

Forskning

Kärntekniska kostnadsstudier avseende dekontaminering och nedläggning

Mellanförsvaret för använt kärnbränsle (FA) i Studsvik

Rolf Sjöblom
Cecilia Sjöo
Staffan Lindskog
Anna Cato

Maj 2005

SKI-perspektiv

Bakgrund

SKI presenterar den 1 september varje år ett förslag till regeringen om avgifter för det kommande året inom ramen för den s.k. Studsvikslagen¹. En viktig del i detta arbete är att avgöra om det finns en jämvikt mellan vad som är fonderat i kärnavfallsfonden och de framtida åtagandena för dekontaminering och nedläggning av vissa kärnteknisk verksamhet som bedrivits vid Studsvik.

Den 31 december 2004 uppgick det bokförda värdet till drygt 585 miljoner kronor i den del av kärnavfallsfonden som har tillförts medel enligt Studsvikslagen. Utbetalningarna uppgick under år 2004 till 112,5 miljoner kronor samtidigt som utbetalningar gjordes med 52,6 miljoner kronor. De framtida kostnaderna för dekontaminering och avveckling skattades i april 2005 till drygt 1,1 miljon kronor. I arbetet med att analysera och värdera fondens utveckling är de framtida kostnaderna den väsentligaste variabeln. Då dessa belopp är stora i absoluta tal krävs att detaljerade kostnadsberäkningar skapas, analyseras och evalueras för varje enskilt objekt. Genom denna arbetsmetod är det möjligt att verifiera att en korrekt skattning ligger till grund för beräkning av de totala framtida kostnaderna, och den följande fonderingen, av de äldre kärntekniska anläggningarna som omfattas av Studsvikslagen.

Syfte

Detta forskningsprojekt har haft till syfte att utveckla metoder och modeller för hur värdeneutrala och tydliga beräkning av framtida kostnaderna för dekontaminering och nedläggning av äldre kärntekniska anläggningar kan göras i ett tidigt skede. För detta ändamål har mellanförvaret för använt bränsle (FA) i Studsvik använts som referensfall. I forskningsarbetet har den metodiken som presenteras i en tidigare studie som behandlade det aktiva tråget (AT) tillämpats². Detta projekt har i sin tur initierat ett forskningsprojekt där erfarenheterna från rivning av en liknande anläggning i USA har studerats och jämförts med rivningsstudien av AT³

Ett bisyfte med detta forskningsprojekt har varit att enkelt och lättfattligt demonstrera hur en modell för beräkning av de framtida kostnaderna kan användas i beräkningsarbetet för att skapa tillförlitligare och robustare uppskattningar av framtida kostnader i ett tidigt skede innan avställnings- och rivningsprocessen har inletts.

Resultat av studien

I föreliggande rapport presenteras en metod för hur de framtida kostnaderna för dekontaminering och avveckling av äldre kärntekniska anläggningar kan beräknas, så att en god precision uppnås i beräkningarna och att tillräckliga medel därmed fonderas. I modellen

¹ Det fullständiga namnet är lag (1988:1597) om finansiering av hantering av visst radioaktivt avfall m.m. Till lagen finns även en förordning, förordning (1988:1598) om finansiering av visst radioaktivt avfall m.m.

² Sjöblom, Rolf & Lindskog, Staffan, SKI Research Report 2004:11, An Applied Study of the Storage for Old Intermediate Level Waste at the Studsvik Site, 2004.

³ Varley Geoff & Rusch, Chris, An Applied Study on the Decontamination and Decommissioning of the Map Tube Facility 217 Area Argonne National Laboratory, Chicago, SKI Report 2005:34, januari 2005.

framhålls det att en radiologisk kartering måste ske av den specifika anläggningen innan det är möjligt att göra ett välgrundat val av vilka lämpliga tekniker och metoder som skall användas som kalkylförutsättningar. Det är först då dessa två steg har utförts som det finns underlag för att skapa en mera detaljerad kalkyl av de framtida kostnaderna.

