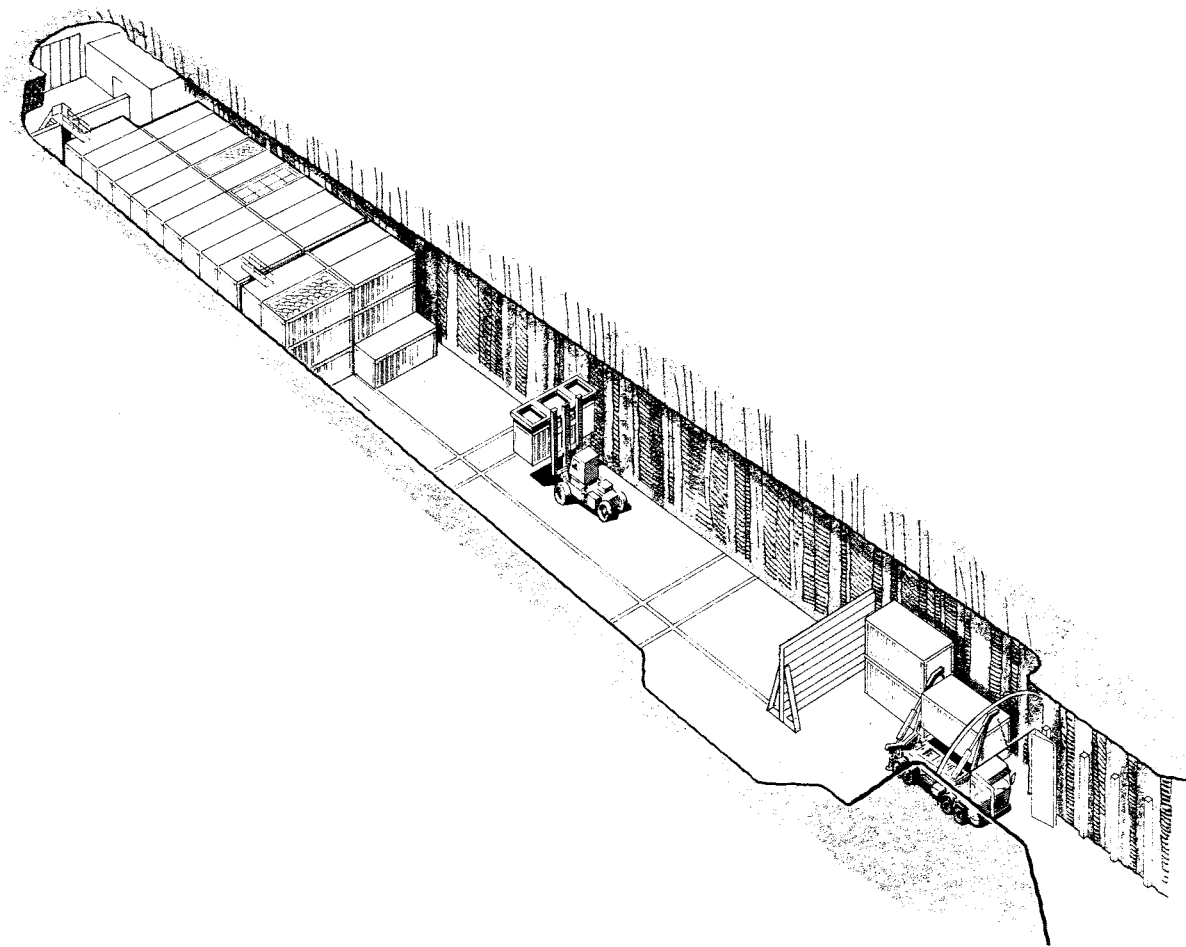
Den femte bergsalen är avsedd för medelaktivt avfall, som transporteras till SFR i ATB-behållare. Denna bergsal innehåller en urlastningsposition, där behållarna öppnas och ett antal betong

Tabell 7-3: Transporter av rivningsavfall från de svenska kärnkraftverken uppdelat på olika typer av transportbehållare.

