

R-00-18

Teknik och kostnader för rivning av svenska kärnkraftverk

Gunnar Hedin och Börje Torstenfelt
ABB Atom AB

Jan Carlsson
Svensk Kärnbränslehantering AB

Mars 2000

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-00-18

Teknik och kostnader för rivning av svenska kärnkraftverk

Gunnar Hedin och Börje Torstenfelt
ABB Atom AB

Jan Carlsson
Svensk Kärnbränslehantering AB

Mars 2000

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 två tidigare studier (redovisade 1986 /1/ och 1994 /2/) gjort en bedömning av vid den tiden tillgänglig rivningsteknik och en ungefärlig kostnad för att genomföra rivningen. Föreliggande rapport redovisar en uppdatering av 1994 års rapport med speciell tyngdpunkt på områden som endast översiktligt studerats i tidigare utredningar. Studerade områden har dokumenterats i olika referensrapporter.

Ny information som ersätter vad som beskrivits i föregående studier har tagits fram beträffande:

- Erfarenheter av större ombyggnader i svenska kraftstationer.
- Miljöhänsyn vid rivning.
- Teknik och kostnader för rivning av PWR-blockens system.

Information som kompletterar eller fördjupar tidigare studerade områden har tagits fram för följande områden:

- Friklassning av rivningsavfall.
- En längre period av servicedrift.
- 3D-modellhjälpmedel.
- Översyn av kostnadsslag.
- Internationell jämförelse.
- Dokumentationsstruktur.

I rapporten redogörs även för kostnadsbilden för rivning, där konstaterad kostnadspåverkan från ovanstående studier förts in för två områden, miljöhänsynen för samtliga block samt systemrivningskostnaden för PWR-blocken.

I framtiden är ambitionen att en årlig översyn ska göras av rapporten med bibehållande av titeln men identifierad med nytt år och månad.

Innehållsförteckning

	sida
1 Inledning	7
2 Program och strategi för rivning av kärnkraftverken	9
2.1 Allmänt	9
2.2 Omedelbar eller senarelagd rivning	9
2.2.1 Definitioner	9
2.2.2 Internationella beslut angående servicedrift	10
2.2.3 Ställningstaganden inför servicedriften	10
2.2.4 Kostnadspåverkan	11
3 Förutsättningar	13
3.1 Allmänt	13
3.2 Teknik	13
3.3 Aktivitetsinventarium	13
3.4 Friklassning, avfall och slutförvaring	15
3.4.1 Klassning av avfallet	15
3.4.2 Friklassning	16
3.4.3 Avfallsmängder	18
3.4.4 Slutförvaring	18
3.5 Anläggningsplatsen efter rivning	19
4 Teknik	21
4.1 Allmänt	21
4.2 3D-modellering	21
4.2.1 Olika CAD-verktyg	21
4.2.2 Visualisering av installationer	22
4.2.3 Uppdelning av installationer i demontageenheter	24
4.3 Rivningstekniker	24
4.3.1 Avfallshantering	25
4.4 Miljöhänsyn	25
4.5 Specifika frågor för PWR	26
4.5.1 Byggnadsvis uppdelning vid systemrivningen	27
4.5.2 Totalt resursbehov	28
4.6 Utvecklingsområden	29
4.6.1 Utvärdering av moderniseringsprojekt	29
4.6.2 Omhändertagande av hel reaktortank	32
4.6.3 Behandling av betongytor	33
4.6.4 Strukturerad rivningsdokumentation	33
4.6.5 3D-modeller	36
4.6.6 Kostnader för rivning av byggnader	36
4.6.7 Myndighets- och administrativa kostnader	37

	sida
5 Kostnader	39
5.1 Allmänt	39
5.1.1 Kostnadsuppräknning	39
5.1.2 Förändrade kostnadsposter	39
5.2 Avställnings- och servicedrift	40
5.3 Rivningsdrift	41
5.4 Rivning av processystem	41
5.5 Byggnadsrivning	41
5.6 Sammanställning av rivningskostnader	42
5.7 Transport och slutförvaring	42
5.8 Restvärde i anläggningarna	43
6 Rekommenderade områden för fortsatta studier	45
6.1 Generellt	45
6.2 Verifikation av rivningsparametrar	45
6.3 Alternativ hantering av reaktortank	46
6.4 System- och byggnadsrivning	46
6.5 Avställnings - och servicedrift	46
6.6 Klassificering av rivningsavfall	46
6.7 3D-modellering	46
6.8 Dokumentationsstruktur	47
6.9 Dosuppskattning vid rivning	47
7 Referenser	49

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 rivras. Vidare anges i finansieringslagen (SFS 1992:1537) att en reaktorinnehavare ska beräkna den uppskattade kostnaden för avveckling och rivning av kärnkraftverket.

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 två tidigare studier (redovisade 1986 /1/ och 1994 /2/) 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, mars 2000" redovisar en uppdatering av 1994 års rapport med speciell tyngdpunkt på områden som endast översiktligt studerats tidigare. I framtiden är ambitionen att en årlig översyn ska göras av rapporten med bibehållande av titeln men identifierad med nytt år och månad.

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. Föreliggande studie har därför inte haft som målsättning att studera och ytterligare förfina möjliga rivningstekniker. Bedömningen är att teknikutvecklingen kommer att successivt pågå men att det inte inverkar väsentligt på de konstateranden som gjordes i /2/. Istället har årets rivningsstudie koncentrerats på områden där kunskapen tidigare varit begränsad eller där ny information eller lagstiftning tillkommit sedan 1994.

Arbetet med årets rivningsstudie har letts av en styrgrupp bestående av

Jan Carlsson, Svensk Kärnbränslehantering AB,
Tommy Hansson, Ringhals AB,
Gunnar Hedin, ABB Atom AB,
Bengt Lönnerberg, Svensk Kärnbränslehantering AB,
Börje Torstenfelt, ABB Atom AB,
och ABB Atom AB har svarat för projektledningen.

Följande delprojekt har genomförts och redovisats för styrgruppen i form av underlagsrapporter:

”Avställnings- och servicedrift”, Lena Hedgran och Åke Enekull, ABB Atom AB /3/.

”Friklassning”, Gunnar Hedin och Allan Ekberg, ABB Atom AB /4/.

”3D-modellhjälpmedel”, Peter Lindberg, ABB Atom AB /5/.

”Miljöhänsyn”, Gunilla Hamrefors, ABB Atom AB /6/.

”PWR”, Tommy Hansson och Bo Johansson, Ringhals AB /7/.

”Erfarenhet från större ombyggnader”, Lena Hedgran, ABB Atom AB /8/.

”Internationell jämförelse”, Börje Torstenfelt, ABB Atom AB /9/.

”Dokumentstyrning”, Gunnar Hedin, ABB Atom AB /10/.

”Översyn av kostnadsslag”, Åke Enekull, ABB Atom AB /11/.

2 Program och strategi för rivning av kärnkraftverken

2.1 Allmänt

Planeringen vid den tidigare rivningsstudien byggde 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 för reaktorerna kan fortsättningsvis tillämpas. I övrigt påverkas planeringen av att Barsebäck 1 redan ställts av där dock 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 år 2010. Fördelen med att påbörja rivningen i direkt anslutning till avställningen baseras på att det då finns tillgång till anläggningskunnig personal vilket gör att en kostnadseffektiv och säker rivning underlättas. Det är i nuläget oklart hur de nya driftförutsättningarna kommer att påverka strategi och tidsplanering för rivningen av verken.

2.2 Omedelbar eller senarelagd rivning

2.2.1 Definitioner

Följande definitioner används för att beteckna drift av en reaktoranläggning i samband med avställning av reaktorer:

- **Avställningsdrift:**
Perioden från det att blocket ställts av slutgiltigt tills sista bränslet tagits ut från anläggningen. Under denna period föreligger nukleära säkerhetskrav.
- **Servicedrift:**
Följande period fram tills en mer omfattande system- och byggnadsrivning startar. Under denna period föreligger endast strålskyddskrav.
- **Rivningsdrift:**
Perioden från att den fysiska rivningen startat i större omfattning tills hela anläggningen är friklassad. Under denna period föreligger endast strålskyddskrav.
- **Byggnadsrivning:**
Inaktiva byggnader rivs och anläggningsplatsen återställs.

Dessa faser kan pågå parallellt inom samma anläggning för olika anläggningsdelar.

Föregående rivningsstudier /1, 2/ har förutsatt tidig och successiv rivning av verken, dvs att avställningsdriften i stort sett direkt övergår i rivningsdrift. I föreliggande rivningsstudie har alternativet med en kort servicedrift jämförts med en period av längre servicedrift.

Jämförelsen /3/ visar att de inledande åtgärderna under servicedriftsperioden är i stora delar lika, oberoende av denna periods längd. Men inför en lång servicedriftsperiod kan olika aktiviteter, dess omfattning och ordningsföljd ändras, till exempel vidtas ytterligare åtgärder som konservering av system som förväntas behövas vid den framtida rivningen samt dekontaminering och rengöring av avfallsbyggnaden.

2.2.2 Internationella beslut angående servicedrift

Internationellt varierar tiden mellan det att reaktorn ställs av till dess att den rivs. De internationella valen vad gäller avställningsfilosofi är olika både mellan och inom de länder som har studerats.