Forskningsresultatet indikerar att användning av metodik som utvecklats för kalkyler avseende rivning av kärnkraftverk innebär vissa nackdelar som när det gäller att utföra variationsanalyser. Generell återföring av erfarenhetsdata för kalkyländamål kan göras med hjälp av en eller flera skalfaktorer samt viktningfaktorer vilka sätts utgående från t ex expertbedömningar. För utveckling och användande av sådana verktyg behövs tillgång till skattade kostnader i kombination med utfallsdata. I rapporten identifieras följande kombination av aspekter som har särskild betydelsefulla för att uppnå en hög precision i kalkyler av framtida kostnader för dekontaminering och avveckling av äldre kärntekniska anläggningar. Dessa är:

- Kalkyler med möjlighet till ”kalibrering” gentemot verkliga utfall
- Radiologisk kartering avpassad för behoven för kalkylering.
- Teknikplanering inklusive teknikval
- Identifiering av potentiella källor till systematiska avvikelser

Effekter av SKI finansierad forskningsverksamhet

Genom att utveckla metoder för mera tillförliga kalkyler i ett tidigt skede i planeringsprocessen tryggas att framtida generationer inte behöver betala för nutida generationers användning av nukleärt alstrad elenergi. Denna forskningsrapport demonstrerar hur precisionen och säkerheten i beräkningar av framtida kostnader för dekontaminering och avveckling av äldre kärntekniska anläggningar kan göras tydligare.

SKI kommer att använda resultatet från denna studie i den årliga granskning som görs av den kostnadsberäkning som AB SVAFO lämnar. Denna kostnadsberäkning ingår som en central del i det förslag till avgifter som SKI:s styrelse lämnar till regeringen. Denna forskningsrapport kommer att ingå i det granskningsmaterial som SKI analyserar i samband med framställningen av ett förslag till avgifter för år 2007.

Behov av fortsatt forskning

Det finns behov av att validera den framtagna beräkningsmodellen i ett nordiskt och/eller internationellt perspektiv. Studier för integration och analys av kostnadsdata från olika länder i komparativt jämförande projekt bör också ses som ett angeläget forskningsområde.

Projektinformation

På SKI har Staffan Lindskog varit ansvarig för att definiera och styra projektet. Forskningsuppgiften har genomförts av Rolf Sjöblom på TEKEDO. I projektet har Cecilia Sjöo från Tekedo och Anna Cato och Staffan Lindskog deltagit aktivt.

SKI referens: 14.9 – 040261/200409075.

Forskning

Kärntekniska kostnadsstudier avseende dekontaminering och nedläggning

Mellanförsvaret för använt kärnbränsle (FA) i Studsvik

Rolf Sjöblom¹

Cecilia Sjö¹

Staffan Lindskog²

Anna Cato²

¹ TEKEDO

Adress

Adress

Adress

² Statens kärnkraftinspektion

106 58 Stockholm

Maj 2005

Denna rapport har gjorts på uppdrag av Statens kärnkraftinspektion, SKI. Slutsatser och åsikter som framförs i rapporten är författarens/författarnas egna och behöver inte nödvändigtvis sammanfalla med SKI:s.