Block	ISO-Cont. (30 m ³)	ISO-Cont. (15 m ³)	Spec. transp.	ATB (20 m ³)	BTB
Oskarshamn 1	60	115	29	37	40
Oskarshamn 2	75	168	29	38	40
Oskarshamn 3	143	337	29	45	40
Ringhals 1	100	196	29	38	40
Ringhals 2	50	118	11	63	65
Ringhals 3	50	118	11	63	65
Ringhals 4	50	118	11	63	65
Barsebäck 1	75	168	29	38	40
Barsebäck 2	80	175	29	38	40
Forsmark 1	124	300	29	44	40
Forsmark 2	119	300	29	44	40
Forsmark 3	143	340	29	44	40
Summa (inkl. 10 % för oförutsett)	1180	2700	294	610	555
Netto förvarsvolym i SFR (m³)	Lågaktivt 88 000		Medelaktivt 12 000		



Figur 7-4. Totalt transportbehov för rivningsavfall från de svenska kärnkraftverken.



Figur 7-5. Deponering av lågaktivt avfall i containers i SFR.

tråg, i vilka avfallet placeras. Vid behov kan avfallet kringgjutats med betong i trågen.

Även de interna delarna kan deponeras i SFR. Detta kräver ett speciellt utrymme för urlastning med hänsyn till den höga strålnivån. Detta utrymme har inte studerats här. Alternativet att efter några tiotal års mellanlagring i CLAB, deponera dem i anslutning till slutförvaret för långlivat avfall finns beskrivet i /1/.

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

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

8 KOSTNADSUPPSKATTNING

8.1 GRUNDER OCH METODIK

8.1.1 Allmänt

Kostnaderna har uppskattats i prisnivå januari 1986. Pålägget för oförutsett har bedömts från fall till fall, mellan 10 och 25 %.

8.1.2 Avställningsdrift

Kostnaden för de åtgärder, som behöver vidtas från anläggningen tas ur drift till dess det egentliga rivningsarbetet påbörjas, har beräknats för Oskarshamnsverket. Utgångspunkten har därvid varit det bedömda personalbehovet, dels för de tre blocken, dels för gemensamma anläggningar, service m.m. samt en bedömning av kostnader för material och tjänster /8/.

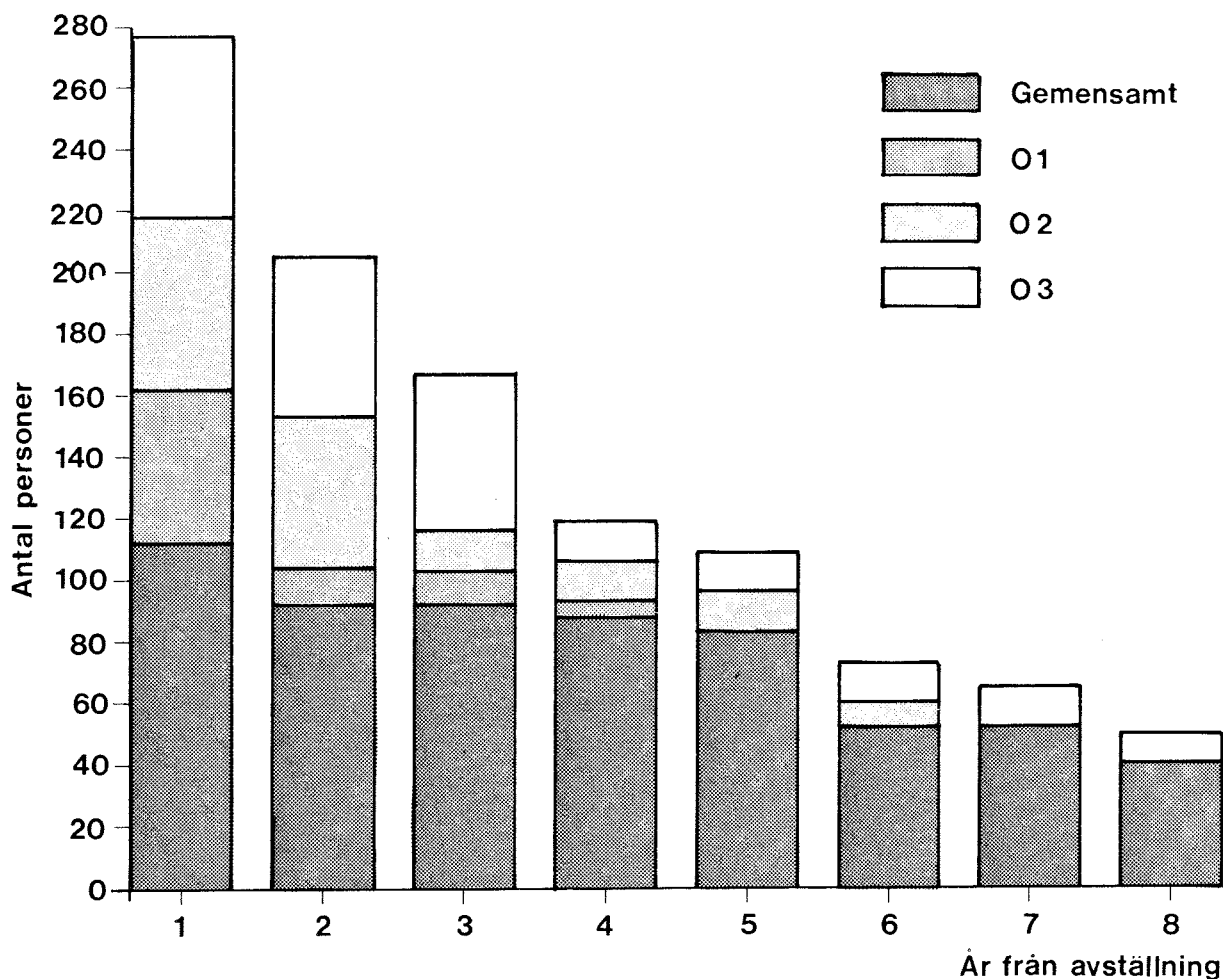
I beräkningarna har förutsatts att personalen kan avvecklas i en sådan takt, att personalstyrkan bestäms av behovet (fig. 8-1).