I några fall har den lägre strålningsnivån vid en framtida rivning angivits som motiv för val av en längre servicedriftsperiod. Perioden har då angivits till en tid som överstiger den som anses lämplig i Sverige. I Frankrike har exempelvis 50 år angivits och i England 100 år.

I USA har däremot en omedelbar rivning valts för en del reaktorer med motivet att den framtida kapaciteten och kostnaden för lagring av medelaktivt avfall är osäker. Omedelbar rivning har valts för fem ryskbyggda verk i Tyskland (Greifswald) motiverat av att man bland annat ville utnyttja den befintliga personalen på platsen.

2.2.3 Ställningstaganden inför servicedriften

Vad gäller de stora svenska kraftproducerande verken är bedömningen att det inte finns några avgörande skillnader som föranleder olika strategier avseende längden på servicedriftsperioden.

Följande arbetsgång vid lång servicedrift föreslås för att utforma en detaljerad rivningsplan för ett utvalt block / anläggning:

- Klarställ erforderligt behov för att upprätthålla en viss temperatur och ett visst undertryck i byggnaderna.
- Utför en detaljerad utvärdering på systemnivå vilka system och vilka delar av system som behöver vara i drift för att uppfylla erforderliga behov. Här ingår även elkraftförsörjning och servicesystem.
- Se över nödvändigt underhåll och behov av konservering samt vilka kostnader detta medför i samarbete med underhållsavdelning på utvalt block / anläggning.
- Se över om förenklingar kan göras i de erforderliga systemen så att en mer ekonomisk drift erhålls.

2.2.4 Kostnadspåverkan

En längre servicedriftsperiod påverkar kostnadsbilden på flera områden. En väsentlig faktor är att de stora investeringarna, dvs upphandlingen av de fysiska rivningsinsatserna, kommer vid en senare tidpunkt vilket påverkar finansieringen. En annan konsekvens är att dosraterna minskar till följd av avklingning av radioaktiviteten, vilket förenklar många ingrepp. 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 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.

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

3 Förutsättningar

3.1 Allmänt

Målsättningen med studien har varit att uppdatera tidigare rivningsstudie (SKB TR 94-20 /2/) för att se om nyare kunskap påverkar tidigare gjorda slutsatser. Frågor som har ställts är: finns områden i /2/ som kan antas vara översiktligt studerade eller inte alls behandlade; finns ny kunskap som påverkar tidigare slutsatser; har kostnadsbilden på ett väsentligt sätt förändrats?

Till skillnad från tidigare rivningsstudier, där det i förutsättningarna slagits fast att rivningen ska starta omedelbart, har som framgår av kapitel 2 även möjligheten med senarelagd rivning studerats.

3.2 Teknik

Generellt kan sägas att det finns en stor och snabbt växande kunskap 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 R1:an i Stockholm helt monterats ner medan Ågestareaktorn har överförs i ett läge med servicedrift inför den slutliga rivningen. Vidare 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 i nuvarande rivningsstudie har den radiologiska situationen 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}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 ²]	Aktivitetskoncentration [Bq/m ² ⁶⁰ Co]	Aktivitet [Bq ⁶⁰ Co]
Tubyta i ånggenerator	15 315	4,7·10 ⁸	7,2·10 ¹²
Rostfri yta	2 240	1,4·10 ¹⁰	3,1·10 ¹³
Summa			3,8·10¹³

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

System	Yta [m ²]	Aktivitetskoncentration [Bq/m ²]	Aktivitet [Bq]
Reaktorkärl + inre detaljer	570	8,5·10 ⁹	4,8·10 ¹²
Ånggeneratorer	19 000	8,5·10 ⁹	1,6·10 ¹⁴
Tryckhållningstank	87	1,5·10 ⁹	1,5·10 ¹¹
Reaktorkylsystem	190	3,2·10 ¹⁰	5,9·10 ¹²
Andra rörytor	1 100	2,2·10 ⁹	2,2·10 ¹²
Summa	20 950		1,8·10¹⁴

3.4 Friklassning, avfall och slutförvaring

3.4.1 Klassning av avfallet

För omhändertagandet av rivningsgodset är friklassning 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. Dessa är främst smältning, med eller utan efterföljande mellanlagring, för det gods som har en kontaminationsnivå som ligger något över det direkt friklassningsbara, samt markförvar, som kan utgöra ett alternativ för gods med ett aktivitetsinnehåll som inte fullt ut motiverar placering i det mer avancerade slutförvaret.

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/m².

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 studien /2/ har uppskattat den mängd rivningsavfall som, utöver byggnadsavfallet, är direkt friklassningsbart till ca 8 000 ton per reaktor. Denna mängd kan dessutom öka beroende på gällande friklassningsgränser och möjlighet till mellanlagring för avklingning. I föreliggande studie har friklassningsoperationens förutsättningar och utförande studerats och redovisats i delrapporten "Friklassning" /4/.

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 för friklassning att sänkas för större volymer) och att SSI har för avsikt att utarbeta en ny föreskrift där internationella erfarenheter sannolikt beaktas. Dessa erfarenheter är av vitt skilda slag men det förefaller som om dagens svenska föreskrift ligger ungefär i nivå med övriga länders praxis avseende volymaktivitet medan den ligger högre avseende ytaktivitet. I andra länder skiljer man också på olika nuklider och olika typer av material. Det kan därför förväntas att en ny svensk föreskrift på samma sätt blir mer differentierad.

Det kan dock konstateras att mindre förändringar av friklassningsgränserna inte signifikant förändrar den mängd avfall som behöver förvaras i ett avancerat bergförlagt slutförvar. En dubbling av nuvarande gränsvärde gör någon procents ökning (några hundra ton) av mängden friklassningsbart material, räknat på en större reaktorläggning.

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 dekontamineringsverkstad där möjlighet finns att sönderdela 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 avfallsvolymen 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 i TR 94-20 /2/ 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 avsevärt mindre avfallsmängd behöver gå till ett underjordiskt slutförvar. Med en markdeponi erhålls betydande kostnadsbesparingar. 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 /2/ en uppskattning av avfallsmängderna som återges i föreliggande rapports tabell 3-5. I denna tabell har en justering gjorts av ett tidigare felaktigt värde för betongmängderna för Oskarshamn 3.

Tabellen har även justerats för PWR-blocken i enlighet med avsnitt 4.5.

Alla justerade värden anges i fet stil.

3.4.4 Slutförvaring

Huvuddelen av det avfall som uppstår vid rivning av en kärnkraftsanläggning utgörs av inaktiv 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 avser vi 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 SFR-1-anläggningen. 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-anläggningen.

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 efter 20–30 års mellanlagring. Slutförvaret kan antingen komma att samlokaliseras med djupförvaret för använt bränsle eller utgöra ett eget förvar tillsammans med övrigt långlivat avfall. Mellanlagringen kan antingen ske vått i kassetter i CLAB eller torrt i strålskärmande behållare.

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 m³ i SFR-3 samt 9 000 m³ i slutförvaret för långlivat avfall.

Tabell 3-5. Avfallsmängder från samtliga block [ton] (justerade uppgifter i fet stil).

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	3 069 720	92 460	3 002 990

3.5 Anläggningsplatsen efter rivning

Målet för rivningen av de svenska kärnkraftverken är att återställa marken för användning som industrimark. Några andra alternativ har inte studerats.

4 Teknik

4.1 Allmänt

En viktig uppgift är att från nuvarande kunskapsläge utveckla en svensk rivningsstrategi baserat på nationella förhållanden. Nedan redovisas områden som studerats närmare inom rivningsstudien såsom 3D-modeller (kap. 4.2), miljöhänsyn (4.4), frågor specifika för PWR (4.5), utvärdering av moderniseringsprojekt (4.6.1), och strukturerad rivningsdokumentation (4.6.4). Därutöver ges några områden där det nuvarande kunskapsläget är begränsat och där det finns anledning att arbeta vidare, samt ett avsnitt som kort behandlar nuläget inom rivningsteknik (4.3).

4.2 3D-modellering

Vid rivning och rivningsstudier finns ett stort antal områden där 3D-CAD program kan vara till stor hjälp från total överblick till minsta detaljkonstruktion. Följande är exempel på områden där CAD-verktygen kan vara till stor nytta /5/:

- Effektiv sammanställning av dokumentation för installationer.
- Automatisk beräkning av materialmängd, volym och vikt vid rivning av installationer.
- God kontroll på materialflöden.
- Möjlighet att studera olika rivningsalternativ i installationstäta utrymmen eller utrymmen med hög aktivitetsnivå genom att simulera och verifiera hela rivningsförloppet innan arbetet utförs på riktigt för att optimera tidsåtgång, minimera dosbelastning och undvika obehagliga överraskningar vid själva rivningsarbetet.
- Kortare tid för att utföra rivning av installationer.
- Minskad dosbelastning för personal.
- Illustrativt underlag som visar var kapningar ska utföras, vilket kan användas som arbetsbesked.
- Effektivare utnyttjande av containrar för lagring av material genom kontroll på vikter, volymer och innehåll i containrar vid uttransport ur anläggningen.