Innehållsförteckning

INNEHÅLL.....	III
SAMMANFATTNING	V
SUMMARY.....	VII
1 BAKGRUND	1
1.1 MELLANFÖRVARET FÖR ANVÄNT BRÄNSLE, FA.....	1
1.2 DET SVENSKA SYSTEMET FÖR FINANSIERING AV ÄLDRE KÄRNAVFALL	2
1.3 PLANERING FÖR DEKONTAMINERING OCH NEDLÄGGNING.....	3
1.4 RAPPORT OM AKTIVA TRÅGET	3
2 SYFTE OCH OMFATTNING SAMT UPPLÄGG AV RAPPORTEN.....	5
2.1 SYFTE	5
2.2 ARBETETS UPPLÄGG	5
2.3 LÄSANVISNING SAMT TACK TILL STUDSVIK OCH SVAFO	5
3 MATERIAL FRÅN STUDSVIK	7
3.1 UTDRAG FRÅN TIDIGARE KOSTNADSBERÄKNINGAR FÖR FA	7
3.2 ÖVRIGT MATERIAL FRÅN STUDSVIK.....	10
3.3 ANLÄGGNINGSBESÖK	13
4 INFORMATION FRÅN ANDRA KÄLLOR	14
4.1 OM INFORMATIONSSINSAMLANDET	14
4.2 LITTERATURSÖKNING	14
4.3 RESULTAT AV DATAFÅNGSTEN	15
4.3.1 <i>Tekniker</i>	15
4.3.1 <i>Radiologiska mätningar</i>	17
4.3.1 <i>Vattenjetteknik</i>	17
4.3.1 <i>Läckage av vatten från bränslebassäng till omgivande mark</i>	17
4.3.2 <i>Laganda</i>	18
4.3.3 <i>Kostnadsuppskattningar för nedläggning av anläggningar i Risø</i>	18
4.3.4 <i>Hantering av osäkerheter i kostnadsuppskattningar</i>	19
5 KOSTNADSKALKYLER.....	21
5.1 EN FÖRSTA ANSATS.....	21
5.1.1 <i>Utgångsläget för analysen</i>	21
5.1.2 <i>Vissa grundläggande antaganden</i>	22
5.1.3 <i>Kalkyler</i>	23
5.1.4 <i>Slutsatser</i>	24
5.2 KAN BERÄKNINGSMETODIKEN FÖRBÄTTRAS?.....	25
5.3 OM UTFÖRANDE AV KALKYLER.....	27
6 DISKUSSION OCH AVSLUTANDE REFLEKTION	28
7 FÖRSLAG TILL FORTSATT FORSKNING	32
Bilaga. Utdrag ur en artikel med titeln ”Drifterfarenheter med Ågesta kärnkraftverk” från 1971	

Sammanfattning

Mellanförvaret för använt kärnbränsle (FA) i Studsvik projekterades och uppfördes 1962-64. Det har använts för våt förvaring av bränsle från Ågestaverket och Studsviks egen reaktor, R2. FA består av tre cylindriska bassänger för bränsleförvaring samt utrustning för hantering och dekontaminering.

Syftet med den forskningsuppgift som redovisas i denna rapport har varit att lämna ett kunskapsbidrag till utvecklingen av metoder för beräkning av framtida kostnader för dekontaminering och nedläggning av kärntechniska forskningsanläggningar. Analysen grundar sig på en sammanställning av uppgifter från FA i Studsvik samt informationssökning.

Kraven på precision i kostnadsuppskattningarna är hög, även i tidiga skeden, d.v.s. vid en tidpunkt som infaller innan avställnings- och rivningscykeln har inletts. Skälet till detta är att medlen skall samlas in nu och de skall räcka precis lagom till nedlägningsinsatser vid ett senare tillfälle.

Av genomgången framgår att användning av metodik som utvecklats för kalkyler avseende rivning av kärnkraftverk innebär vissa nackdelar bl a i form av svårigheter att utföra variationsanalyser. Generell återföring av erfarenhetsdata för kalkyländamål kan dock göras med hjälp av en eller flera skalfaktorer samt viktningsfaktorer vilka sätts utgående från t ex expertbedömningar. För utveckling och användande av sådana verktyg behöver man bland annat ha tillgång till skattade kostnader i kombination med utfallsdata.

I rapporten identifieras följande kombination av aspekter som särskilt betydelsefulla för hög precision:

- Kalkyler med möjlighet till ”kalibrering” gentemot verkliga utfall
- Radiologisk kartering anpassad för behoven för kalkylering
- Teknikplanering inklusive teknikval
- Identifiering av potentiella källor till systematiska avvikelser

För FA:s del föreligger bl a följande källor till osäkerhet

- skador i ytskikt i bassänger
- underhållsstatus för dränage
- radiologisk kartering
- genomgång och val av teknik

Ett antal aspekter fångas upp i informationssökningen och den ger också stöd åt vad som framförs ovan. Som exempel kan nämnas läckage till grundvatten samt metodik för borttagning av ytskikt.