Kostnaderna för avställningsdriften är anläggningsspecifika och beroende av vilken övrig verksamhet som pågår på platsen. För att få fram kostnader, som även kan tillämpas på övriga stationer, har därför t.ex. bortsetts ifrån att CLAB ligger invid Oskarshamnsverket. De totala kostnaderna för avställningsdriften beror vidare av den valda tidplanen för avställning av verken och start av rivning av enstaka block.

8.1.3 Rivning av aktiva system

Resursbehovet för rivning av aktiva system, reaktortank och interna delar har beräknats för Ringhals 1 och Ringhals 2 av planeringspersonal vid Ringhalsverket. Beräkningen är baserad på de erfarenheter, som erhållits under revisionsarbeten /3,4,8/.

För aktiva system har insatserna uppskattats rum för rum, varvid normala arbetsmetoder antagits. För reaktortanken är uppskattningen baserad på en separat studie. Utöver den direkta rivningspersonalen ingår även personal för hantering och uttransport av



Figur 8-1. Personalbehov för avställningsdriften vid Oskarshamnsverket.

avfall, sanerings- och strålskyddspersonal, samt viss driftspersonal för service. Resursbehovet har beräknats med en viss konservatism. Vid beräkning av kostnaderna har arbetet antagits bli genomfört av en entreprenör /5/.

8.1.4 Rivning av inaktiva system

I kostnadsuppskattningen ovan har även kostnaden för rivning av inaktiva system inkluderats. I vissa fall är värdet av skrotmaterialet, t ex för kablar, så högt att ingen extra rivningskostnad tagits upp.

8.1.5 Byggnadsrivning

Kostnaderna för rivning av byggnadsdelarna har likaså beräknats som en entreprenad. Kostnadsdata har baserats på erfarenhetsvärde från tillfrågade entreprenörer och har uttryckts som å-priser. I dessa priser ingår utöver personalkostnader även kostnader för hyra av utrustning och maskiner och borttransport av rivningsprodukter (inaktiva) /7/.

8.2 KOSTNADSSAMMANSTÄLLNING - REFERENSANLÄGGNINGAR

8.2.1 Avställningsdrift

Kostnaden för avställningsdriften är, som nämnts starkt beroende av platsorganisation och rivningstidplan. En beräkning har genomförts för Oskarshamnsverket för fallet att alla reaktorer ställs av samtidigt, men att rivningen av blocken påbörjas med två års mellanrum. (Se figur 2-2). Totalkostnaden för avställningsdriften blir enligt denna beräkning 190 MSEK (inklusive 10% pålägg för oförutsett).