4.2.1 Olika CAD-verktyg

Vid konstruktionsarbete av en anläggning används flera typer av CAD-system. Detta beror på att CAD-programmen är utformade och optimerade för att användas vid olika slags konstruktionsarbeten. Man kan dela in CAD-programmen i tre huvudgrupper:

- CAD-program för anläggningskonstruktion,
- CAD-program för mekanisk konstruktion,
- CAD-program för simulering.

CAD-programmen för anläggningskonstruktion har funktioner som underlättar arbetet vid rivning. Till exempel finns funktioner som:

- kollisionstester för att samordna mot övrig installation i anläggningen.
- rapportgenerator för att lätt sammanställa olika sorts information som finns i databasen till exempel mängdning av material, komponentlista för ett system, lista med komponenter per rum,

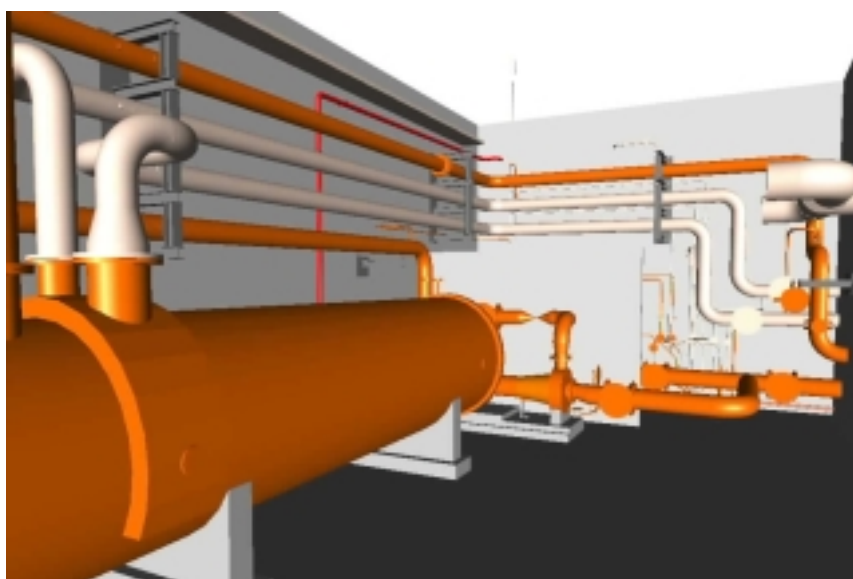
CAD-programmen för simulering kan vara fristående program eller en fristående modul inom samma familj som konstruktionsprogrammen och kan vid rivning användas för att:

- visualisera eller simulera ett händelseförlopp i en anläggning.
- jämföra olika rivningsalternativ ur olika perspektiv,
- utföra s k ”walk-throughs” i en anläggning.

I simuleringsprogrammen finns bl a funktioner för ljussättning, förflyttning av objekt, göra vissa objekt transparenta, sätta in robotar och deras rörelsebegränsningar.

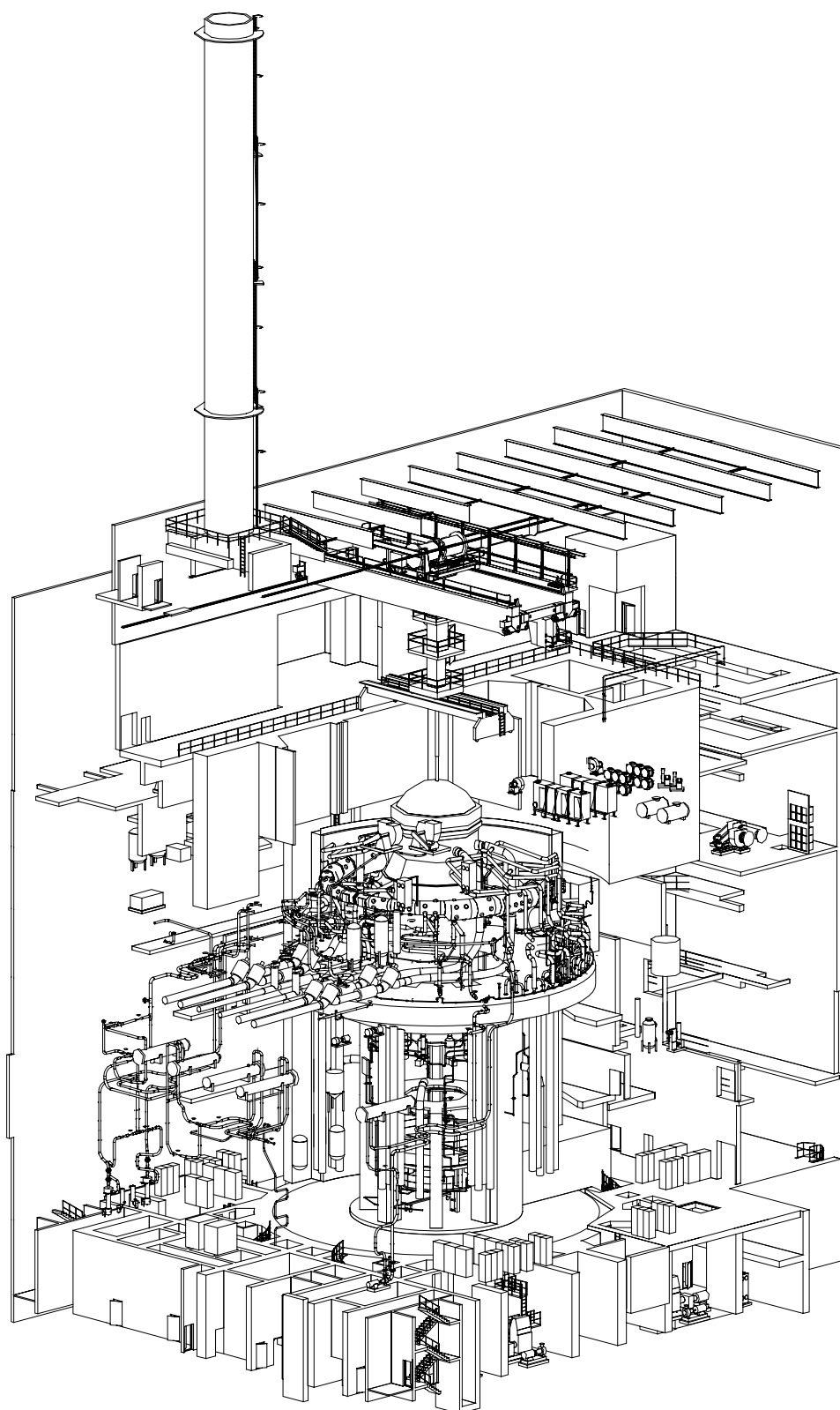
4.2.2 Visualisering av installationer

Ett sätt att använda funktionen med listor i 3D-CAD-programmet för anläggningskonstruktion är att skapa listor som anger en färg eller gråskala beroende på olika, för rivningen väsentliga, egenskaper i systemen. I figur 4-1 nedan visas en byggnadskonstruktion med olika färgsättning. Färgerna kan exempelvis ange aktivitetsnivå, systemtillhörighet (för att systemen ska kunna demonteras i rätt ordning) eller för att ange vilka system som är i drift under kapningsoperationen.



Figur 4-1. Exempel på färgkodning.

Anläggningsmodellerna bör byggas upp redan under driftskedet, där de även gör stor nytta. Redan idag har modelleringar gjorts för de flesta svenska kärnkraftsblocken, dock i varierande omfattning. I figur 4-2 visas modellen av Forsmark 3.



Figur 4-2. Befintlig modell av Forsmark 3.

4.2.3 Uppdelning av installationer i demontageenheter

Vid rivning kapas installationer ner i lämpliga storlekar för att kunna läggas i lådor eller kollin med bestämda mått. För att optimera kapningen av installationen så att så få kapningar som möjligt behöver utföras kan man bestämma kapningspunkterna redan i 3D-modellen. För varje demontageenhet kan man sedan erhålla totalvikter och volymer.

Segmentering av interna delar görs normalt i bassänger under vatten på grund av aktivitetsnivån. För att kunna konstruera verktyg som klarar detta och för att göra en så optimal styckning som möjligt simulerar man först styckningen i en 3D modell. Eftersom man även ska verifiera att verktygen fungerar och kan stycka delarna på önskat sätt är det lämpligt att göra detta med 3D-CAD program för mekanisk konstruktion. Om man vill simulera hela rörelsemönstret så exporterar man grafiken till ett simuleringsprogram där man kompletterar modellen med noder omkring vilka rörelser kan utföras.