Sammanfattningsvis bedöms det vara rimligt att uppnå en konfidensnivå på 80 % med hjälp av den ovan skisserade metodiken. Bedömningen grundar sig på kända felmarginaler från projektering av nya anläggningar i kombination med möjlig

reducering av de viktigaste källorna till systematiska fel i kostnads kalkyler för kärntekniska forskningsanläggningar.

Summary

The interim store for spent fuel (FA) at Studsvik was designed and constructed in 1962-64. It has been used for wet storage of fuel from the Ågesta Nuclear Power Plant as well as the R2 reactor at Studsvik. FA comprises three cylindrical pools for fuel storage as well as equipment for handling and decontamination.

The purpose of the present work is to develop methodology for calculation of future costs for decontamination and dismantling of nuclear research facilities. The analysis is based on information from Studsvik as well as results from information searches.

The requirements on precision of cost calculations is high, also at early stages. The reason for this is that the funds are to be collected now but are to be used some time in the future. At the same time they should neither be insufficient nor superfluous.

It is apparent from the compilation and analysis that when methodology that has been developed for the purpose of cost calculations for power reactors is applied to research facilities certain drawbacks become apparent, e.g. difficulties to carry out variation analyses. Generally, feedback of data on incurred costs for the purpose of cost calculations can be achieved by using one or more scaling factors together with weighing factors which are established based on e.g. expert judgement. For development and utilisation of such tools it is necessary to have access to estimated costs together with incurred ones.

In the report, the following combination of aspects is identified as being of primary significance for achieving a high precision:

- Calculations with the possibility to "calibrate" against incurred costs
- Radiological surveying tailored to the needs for calculations
- Technical planning including selection of techniques to be used
- Identification of potential sources for systematic deviations

In the case of FA, some of the sources of uncertainty are as follows:

- Damaged surface layers in the pools
- Maintenance status for the drains
- Radiological surveying
- Compilation and selection of techniques to be used

A number of aspects were compiled in the information search and the results give support to the above conclusions. Leakage to the groundwater and methodology for removal of surface layers might be mentioned as examples.

It is assessed, in conclusion, that it is reasonable to achieve a confidence level of 80 % using the above summarised methodology. This assessment is based on known error margins in planning of new plants in combination with achievable reduction in uncertainty in the most important sources of systematic errors in cost calculations for nuclear research facilities.

1 Bakgrund

1.1 Mellanförvaret för använt bränsle, FA

En historisk återblick

Mellanförvaret för använt bränsle med kortbeteckningen FA projekterades och uppfördes 1962-64. Syftet med anläggningen var främst att skapa möjlighet till förvaring av använt bränsle från R2-reaktorn och Ågestareaktorn inför tilltänt upparbetning utomlands.

R2-reaktorn är Studsviks forskningsreaktor för bränsle och materialundersökningar. Den har en termisk effekt på ca 50 MW. Reaktorn avställdes permanent i mitten av juni år 2005, efter att beslut givits om permanent avställning i slutet av år 2004.

Ågestareaktorn var Sveriges första kärnreaktor för energiproduktion. Den stod färdig år 1963 och lades ner år 1973 på grund av en kombination av bränsleskador och låga oljepriser (Det kan noteras att senare samma år kom den första oljekrisen)[1]. Reaktorn hade en termisk effekt som uppgick till 65 MW varav 10 MW användes för elproduktion och 55 MW för fjärrvärme [2]. I detta sammanhang kan det nämnas att ingen annan reaktor i Sverige har producerat fjärrvärme. Reaktorn var av tryckvattentyp med tungt vatten som moderator.¹ Ytterligare uppgifter om Ågestaverket och dess bränsleskador återfinns i bilagan.

Dessa effektsiffror kan jämföras med dem för kärnkraftverk som är i drift i Sverige i dag vilka har en elektrisk effekt på mellan 465 och 1 200 MW. Detta motsvarar ungefärliga termiska effekter på 1 500 till 3 500 MW.