Antas i stället att blocken ställs av succesivt under en femårsperiod, enligt figur 2-3, blir kostnaden 56 MSEK för Oskarshamnsverket.

Totalt för samtliga reaktorer i Sverige blir kostnaden för avställningsdriften 795 MSEK respektive 225 MSEK vid tidplan enligt figur 2-2 respektive figur 2-3.

8.2.2 Rivning

De uppskattade kostnaderna för rivning av Ringhals 1 och Ringhals 2 har sammanställts i tabell 8-1. Kostnaderna inkluderar pålägg för oförutsett med 20 % för systemrivning och 25 % för byggnadsrivning.

8.3 KOSTNADER FÖR ÖVRIGA SVENSKA KÄRNKRAFTVERK

8.3.1 Avställningsdrift

Kostnadsberäkningarna för Oskarshamnsverket har bearbetats så att de även kan tillämpas på övriga verk /8/. Resultatet framgår av tabell 8-2.

8.3.2 Rivningskostnader

För att bedöma rivningskostnaderna för övriga block, har en proportionering gjorts baserad på materialmängder i byggnader och system /5,7/. För internpumpsreaktorer har även en separat beräkning av rivning av reaktortanken gjorts. Resultaten har sammanställts i tabell 8-2.

Tabell 8-1: Beräknade kostnader för rivning av Ringhals 1 och Ringhals 2, inklusive pålägg för oförutsett (MSEK).

	Ringhals 1	Ringhals 2
Rivning av reaktortank och interna delar	45	45
Rivning av system	277	185
Rivning av aktiva byggnadsdelar	10	10
Rivning av inaktiva byggnadsdelar	90	100
Projektledning	43	43
Servicedrift	59	59
Försäkringar, skatter och avgifter	10	10
Avfallsbehållare	7	7
TOTALT	541	456

Tabell 8-2: Sammanställning av rivningskostnaderna för de svenska kärnkraftverken.

	01	02	03	B1	B2	R1	R2	R3	R4	F1	F2	F3
Projektledning	43	43	43	43	43	43	43	43	43	43	43	43
Rivning av tank och interndelar	45	45	67	45	45	45	45	45	45	67	67	67
Rivning av system	186	222	402	222	238	277	185	185	185	363	351	402
Byggnadsrivning	70	90	160	86	100	100	110	110	110	125	123	170
Servicedrift	50	53	56	48	48	59	59	59	59	52	52	56
Avfallsbehållare	4	5	10	5	6	7	4	4	4	9	9	10
Försäkringar etc.	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
Totalt rivning	410	470	750	460	490	540	460	460	460	720	710	760
Avställningsdrift		190		110			310				190	

8.3.3 Transport och slutförvaring

Kostnaderna för transport och slutförvaring har inte beräknats i denna studie. Dessa kostnader redovisas separat /1/. Totalt för Sverige uppskattas transportkostnader för rivningsavfall till ca 200 MSEK och slutförvaringskostnaderna till ca 400 MSEK.

8.4 **RESTVÄRDE I REAKTORANLÄGGNINGEN**

På reaktor-anläggningarna finns det betydande mängder material och utrustning, som kan försälas i samband med att anläggningarna läggs ned och rivs. Det är dels reservdelar, rörmaterial, standardmaskinelement, som finns i förråd, dels verkstadsutrustning, lyftutrustningar och elanläggningar (t ex dieslar) som använts, men som fortfarande är i brukbart skick. En försiktig bedömning av restvärdet på material vid Oskarshamnsverket är ca 230 MSEK /8/, dvs totalt för alla kärnkraftverk ca 900 MSEK.

Marken liksom den infrastruktur, som finns uppbyggd på platsen har också ett stort värde för annan industrietablering. Detta värde har ej uppskattats här.

9 DISKUSSION KRING MÖJLIGA FÖRÄNDRINGAR

9.1 SENARELAGD RIVNING

I kapitel 2 diskuterades effekterna av att senarelägga själva rivningsarbetet. Ett av huvudskälen till att senarelägga rivningen är att aktivitetsnivåerna minskar, vilket kan medföra att rivningsarbetet förenklas och dosbelastning till rivningspersonalen minskas. Som exempel betraktas här rivning efter en avställningsperiod på ca 40 år.