4.3 Rivningstekniker

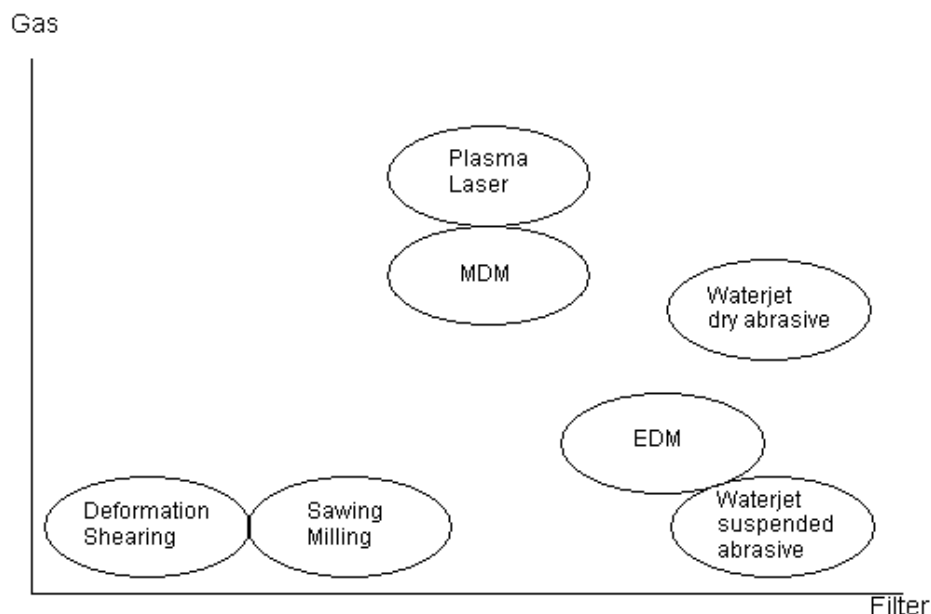
Ett stort antal metoder är tillgängliga för att sönderdela komponenter och rörsystem. Inom EU finns en speciell databas "EC DB TOOL" som behandlar tekniker för rivning (en allmän beskrivning av EU:s rivningsaktiviteter inklusive en beskrivning av databasen finns på www.sckcen.be/eccdecommissioning/about/init.html).

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, kapning med rörsvarv medan orena metoder kan vara plasmaskärning och kapning med slipskiva samt vattenskarvning. Även orena metoder kan vara mycket kostnadseffektiva genom lämpliga åtgärder som minimerar spridningsrisken. I figur 4-3 åskådliggörs hur olika metoder påverkar aktivitetsspridningen 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 omgivnings spridning är begränsad.

Vid sönderdelningen av hårdkomponenter i Forsmark 1 och 2 under år 2000 kommer segmentering med bandsåg att användas, till stor del beroende på att aktivitetsspridningen kan hållas på en låg nivå.

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 damningsrisken ska minimeras. Nya innovativa tekniker att behandla kontaminerad betong gör att det möjligt går att begränsa mängden kontaminerat byggnadsavfall (se avsnitt 4.6.3).



Figur 4-3. Klassificering av olika segmenteringsmetoder avseende gasbildning och behov av filter.

4.3.1 Avfallshantering

Avfallshanteringen inom verket kommer att ske enligt de etablerade rutiner som finns redan idag. Ingen ny typ av avfall tillkommer som gör att de nu använda metoderna drastiskt kommer att behöva förändras. Det som kan förändra kraven på hanteringen och slutförvarets utformning är om tekniken för hantering av hela komponenter kan utvecklas till att gälla även hantering av hela reaktortankar. Redan idag kan detta göras för PWR och det är visat att det är möjligt också för BWR /2, 12/. Avgörande vid beslut om demontage av hel reaktortank är att slutlagret är anpassat för att ta emot en så stor komponent (se vidare avsnitt 4.6.2).

4.4 Miljöhänsyn

Vid genomförandet av den föregående rivningsstudien /2/ bedömdes att miljöfrågorna inte skulle ha någon signifikant påverkan på totalkostnaden. Därför studerades konsekvenserna av en miljömässigt riktig hantering inte i detalj.

Sedan förra rivningsstudien färdigställdes har fokuseringen på miljöfrågor ökat. Exempelvis har Miljöbalken tillkommit som reglerar förfarandet och miljökonsekvensbeskrivningar (MKB) är numera ett vanligt sätt att redovisa hur miljöfrågorna avses att beaktas för en verksamhet med miljöpåverkan. Många företag är dessutom miljöcertifierade idag enligt EMAS eller ISO 14001 och har därigenom redovisat hur man hanterar sin verksamhets miljöpåverkan. Som en del av rivningsprojektet har därför nödvändig hänsyn till miljön vid rivning av ett kärnkraftverk studerats och redovisats i delrapporten "Miljöhänsyn" /6/.

En rivning av ett kärnkraftverk bedöms vara en verksamhet med en potentiell miljöpåverkan, varför Miljöbalkens krav på framtagning av en MKB är gällande. Krav kan även komma utifrån strålskyddslagen och kärntekniklagen. SSI rekommenderar att de själva ska samordna länsstyrelse och andra berörda myndigheter vid MKB-prövningen.

Kostnaden för framtagning av en MKB för ett fullstort kärnkraftsblock uppskattas till ca 1 MSEK.

Miljökostnaden för rivning av en kärnkraftsanläggning av Oskarshamns 3 storlek har uppskattats till ca 10 MSEK. Detta ska jämföras med att miljösaneringen av ABB Atoms bränslefabrik i Västerås, inklusive kartläggning och sanering av marken, inför en rivning har beräknats till ca 12 MSEK. Orsaken till den låga siffran för Oskarshamn 3 jämfört med ABB Atoms bränslefabrik är att kärnkraftverken numera i stort sett är miljösanerade, till exempel är miljösanering av farliga ämnen såsom PCB och asbest till stor del redan genomförd.

En betydande kostnadspost är miljösortering av elskåp och övrig elutrustning. I en rivningsstudie för Ågesta kraftvärmeverk har kostnaden kalkylerats till ca 10 MSEK för miljöhantering av 417 ton elutrustning. Senare erfarenheter från bland annat Ringhalsverket visar dock att detta snarare kan vara en intäkt eftersom det finns företag som har återvinning av material från komponenter av detta slag som affärsidé.

Sammantaget uppskattas kostnaden för miljöhänsynen vara av storleksordningen 15 MSEK per block.

För att bättre underbygga denna kostnadsuppskattning skulle en studie av verkligt genomförda miljörivningar av andra stora industrier med jämförbar storlek kunna göras. Exempelvis kan ABB Cables nedläggning och sanering av Västberga industriområde i Stockholm studeras.

4.5 Specifika frågor för PWR

En viktig skillnad mellan PWR- och BWR-anläggningar är att hela turbinanläggningen på en PWR-station i normalfallet är inaktiv. Rivningen av turbindelen bör därför jämföras med rivning av en konventionell processindustri. Rivningen av samtliga processsystem på turbinsidan kan med fördel påbörjas mycket tidigare jämfört med reaktorsidans system /7/.

Med tämligen enkla medel kan ”täta skott” arrangeras efter stationens stängning mellan reaktorsida och turbinsida för att helt separera gemensamma sekundärsystem och därmed tillåta en tidigarelagd rivning av i första hand de båda turbinanläggningarna.

En tidig rivning av turbinanläggningen ger även ytterligare detaljerade erfarenheter som senare kan komma till nytta inför reaktordelens rivning. Dessutom kommer ett jämnare materialflöde till stånd med en mindre risk för hopblandning av kontaminerat och ej kontaminerat material.

De övergripande förutsättningarna för att inleda en PWR-anläggnings systemrivning bör därmed delas upp mellan aktiviteter som ska utföras på kontrollerad (aktiv) sida och på okontrollerad (inaktiv) sida, dvs kort och gott mellan reaktor och turbin.

4.5.1 Byggnadsvis uppdelning vid systemrivningen

I /7/ beskrivs lämplig metodik för rivningen, där systemrivningen indelas i ett antal delprojekt enligt följande:

- Delprojekt 1: Generatordelarna
- Delprojekt 2: Turbinplanen (+115 nivå)
- Delprojekt 3: Turbinsystemen (<115)
- Delprojekt 4: Mellanbyggnaden
- Delprojekt 5: Aktiv hjälpsystembyggnad
- Delprojekt 6: Inaktiv hjälpsystembyggnad
- Delprojekt 7: Filterbyggnad (PMR)
- Delprojekt 8: Bränslebyggnad
- Delprojekt 9: Reaktorinneslutning
- Delprojekt 10: Servicebyggnad
- Delprojekt 11: Elbyggnad
- Delprojekt 12: Övriga yttre anläggningar

Förslagsvis startar rivningsarbetet för en PWR:s processutrustningar med de inaktiva anläggningsdelarna, därefter följer en successiv övergång till aktiva utrymmen enligt följande exempel på sekvensordning:

- Generatordelen, Inaktiv hjälpsystembyggnad och Filterbyggnad (PMR).
- Turbinplan, Mellanbyggnad (+115 nivå).
- Turbinsystem, Mellanbyggnad (<115 nivå).
- Aktiv hjälpsystembyggnad, Bränslebyggnad.
- Reaktorinneslutning.
- Elbyggnad, Servicebyggnad samt övriga yttre anläggningar.

En strikt gräns bör dras upp mellan aktiv och inaktiv anläggningsrivning.

Eftersom hela turbinanläggningen inklusive hjälp- och servicesystem sannolikt kan konstateras vara helt inaktiva efter en inledande avsökning, bör den delen av rivningsarbetet i största möjliga utsträckning ske enligt konventionella metoder. Hela anläggningen kan med fördel demonteras och omhändertas i separat projektform med normal rivningsmetodik utan att strålskyddsaspekter m m behöver beaktas specifikt.

Endast bränsle-, reaktor- och aktiv hjälpsystembyggnaderna behöver betraktas som aktiva.