Principerna vid fördröjd rivning kan sammanfattas enligt följande.

Bränslehantering

Borttransporten av bränslet sker på samma sätt som vid direkt rivning. Även borttransport av styrestavar utföres.

Så länge bränsle finns kvar i blockets bränslebassänger förutsättes kontinuerligt skiftgående personal.

Dekontaminering och städning

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

För att förhindra spridning av aktivitet under den långa övervakningsperioden sker efter avställningen en noggrann städning av alla rum, samt slamsugning och sanering av bassänger, tankar och pumpgröpar. De interna delarna placeras i reaktortanken och locket skruvas fast. Bassängplåtar behandlas om så erfordras med lämplig färg eller plast för att bland annat förhindra aktivitetsfrigörelse.

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

Övervakningsperioden

En genomgång har visat att ett kärnkraftverk kan förslutas på ett så tillförlitligt sätt, att ingen kontinuerlig bevakning på platsen är nödvändig /6/.

En tillfredsställande övervakning av anläggningen kan erhållas dels genom automatiska larmordningar, dels genom regelbundet återkommande inspektioner. Larmen överförs via Televerkets larmutrustning till Länsalarmeringscentralen. Exempel på larm är

- hög nivå i pumpgroppar
- obehörig öppning av ytterdörrar
- branddetektorer

Vid de regelbundet återkommande inspektionerna bedömes behov av underhållsåtgärder.

Reaktivering av arbetsplatsen

Vid detta scenario förutsättes att ingen verksamhet förekommer vid kraftstationen under vänteperioden. Anläggningens servicelokaler i form av verkstäder, förråd, kontor, matsalar etc. underhålls ej och kommer inte att kunna användas vid genomförandet av rivningen, utan en omfattande renovering. Efter 40 år är det sannolikt nödvändigt att bygga nytt.

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

Systembehov under rivningen

Inne i blocken måste på motsvarande sätt erforderliga system för rivningen göras driftdugliga, t ex system för vattenförsörjning, dränage, ventilation, kraftförsörjning, och tryckluft.

Nya traverser, som behövs för rivningsarbetet installeras i turbinhall, reaktorhall etc.

Teknik för rivningen

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

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

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

Avfallsmängderna vid den fördröjda rivningen bör minska med hänsyn till den avklingning som skett. Vi har dock inte tillgodoräknat oss denna minskning av avfallsmängderna för detta alternativ.

Kostnader

En uppskattning av kostnaderna vid fördröjd rivning är naturligtvis behäftad med stora osäkerheter. Här ges därför bara en grov uppskattning.

Kostnaderna för att förbereda anläggningen för en längre vänteperiod kan antas vara ungefär desamma, som att förbereda den för rivning direkt.

Kostnaderna under vänteperioden blir starkt beroende av kraven på övervakning. För den nivå på övervakningen, som beskrivits ovan blir de direkta kostnaderna ca 0.5 MSEK/år och reaktorstation. Härtill kommer avgifter till myndigheter, skatter och försäkringar vilka inte kan uppskattas idag.

Ställs det krav på kontinuerlig bevakning, avfuktning av anläggningen mm ökar årskostnaderna till ca 2-3 MSEK/år och reaktorstation.