Efter genomförd fullsystemdekontaminering av reaktorsidans viktigaste primära systemdelar kan båda turbindelarna med tämligen enkla medel helt avgränsas från den aktiva reaktordelen. Samtliga ång- och matarvattenledningar avgränsas (kapas) vid inneslutningsväggen, deras genomföringar avtätas provisoriskt, därmed är turbin och reaktordel helt åtskilda fysiskt. Processrivningar kan nu utföras i respektive anlägg-

ningsdel helt oberoende av varandra med undvikande att aktivitetsspridning via öppna genomföringar.

4.5.2 Totalt resursbehov

Det totalt uppskattade resursbehovet inom de 12 olika delprojekten framgår av respektive delprojektredovisning /7/.

Nedanstående tabell visar övergripande en total sammanställning av resursbehoven respektive avfallsmängderna för samtliga ingående delprojekt vid rivningen av Ringhals 2.

Tabell 4-1. Resursbehov och avfallsmängd för systemrivning av ett PWR-block.

Delprojekt	Resursbehov [mandagar]	Avfallsmängd [ton]
Generatordelen	1 780	1 348
Turbinplan	3 370	2 178
Turbinsystem	11 980	3 100
Mellanbyggnad	2 150	230
Aktiv hjälpsystembyggnad	15 265	1 370
Inaktiv hjälpsystembyggnad	640	84
Filterbyggnad (PMR)	450	70
Bränslebyggnad	920	71
Reaktorbyggnad	16 050	2 443
Servicebyggnad	1 274	342
Elbyggnad	4 391	836
Övriga yttre byggnader	2 580	1 071
Summa	60 850	13 143

Notera att tabellen gäller processrivning av R2:s ingående komponenter och system där mängden avfall gäller för hela anläggningen men att resursbehovet inte omfattar interna delar och reaktortank.

Med en fördelning mellan aktivt och inaktivt enligt avsnitt 4.5.1 utgör den aktiva mängden rivningsavfall 3 880 ton medan den inaktiva delen svarar för 9 260 ton.

Det totala resursbehovet för systemrivningen av en PWR-anläggning har bedömts till totalt ca. 61 000 dagsverken + 25 % tillägg för detaljplanering, arbetsledning och administration, dvs totalt ca. 76 250 dagsverken vartill kommer driftpersonalen som ingår inom organisationen för rivningsdriften av anläggningen under rivningsperioden.

Inom resursredovisningen finns administration redovisad, den avser i detta sammanhang den direkta ledningen som förbereder, bereder och styr rivningsaktiviteterna inom anläggningen.

Resurser för demontage och utlyft av reaktortank och dess interna delar är ej medräknade i ovanstående tabell. Detta styrs indirekt av valet för demontagemetod enligt alternativen i delprojektbeskrivningen.

Överslagsmässigt bedöms extra resurser för sönderdelning av interndelar inom intervallet 1880–3500 mandagar.

Motsvarande för själva utlyftet av reaktortank bedöms ligga i motsvarande storleksordning, ca 2500–3500 mandagar.

4.6 Utvecklingsområden

4.6.1 Utvärdering av moderniseringsprojekt

I underlaget till föregående rivningsstudie /2/ ställdes olika modeller upp för hur rivningen av processystem och interndelar förväntas utföras, vilket användes för uppskattning av bland annat tidsåtgång för de olika arbetsmomenten. Sedan den rapporten färdigställdes har ett flertal större ombyggnadsprojekt genomförts på svenska anläggningar, exempelvis för interndelar i reaktortanken och processystem i reaktorinneslutningen. Som ett av delprojekten till föreliggande rivningsstudie har tillgänglig information från de mest väsentliga projekten studerats, där arbetsmoment ingått som är relevanta i rivningssammanhang. Resultaten från studien är redovisade i delrapporten ”Erfarenheter från större ombyggnader” /8/.

Erfarenheter från studerade ombyggnadsprojekt

Vid de flesta arbeten som gjorts under perioden har inte samlandet av den rivningsrelaterade informationen gjorts under själva arbetet, utan informationen har extraherats ur dokumentationen från arbetet. I ett fall, SPRINT på Ringhals 1 där huvudarbetet var byte av stutsar på huvudcirkulationskretsarna i reaktorinneslutningen, har ett försök gjorts att arbeta parallellt. Dock uppstod till följd av SPRINT-projektets komplexitet svårigheter att koppla tidsåtgången till de specifika momenten som återfinns i rivningsscenariet.

Vad gäller utbyte av interna delar så finns det idag erfarenheter av skrotning av en stor mängd av olika typer. Bland annat finns dokumenterade erfarenheter från Oskarshamn 1 (moderatortank) och Ringhals 1 (hårdgaller). I jämförelse med modellen resulterade segmenteringsmomenten i en avsevärt större tidsåtgång. Dock innehöll tidsuppgifterna moment som inte är aktuella vid en rivning, varför resultatet inte är helt entydigt.

En av slutsatserna från SPRINT-studien är att effektivitetsfaktorn för arbete i inneslutningen är överskattad i tidigare modell. Verkligheten visade att det tog längre tid att utföra arbetet än vad som antagits i modellen. En annan är att tidsåtgången för avisering underskattats. Vidare har detaljerad information om dosbelastningen genererats.

Det kan naturligtvis diskuteras i vilken mån situationen under ett komplext ombyggnadsprojekt under en revisionsavställning med ett tidpressat krav på återstart kan jämföras med förhållandena vid en välplanerad rivning av en permanent avställd anläggning.

På grund av dessa svårtolkade förhållanden gör detta att det inte kan anses motiverat att införa några justeringar i kostnadsuppskattningen med anledning av dessa observationer.

Det finns däremot anledning att gå vidare med studier av ombyggnadsprojekt för att värdera modellen för rivningsprojekt.

Erfarenheter av uppföljningsmetodiken

Erfarenheten från framför allt SPRINT-projektet visar att det krävs relativt detaljerad information som underlag för en kostnadsuppskattning. Rekonstruktion av data är svår eller omöjlig att göra i efterhand. Det medför att inför en uppföljning av framtida ombyggnadsprojekt krävs en noggrann planering innan projektstart för att lyckas med att få fram den väsentliga informationen.

Det är svårt att dra slutsatser från en ombyggnad till en slutlig rivning. Nedan ges exempel på att vissa faktorer medför en i slutänden lägre uppskattad kostnad medan andra ger en högre. Generellt gäller att det är praktiskt svårt att bokföra utförda arbetsmoment på rätt konto.

Vid en ombyggnad sker återställning, vilket ofta medför att både rivning och uppbyggnad pågår samtidigt och engagerar samma personal. Efteråt kan inte de olika aktiviteterna skiljas åt. I en ombyggnad rivs inte heller gallerdurkplan, stegar m m i större utsträckning än vad som erfordras för ombyggnaden. Logistiken runt bortförsel av avfall, sortering av olika typer av avfall avseende friklassning /11/ och transport till lagringsplats, tillfällig eller permanent, blir en annan för en slutlig rivning på grund av de större avfallsmängderna vid en rivning. Dekontamineringen vid en slutlig rivning kan ske mer brutalt och en högre dekontamineringsfaktor kan erhållas.

Väntetider, tider för inpassering över skogränsar och problem med åtkomlighet är faktorer som är svåra att bedöma.

Det framgår här att det finns svårigheter att överföra information från ombyggnader till en slutlig rivning, men den praktiska erfarenheten bedöms nödvändig för att en tillräckligt bra beräkningsgrund för kostnaderna ska erhållas.

Det bör vara möjligt att överföra erfarenheter från skrotning av interna delar till en slutlig rivning. Detta baseras på att skrotningen kan ske utanför revisionsperioden då förhållandena mera liknar de som finns vid en slutlig rivning. Inverkan av återställning eller andra hinder är mindre jämfört med en processombyggnad.

Även ombyggnader av processutrustning bör följas upp, men här krävs en ännu noggrannare planering för att få fram väsentlig information. Möjligen bör ett mindre komplext projekt än exempelvis SPRINT studeras på grund av den annorlunda logistiken vid en slutlig rivning.

Rekommendationer för framtida uppföljningsprojekt

Nedan finns några förslag på vad som bör beaktas inför en uppföljning av framtida ombyggnadsprojekt.

En god kännedom om rivningsmodell respektive om ombyggnads- eller skrotningsprojektet krävs för att ta ställning till vilka delar av modellen som är möjliga att få

underlag till. Det kan vara så att uppföljningen ska begränsas till ett fåtal parametrar eller till en begränsad del av ombyggnaden för ett specifikt projekt.

Det krävs ett samarbete redan i planeringsstadiet mellan de två projekten, uppföljning respektive utförande. Under SPRINT utfördes insamling av data och utvärdering av personal som även deltog i huvudprojektet. För tillgång till uppgifter behövdes information från övriga projektdeltagare. Det var ett stort antal personer och olika underleverantörer engagerade i SPRINT, och informationsspridningen om att en uppföljning pågick fungerade inte helt tillfredsställande. Då tidsplanen blev förskjuten uppfattades insamling av data som en ren störning.

Den väsentliga slutsatsen var att en eventuell uppföljning av en ombyggnad ska planeras in tidigt och i nära samarbete med huvudprojektet. Erfarenheten från SPRINT visar att uppföljningen bör ske kopplat till väldefinierade moment/indelningar av projektet. En sådan uppföljning i tidsåtgång och stråldoser för olika personalkategorier kan då kopplas till arbetskoder. Som ett komplement till detta kan intervjuer eller dagböcker användas för att fånga upp speciella problem eller hinder i arbetet. Hur upplägget bör göras beror på det aktuella projektet.

Det är av vikt att från början definiera olika moment under projektet. Varje sådant moment kan i sin tur delas upp i mindre delar anpassat till aktuellt projekt och beroende av vad som bedöms kunna följas upp.

Den grövre indelningen för en ombyggnad av processutrustning kan exempelvis vara:

- Dekontaminering om det är nödvändigt.
- Etablering, till exempel belysning och ventilation, ställningsbyggen, avisolering.
- Utförande, insatser för att möjliggöra kapning av rör exempelvis borttagning av klenrör/gallerdurkplan, själva kapningen och hantering av avfallet.
- Borttransport av avfall, inklusive placering i tillfällig depå och senare transport till mer permanent lagringsplats.

Indelningen av en skrotning av interna delar kan exempelvis göras så här istället:

- Etablering, iordningställande av bassäng där kapning ska ske med rening, etc.
- Utförande, kapning och hantering av avfall, till exempel placering i behållare.
- Borttransport av avfall, inklusive placering i tillfällig depå och senare transport till lagringsplats.

De parametrar som bedöms vara av vikt att följa upp för att underbygga en kostnadsuppskattning inom de olika berörda momenten är:

- Personalåtgång per definierat moment/indelning av projektet.
- Kapmetoder.
- Dosbelastning.
- Avfallsmängder.
- Hantering av avfall.

- Logistik runt transport och placering av avfall internt i anläggningen inför friklassning respektive borttransport inför tillfällig alternativt permanent förvaring.

Faktorer att följa upp via intervjuer kan vara effektivitet i arbetet på grund av dålig åtkomlighet, hinder eller andra problem för olika moment/indelningar av projektet.

Inför en uppföljning av ett framtida ombyggnads- eller skrotningsprojekt rekommenderas följande:

- Fastställ vilka parametrar respektive vilken del av ombyggnaden respektive skrotningen som är lämplig och möjlig att följa upp med tanke på den detaljeringsgrad som erfordras.
- Fastställ vilka hjälpmedel som ska användas, anpassning av arbetskoder till de olika delmomenten i projektet, programmerbara dosimetrar, personliga dagböcker, intervjuer under projektets löptid m m.
- Planera noggrant och tidigt i nära samarbete med huvudprojektet med hänsyn tagen till resultatet av punkterna ovan.

4.6.2 Omhändertagande av hel reaktortank

Segmentering har tidigare varit den gängse metoden för att omhänderta reaktortankar; både BWR- och PWR-tankar. I föregående studie /2/ studerades även, som ett alternativ, omhändertagande av stora komponenter (reaktortank och ånggeneratorer) utan att först sönderdela dem. Det konstaterades att det är tekniskt möjligt att demontera en tom hel reaktortank. I en senare studie /12/ har det visats att det går att demontera reaktortankarna i Olkiluoto 1 och 2 med interndelar och diverse annat skrot placerade i tanken.

För att kunna bedöma om det också är en lämplig metod måste hela kedjan från demontering 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 (F3: 770 ton utan interndelar). Tillfartstunneln i SFR har dimensionerats så att såväl BWR-reaktortank som ånggeneratorer från PWR kan transporteras ned i anläggningen utan större ingrepp. 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. Tillfartstunnel och förvarsutrymme är dock idag, i de preliminära layoutstudier som genomförts, inte avpassade för denna avfallskategori. Detta är dock något som bör studeras närmare eftersom det kan vara av såväl ekonomiskt som strålskyddsmässigt värde att kunna transportera och deponera reaktortankarna utan att sönderdela dem.

Vidare måste ett antal anläggningsspecifika detaljfrågor besvaras innan det slutgiltigt går att avgöra om det är rätt metod att lyfta ut en hel reaktortank. Hur tung är reaktortanken: tom och med interndelar? Vilka dimensioner krävs för lyft och uttransport av tanken. Finns traverser eller lyftkranar som klarar lyftet? Krävs förstärkningar av bjälklagen? Behövs en extra strålskärm runt tanken och i så fall hur ska det arrangeras och hur tungt blir det? Kommer en extra strålskärm att behövas vid demontaget, under transporten eller i slutförvaret?

Eftersom förutsättningarna är olika för varje kraftverk och för de olika blocken inom samma verk krävs att det görs en individuell analys för varje fall.

4.6.3 Behandling av betongytor

Betongytor som är radioaktivt kontaminerade kan idag ”djuprenas” med speciella kemikalier. Med kommersiellt tillgängliga tekniker behandlas betongytan med lösningar som tränger in i ytan och löser upp och binder de radioaktiva ämnena. Sedan kan en modifierad industridammsugare användas för att suga ut aktiviteten ur betongen.

I nuvarande rivningsstudie har metoden inte studerats närmare, men om tekniken håller vad leverantörerna lovar är det möjligt att det går att avsevärt minska mängden starkt kontaminerad betong. Metoden är mycket intressant men måste noggrant utvärderas eftersom det kan finnas många fallgropar; möjligt svårösliga frågor som till exempel risken för komplexbildare och möjligt enklare problem som hur aktiviteten tillvaratas i samband med att den avlägsnas från betongen.

Erfarenheter finns också av att slipa bort kontaminerad betong med en diamantslipskiva samtidigt som slipdammet avlägsnas med en kraftig vakuumenhet. Ytan blir mycket slät vilket gör det enkel att göra avsökning jämfört med bilning och andra avverkande metoder.

4.6.4 Strukturerad rivningsdokumentation

Det pågår ett omfattande arbete internationellt inom rivningsområdet där det numera finns ett flertal referenser från olika typer av kärntekniska installationer som avvecklats och rivits. Olika aspekter av rivningserfarenheterna förmedlas och värderas i ett flertal internationella organ.

Föregående rivningsstudie ger en total bild av ett rivningsscenario och ger en total-kostnad för rivning av de olika verken. I föreliggande rivningsstudie har en dokumentationstruktur och -modell föreslagits som på en rad områden förbättrar dagens sätt att dokumentera den fortlöpande vidareutvecklingen av det tekniska underlaget för rivningsplaneringen. Förslaget följer den modell som EU/IAEA/OECD utarbetat /13/, och ger en övergripande bild av rivningen och har goda förutsättningar för att bli en internationell likare på rivningsplaneringsområdet. /9, 10/

Arbetsmodellen är indelad i 11 + 1 olika huvudpunkter:

1. Pre-decommissioning actions.
2. Facility shutdown activities.
3. Procurement of general equipment and material.
4. Dismantling activities.
5. Waste processing, storage and disposal.
6. Site security, surveillance and maintenance.
7. Site restoration, cleanup and landscaping.
8. Project management, engineering and site support.
9. Research and development.
10. Fuel and nuclear material.
11. Other costs.
12. Cost groups.



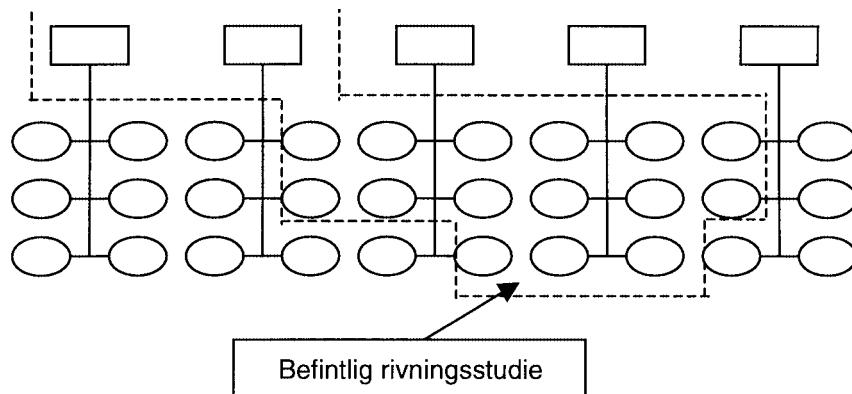
Figur 4-4. Exempel på rubrikstruktur (1:a huvudpunkten; "Pre-decommissioning actions").

Varje punkt är sedan indelad i underrubriker och i ett separat kapitel finns en kort beskrivning med förklaring av vad som kan finnas inom varje rubrik. Punkterna 1–11 beskriver aktiviteter som innebär kostnader medan punkt 12 är en klassificering av kostnaderna enligt fyra huvudkategorier:

- Arbetskostnader.
- Kapital-, utrustnings- och materialkostnader.
- Omkostnader.
- Oförutsedda kostnader

Som exempel visas i figur 4-4 strukturen under den första huvudrubriken. De övriga huvudrubrikerna har avsevärt fler underrubriker.

Det föreslås att all information kring avveckling och rivning av kärntekniska anläggningar i Sverige successivt tillförs en databas som struktureras enligt den internationellt framtagna arbetsmodellen såsom beskrivits ovan.



Figur 4-5. Principiell skillnad mellan föreslagen och befintlig struktur.