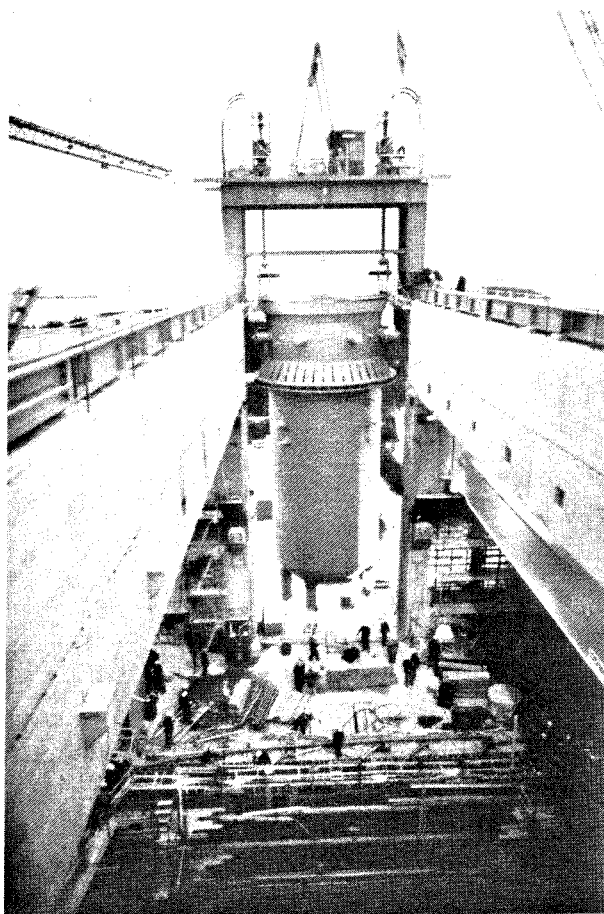
Innan rivningen påbörjas uppstår kostnader för reaktivering av kontor, omklädningsrum, serviceanläggningar och system, som behövs för rivningen, samt för utbildning av personal. Detta uppskattas kosta ca 70 MSEK per reaktorstation plus ca 25 MSEK per reaktorblock /5/.

Kostnaden för rivningsarbetet beräknas inte minska i någon större utsträckning, eftersom samma arbetsmetoder måste tillämpas, även efter 40 års vänteperiod.

9.2 TRANSPORT OCH SLUTFÖRVARING AV HEL REAKTORTANK

Som huvudalternativ har i denna rapport antagits att reaktortanken sönderdelas innan den transporteras bort. Sönderdelning av reaktortanken är dock en mycket arbetskrävande och dyrbar åtgärd, varför även möjligheten till slutdeponering av hel reaktortank har undersökts översiktligt.

Vid montaget av reaktortanken utföres lyft av hel tank in i reaktortorbyggnaden, varför själva hanteringen av den tunga tanken 300-500 ton, inte utgör något hinder. I Oskarshamn 1 och Ringhals 1



Figur 9-1. Inlyft av reaktortanken i Forsmark 3.

Tabell 9-2: Dosrat utanför en reaktortank efter 40 års drift och 5 resp. 40 års avklingning. Bränslet är borta. /14/

		Avklingning	Ytan	Dosrat(mSv/h)	
				1 m	10m
F3	Tom tank	5 år	1	0.6	<0.1
	Tank+interndelar	5 år	80	60	10
	Tom tank	40 år	0.01		
	Tank+interndelar	40 år	0.8	0.6	0.1
O2	Tom tank	5 år	10	5	0.3
	Tank+interndelar	5 år	200	160	20
	Tom tank	40 år	0.1		
	Tank+interndelar	40 år	2	1.6	0.2
R2	Tom tank	5 år	10	5	0.3
	Tank+interndelar	5 år	20		

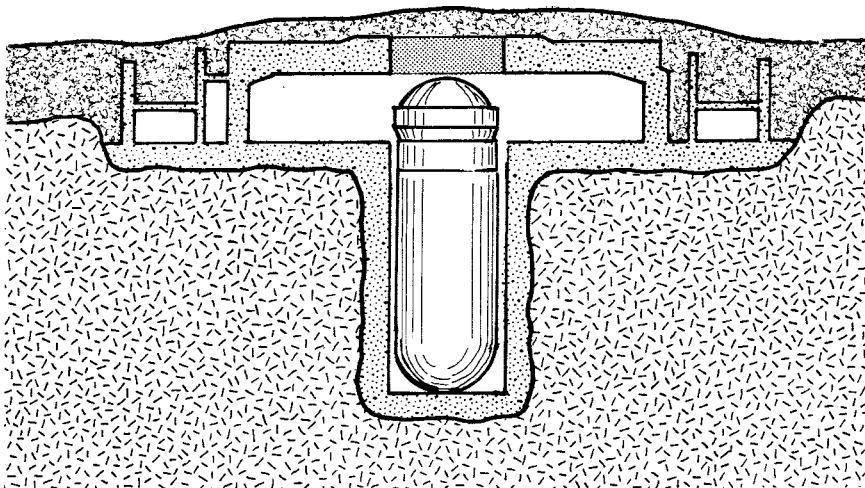
samt i PWR-blocken skedde inlyft via en montageöppning, som senare förslöts. För dessa block måste således öppningen tas upp igen innan tanken kan lyftas ut. I övriga block finns tillräckligt stora permanenta lyftöppningar för in- och urluft av reaktortanken.