Den föreslagna dokumentationsstrukturen täcker hela rivningsprocessen och byggs alltså upp av 11 st olika huvudstrukturer, där var och en har en utformning enligt exemplet i figur 4-4. Vid dagens sätt att genomföra rivningsstudier finns det en risk att vissa moment inte behandlas eller behandlas omedvetet översiktligt. Dessa studier täcker därför endast ett urval. Skillnaderna i principiell utformning åskådliggörs i figur 4-5.

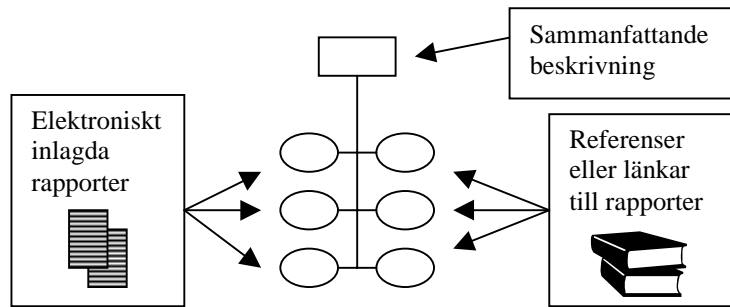
Modellen ska uppfylla krav avseende:

- Överskådlighet.
- Aktualitet.
- Kunskapssäkerställande.
- Kommunikerbarhet.
- Kontinuitet.
- Säkerhet.

Det föreslagna sättet att uppnå dessa krav är att databasen läggs upp på en websida enligt figur 4-6. En analys visar att den föreslagna modellen till mycket stor del uppfyller de uppställda kraven.

Den föreslagna databasen bygger på en befintlig struktur och är därför förhållandevis enkel att bygga upp. Den kräver heller inga kostsamma licenser eller utrustningar. Erfarenheter av en liknande databas finns hos både SKB och ABB Atom.

Kraftverksägarna bör involveras i databasens uppbyggande för att skapa största möjliga samsyn kring hur det svenska avvecklingsprogrammet ska genomföras, avseende frågor som strategi, teknik, regler och kostnader. Databasen kan dessutom användas i kommunikationen med myndigheterna.



Figur 4-6. Typ av information på olika nivåer.

4.6.5 3D-modeller

I avsnitt 4.2 redogörs för på vilket sätt 3D-modeller av anläggningarna skulle kunna vara till nytta för rivningsplaneringen. Fördelen med att ha alla installationer i en 3D-modell borde utnyttjas under en anläggnings hela livslängd både för ändringar och kompletteringar av system under drift och under rivningsfasen. Införande av 3D-modeller hos anläggningsägare eller inläggning av hela anläggningen i befintliga modeller bromsas idag ofta av en initialkostnad. Eftersom en komplett modell är till fördel både under drift och vid rivning borde man studera möjligheten att fördela initialkostnaden för att skapa en komplett 3D-modell mellan drifts- och rivningsbudgetar.

Framtagning av en 3D-modell kan ske under en längre tidsperiod där man börjar med utrymmen som har hög aktivitetsnivå eller är installationstäta. När en anläggning eller anläggningsdel har modellerats bör anläggningsägaren hålla 3D-modellen uppdaterad och aktuell, för att säkerställa att data i modellen är riktiga då rivningsarbetet ska påbörjas.

Redan idag finns många delar av de svenska anläggningarna modellerade, så det finns ett bra utgångsläge att starta ifrån.

4.6.6 Kostnader för rivning av byggnader

Eftersom byggnadsrivningen utgör drygt 20 % av totala rivningskostnaden är det viktigt att även inom detta område göra en så väl underbyggd kostnadsuppskattning som möjligt. Vidare har konstaterats att underlaget i den tidigare studien /2/ är behäftat med vissa brister. Bland annat har nya byggnader tillkommit vid O1, vissa byggnader var inte medtagna i studien för Ringhals 2, viss osäkerhet råder beträffande den betongvolym som ska rivras, och rivningskostnaden per m³ betong varierar för de olika reaktorbyggnaderna /11/.

Frågor som bör ingå i analysen är till exempel för- och nackdelar av om rivningen ska göras med maximal återvinning som mål eller om en stor del av rivningsmaterialet ska gå till deponi.

4.6.7 Myndighets- och administrativa kostnader

De administrativa kostnaderna tillsammans med kostnaderna för olika myndighetskontakter och granskningar utgör upp till ca 5 % av den totala rivningskostnaden. Det är därför av vikt att på ett tidigt stadium skaffa sig en god överblick av hela rivningsprojektet för att hålla nere administrationskostnaden. Det bör också ge stor kostnadsbesparing för reaktorinnehavaren om det redan tidigt i en rivningsplanering går att fastställa vilken dokumentation och övrig information som ska utbytas med myndigheterna, och om det finns ett standardiserat och/eller förenklat sätt att sköta informationsbytet med respektive myndigheter /11/.

5 Kostnader

5.1 Allmänt

En sammanställning av de totala rivningskostnaderna för de svenska kärnkraftverken finns redovisade i tabell 5-2. Detta är en uppdaterad version av vad som tidigare presenterats i /2/ 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, görs en indexuppräknings.

Den övergripande planeringen av avställningen utförs av en projektgrupp som uttas av kraftverkets personal redan några år före avställningen. I den redovisning som finns i föreliggande studie ingår förberedelserna i verkets driftskostnader. Kostnader för projektgruppen efter avställningen ingår i avställnings- respektive servicedriften.

5.1.1 Kostnadsuppräknings

Om inget annat nämns, anges alla kostnadsposter i kostnadsnivån januari 2000.

Uppräkningen av kostnadsposterna från föregående studie har baserats på Statistiska Centralbyråns Arbetskostnadsindex, eftersom kostnaderna huvudsakligen utgörs av mantid. Detta ger en kostnadsökning mellan januari 1994 till januari 2000 på ca 35 % för tjänstemän och ca 28 % för arbetare. Eftersom aktuella insatser huvudsakligen är av den senare personalkategorien, har en viktad total kostnadsökning satts till 30 %.

Den uppräknade mantidskostnaden blir då 590 kSEK per manår, vilket motsvarar ca 370 SEK per arbetstimme.

5.1.2 Förändrade kostnadsposter

Föreliggande rivningsstudie har pekat på kostnaderna förknippade med att tillgodose tidsenliga miljökrav, varför en ny post, ”Miljöhantering” tillkommit i kostnads-sammanställningen. Detta innebär en kostnad på 15 MSEK per block med motivering enligt avsnitt 4.4.

Vidare har en fördjupad uppskattning genomförts för PWR-blockens kostnader såsom beskrivits i avsnitt 4.5 /7/. Dessa nya uppskattningar har därför ersatt tidigare siffror i kostnadssammanställningen.

Dessa poster, där nytt underlag finns, har markerats med fet stil i kostnadssammanställningen (tabell 5-2).

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

Tidigare har alla poster redovisats med pålägg för oförutsett. Dessa har varit 25 % för byggnadsrivning och 20 % för övriga kostnadsposter. Dessa pålägg har tagits bort i denna sammanställning (tabell 5-2) för att endast bästa uppskattningen för varje

kostnadsslag ska redovisas. Osäkerhetspåslag kan sedan läggas till vid PLAN-arbetet men på detta sätt undviks att pålägg läggs på pålägg.

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. Personalbehovet för denna period baseras på bedömningar funktion för funktion utgående från driftorganisationen.

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

Kostnadsberäkningar har gjorts för fallen dels då samtliga reaktorer ställs av samtidigt och dels vid en successiv avställning under en femårsperiod. För fallet med samtidig avställning förutsätts att rivningen av blocken på ett verk påbörjas med två års mellanrum. I tabell 5-1 redovisas beräknade kostnader per anläggning för de två fallen, såsom de togs fram i föregående rivningsstudie i kostnadsnivå motsvarande januari 1994. Då kostnaderna för olika block hänger ihop är det inte fruktbart att redovisa kostnaderna blockvis.

Tabell 5-1. Kostnader för avställnings- och servicedrift för samtidig och successiv avställning (MSEK i kostnadsnivå januari 1994).

Avställnings- och servicedrift	Samtidig avställning	Successiv avställning
Barsebäck	344	350
Forsmark	751	410
Oskarshamn	751	529
Ringhals	1 170	640
Totalt	3 015	1 929

För att kunna bedöma kostnaderna för olika scenarier, med olika längd på servicedrifttiden, behöver kostnaden för olika typ av driftår uppskattas. Dessa bör ligga i storleksordningen 100 MSEK per år och block under avställningsdriften för att sedan minska till storleksordningen 15 MSEK per år och block under servicedriftperioden.

5.3 Rivningsdrift

I kostnader för rivningsdrift ingår kraftverkets personal under perioden för systemrivning och aktiv byggnadsrivning. Häri ingår bl a övergripande planering, övervakning av tillträden till anläggningen, drift av anläggningens system före successiv avstängning, behandling av gods efter rivning, avfallsbehandling samt strålskyddsåtgärder. Kostnader för rivningsdriften redovisas i tabell 5-2.

5.4 Rivning av processystem

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

Kostnaderna för arbetsinsatserna för rivning av processystemen på Oskarshamn 3 har beräknats till 515 MSEK. Härtill kommer verktygsförbrukning och inhyrning av specialmaskiner. Kostnaden för maskinanskaffning har beräknats till 57 MSEK. Maskinerna kan användas för flera block. Efter rivningen antas därför ett restvärde på 40 MSEK. Nettokostnaden per block för maskinanskaffning blir då 17 MSEK. Verktygsförbrukningen har beräknats till 8 MSEK. Detta ger totalt ca 540 MSEK för systemrivningen av Oskarshamn 3.

För Ringhals 2 har systemrivningskostnaden i tidigare studie bedömts till ca 280 MSEK, men den kostnaden har omvärderats vid denna studie till 216 MSEK /7/.

Rivning och sönderdelning av de interna delarna och reaktortanken i Forsmark 1 har tidigare studerats /2/. Kostnad för sönderdelning av de interna delarna har beräknats till 25 MSEK per block. Rivning och sönderdelning av reaktortankarna har beräknats till ca 55 MSEK per block.

Demontage och utlyft av hel reaktortank har också tidigare studerats. Kostnaderna för detta har bedömts till ca 16–22 MSEK för Forsmark 1 samt 22 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 232 MSEK för O3 och 159 MSEK för R2. I denna kostnad ingår även rivning av inaktiva byggnader som eventuellt inte behöver rivas. I tabell 5-2 framgår kostnaderna för övriga reaktorblock.

5.6 Sammanställning av rivningskostnader

I tabell 5-2 redovisas kostnaderna för rivning av de svenska kärnkraftverken uppdelat per block. Kostnaden baserades i föregående studie /2/ på 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.

I förhållande till föregående studie /2/ innebär denna sammanställning en minskning av totalkostnaden med 408 MSEK för PWR-blockens systemrivning samt en ökning med 180 MSEK för miljöhanteringen.

Totala kostnaden för rivning av de svenska reaktorblocken uppskattas till ca 9 400 MSEK. Till detta kommer sedan kostnaden för avställnings- och servicedrift.

Tabell 5-2. 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	117	117	131	124	131	127	127	131	125	122	112	109	1 470
Rivning av tank	55	55	56	56	56	55	55	56	55	55	55	55	670
Rivning av interndelar	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	300
Rivning av system	342	342	523	523	540	313	342	540	419	216	216	216	4 530
Byggnadsrivning	129	153	186	177	252	107	134	232	152	159	164	176	2 020
Avfallsbehållare	8	9	14	14	15	7	8	15	10	12	12	12	130
Transp./dep. av inaktivt avfall	4	4	7	7	7	4	4	7	5	8	8	8	72
Miljöhantering	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	180
Total rivning	696	721	958	941	1041	653	711	1021	806	613	607	616	9 370

I tabellen finns kostnader för avfallsbehållare. ISO-containrarna med aktivt avfall deponeras i SFR3. En kostnad för transport och deponering av inaktivt avfall från systemrivningen har tagits upp. Detta avfall, förutom material som kan avyttras, antas läggas på en närliggande tipp.

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 inte hänsyn tagits till några restvärden.

6 Rekommenderade områden för fortsatta studier

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 konservativa antaganden med mer realistiska uppgifter.

Av detta skäl kommer rapporter av detta slag att ges ut väsentligt tätare än tidigare, helst varje år som ett underlag för respektive års PLAN-rapport. Det är en förhoppning att dessa rapporter ska kunna absorbera den kunskapsökning som åstadkommits under den gångna perioden så att man steg för steg går mot ovanstående målsättning.

Nedan ges förslag på åtgärder som kan ge ett förbättrat faktaunderlag om de genomförs inför utgivandet av kommande rapporter om "Teknik och kostnader för rivning av svenska kärnkraftsverk".

6.2 Verifikation av rivningsparametrar

Som ett delprojekt till föreliggande studie har en värdering gjorts av hur systematiska studier av moderniserings- och ombyggnadsprojekt kan användas för att förbättra modellerna för motsvarande arbetsmoment i ett rivningsprojekt.

I avsnitt 4.6.1, "Utvärdering av moderniseringsprojekt", ges en beskrivning av hur detta instrument använts tidigare och rekommendation hur man bör förfara för att i framtida projekt extrahera värdefull information som kan ge bättre realism åt kostnadsuppskattningen.

Slutsatsen är att med en planering av verifikationsprojektet parallellt med ombyggnadsprojektet så är detta ett användbart och kostnadseffektivt instrument. Under år 2000 kommer ett flertal ombyggnadsprojekt att genomföras på svenska anläggningar. Ett av dessa är segmentering av reaktorernas interna delar på Forsmark 1 och 2. Dessa arbeten genomförs utanför revisionsavställningen vilket i högre grad liknar förhållandena vid ett rivningsprojekt än tidspressade revisionsinsatser.

Därför bör detta projekt användas för att värdera kostnadsposten för "Rivning av interndelar" vilket svarar för totalt 300 MSEK i nuvarande kostnadsunderlag. Det bör även undersökas om det finns något lämpligt sätt att studera ombyggnadsprojekt för processystem.

6.3 Alternativ hantering av reaktortank

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.

Posten ”Rivning av tank” svarar för 670 MSEK i dagens kostnadssammanställning.

6.4 System- och byggnadsrivning

De utan jämförelse största kostnadsposterna för själva rivningsarbetet är ”Rivning av system” och ”Byggnadsrivning” med kostnader på 4 530 MSEK respektive 2 020 MSEK.

Varje åtgärd som leder till säkrare uppskattning av dessa poster är därför speciellt värdefull. Ombyggnadsstudier enligt avsnitt 6.2 är ett sätt. Sannolikt skulle det vara en framkomlig väg att studera de rivningsprojekt som nu är aktuella för kommersiella BWR- och PWR-anläggningar internationellt.

Det finns också ett behov av att uppdatera befintligt underlag avseende byggnads-volymer och rivningskostnaden per kubikmeter.

6.5 Avställnings- och servicedrift

Avställnings- och servicedriften är en av de största posterna i tidigare kostnadssammanställningar för rivning. Underlaget för denna siffra bör studeras noggrant och kompletteras med en studie enligt vad som föreslås i avsnitt 2.2.

6.6 Klassificering av rivningsavfall

I avsnitt 3.4 redogörs för hur avfallets klassificering beroende på aktivitetsinnehållet påverkar den mängd som behöver gå till ett geologiskt förvar (SFR-3) eller alternativt till friklassning eller markförvar. Mellanlagring för avklingning är också ett intressant alternativ. Smältning av metalliskt skrot är också en möjlighet som behöver värderas.

Dessa alternativ behöver studeras ytterligare för att realistiska kriterier ska kunna ansättas vid dimensionering av de olika förvarstyperna och kostnaderna förknippade med respektive hantering.

6.7 3D-modellering

I avsnitt 4.6.5 fastslås att 3D-modeller av installationerna i främst reaktorbyggnaderna vore ett värdefullt verktyg för planering av rivningsinsatserna. Dessa modeller är dessutom mycket användbara under anläggningarnas drifttid. En diskussion bör tas upp med kraftverksägarna kring hur 3D-verktyg skulle kunna införas, eller snarare vidareutvecklas, samt hur detta ska finansieras med tanke på den dubbla nyttan.

6.8 Dokumentationsstruktur

I avsnitt 4.6.4 har ett förslag presenterats för hur en rivningsdatabas skulle kunna byggas upp som ett stöd för effektiv dokumentation av det ständigt växande kunskapsunderlaget för rivning. Databasen kan med enkla medel etableras och det är angeläget att den börjar byggas upp så snart som möjligt för att faktaunderlaget ska anses tillräckligt gediget för att kunna revidera gällande kostnadsbedömningar.

6.9 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.

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 **Hedgran L, Enekull Å.** SKB – Rivningsstudie: Avställnings- och servicedrift. ABB Atom AB, Rapport SDA 99-403, Västerås 1999.
- 4 **Hedin G, Ekberg A.** SKB – Uppdatering av rivningsstudie: Friklassning. ABB Atom AB, Rapport SDA 99-397, Västerås 1999.
- 5 **Lindberg P.** SKB – Uppdatering av rivningsstudie: 3D-modellhjälpmedel. ABB Atom AB, Rapport SDB 99-247, Västerås 1999.
- 6 **Hamrefors G.** SKB – Uppdaterad rivningsstudie: Miljöhänsyn. ABB Atom AB, Rapport SDA 99-371, Västerås 1999.
- 7 **Hansson T, Johansson B.** SKB – Uppdaterad rivningsstudie: PWR. Ringhals AB, Rapport, Ringhals 1999.
- 8 **Hedgran L.** SKB – Rivningsstudie: Erfarenhet från större ombyggnader. ABB Atom AB, Rapport SDM 99-210, Västerås 1999.
- 9 **Torstenfelt B.** SKB – Uppdaterad rivningsstudie: Internationell jämförelse. ABB Atom AB, Rapport SDA 99-396, Västerås 1999.
- 10 **Hedin G.** SKB – Uppdatering av rivningsstudie: Dokumentstyrning. ABB Atom AB, Rapport SDA 99-398, Västerås 1999.
- 11 **Enekull Å.** SKB – Rivningsstudie: Översyn av kostnadslag. ABB Atom AB, Rapport SDA 99-338, Västerås 1999.
- 12 **Pulkkinen R.** Olkiluoto 1–2. Demontage av hel reaktortank vid nedläggning. Arbetsrapport VLJ-8/97, Vattenfall, September 1997.
- 13 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.