Under drifttiden har reaktortanken blivit kontaminerad och vissa delar i närheten av reaktorhärden aktiverade genom neutronbestrålning. I tabell 9-2 visas vilka dosrater som kan förväntas utanför reaktortanken (i härddöjd) efter 40 års drift och därefter avställning i 5 eller 40 år /14/. Skillnaden i ytdosrat med en faktor 10 mellan Oskarshamn 2 och Forsmark 3 - tanken beror främst på skillnaden i bredden på fallspalten. Dosnivån från en PWR-tank är ungefär densamma som för Oskarshamn 2.

Vid direkt rivning torde det vara möjligt att lyfta ut och transportera en hel reaktortank, om lämpliga strålskyddsåtgärder vidtas. De interna delarna måste dock avlägsnas innan.

Genom att vänta i 40 år eller mera kan även de interna delarna lämnas kvar i tanken.

Reaktortankarna kan deponeras i ett gemensamt slutförvar av samma typ som SFR, men där tillfartstunnlarnas dimensioner anpassats till tankens dimensioner. Alternativt skulle tanken kunna deponeras lokalt på varje kraftverksläge. Den långsiktiga säkerheten vid ett sådant tillvägagångssätt och de restriktioner som skulle erhållas på platsens användning har emellertid inte studerats.



Figur 9-2. Reaktortank deponerad under reaktorläget.

REFERENSER

- 1 PLAN 86 - Kostnader för kärnkraftens radioaktiva restprodukter
Svensk Kärnbränslehantering AB, Stockholm, juni 1986.
- 2 Teknik och kostnad för rivning av svenska kärnkraftverk
Svensk Kärnbränsleförsörjning AB
KBS TR 79-21, oktober 1979
- 3 PETTERSSON S, HANSSON T
Metodbeskrivningar och tidplan för rivning av en BWR-anläggning
Vattenfall
SKB AR 86-03, november 1985.
- 4 PETTERSSON S, JOHANSSON M
Metodbeskrivningar och tidplan för rivning av en PWR-anläggning
Vattenfall
SKB AR 86-04, november 1985.
- 5 PETTERSSON S
Kostnader för systemrivningen
Vattenfall
SKB AR 86-05, januari 1986.
- 6 BUXBAUM H, ENG T
Materialmängder, aktivitetsinnehåll och antal transportenheter
Vattenfall
SKB AR 86-06, mars 1986.
- 7 LINDSTRÖM H
Studie över rivning av byggnadsdelen i de svenska kärnkraftverken
Sydkraft AB
SKB AR 86-02, november 1985.
- 8 ELIASSON B, PULKKINEN R, FORSSSTRÖM H
Avställningsdrift och dekontaminering vid rivning
OKG AB
SKB AR 86-07, februari 1986
- 9 PETTERSSON S, BUXBAUM H, ENG T
SSI Forskningsprojekt P301-85
Transport av rivningsavfall (NKA/KAV - 350(86)1)
Vattenfall
SV PM BVN-12/86, februari 1986

- 10 EICKELPASCH W, BERGEMANN L, LÖRCHER G, PFEIFFER P
Die Aktivierung des biologischen Schilds im stillgelegten Kernkraftwerk Gundremmingen Block A
Kommission der Europäischen Gemeinschaften
EUR 8950, 1984
- 11 Storage with Surveillance versus Immediate Decommissioning for Nuclear Reactors
Proceedings of an NEA Workshop
Paris, 22-24 October 1984
- 12 Radiation Protection Principles for the Disposal of Solid Radioactive Waste
ICRP Publication 46
Annals of the ICRP, Volume 15, No. 4, 1985
- 13 Regulations for the Safe Transport of Radioactive Materials
1985 Revised Edition
IAEA, Safety Series No 6
IAEA Vienna 1985
- 14 ELKERT J
Beräkning av stråldosrat utanför reaktortankar
ASEA-ATOM
SKB AR 86-08, April 1986