Bränslet från R2-reaktorn har med jämna mellanrum skickats till USA för upparbetning genom bl a avtal med Department of Energy i USA. Bränslet från Ågestareaktorn förvarades i FA under något decennium efter reaktoravställningen, men skickades sedan vidare till Centrallagret för Använt Kärnbränsle (CLAB) där det förvaras i dag.

Även om ågestareaktorprojektet i stort var mycket framgångsrikt var det ändå det första i sitt slag i landet och det saknas inte drifterfarenheter i form av onormala händelser. Bland annat förekom problem med bränslets kapsling med åtföljande driftstopp och upplockning av bränslerester från botten av reaktortanken. Detta innebär att en del av det ågestabränsle som togs in i FA kan ha varit skadat. Detaljer kring detta återfinns i bilagan. Delar av det mest skadade bränslet togs dock sannolikt aldrig in i FA utan skickades direkt till Eurochemic i Belgien för upparbetning².

Även mindre mängder bränsle från den tidigare forskningsreaktorn R1 vid Kungliga Tekniska Högskolan i Stockholm har förvarats i FA.

¹ I SKI Rapport 2003:11 redovisas en jämförande studie av rivningskostnader för Ågestareaktorn och en motsvarande anläggning i USA[5].

² Enligt muntlig uppgift från C G Österlundh, tidigare medarbetare i Studsvik.

En kort beskrivning av anläggningen

Mellanförvaret för använt bränsle (FA) består av tre våningsplan. Huvuddelen inklusive förvaringshall med bassänger samt kontors- och omklädningsrum är lokaliserad till markplanet. I källarplanet finns utrymmen för processystem, tankar, jonbytare, värme-, och kompressorcentraler samt el- och telerum. I det övre planet finns ventilationsutrustning för till-, och frånluft samt en dejonattank. [3]

Till följd av den ovan beskrivna kärntekniska verksamheten har anläggningen kontaminerats med radionuklider, mest i ytor i de olika processystemen som kontaktats med radioaktivt vatten, men kontamination förekommer även i olika öppna ytor i anläggningen. Kostnaden för rivning kan därmed komma att bli någon tiopotens högre än motsvarande kostnad för en icke aktiv anläggning.

En kostnadsberäkning, d.v.s. en s.k. rivningsstudie, för rivning av FA i Studsvik har genomförts av Westinghouse Atom AB på uppdrag av AB SVAFO [3]. Den redovisar ett förslag beträffande rivningsmetodik och uppskattningar beträffande mängden rivningsavfall samt kostnaderna förknippade med rivningen av anläggningen. Kostnaderna har beräknats till 19,2 MSEK i 2001 års penningvärde och består av följande delar:

- Förberedande- uppföljande- och avslutande arbeten för projektgruppen: 6,5 MSEK.
- Åtgärder som projektgruppen måste genomföra eller beställa samt avgifter: 6,3 MSEK.
- Rivningsarbetet: 6,4 MSEK.

1.2 Det svenska systemet för finansiering av äldre kärnavfall

I samband med att kärnkraften introducerades i Sverige bedrevs ett mycket omfattande utvecklingsarbete. En betydande del av detta ägde rum i anläggningarna i Studsvik. Då resultaten från dessa aktiviteter var allmänt tillgängliga för den svenska kärnkraftsindustrin beslöt riksdagen att de som drog nytta av dessa forskningsaktiviteter även skall betala kostnaderna för nedläggning, dekontaminering, demontering och hantering av avfall då anläggningarna på Studsvik inte längre behövs. Studsvikslagen reglerar att kostnaderna för dekontaminering och nedläggning av äldre kärntekniska anläggningar blir täckta.

Enligt Lagen om finansiering av hanteringen av visst radioaktivt avfall m m (SFS 1988:1597, § 5) skall kostnads kalkyler inges till Statens Kärnkraftinspektion (SKI) varje år. SKI har i sin tur till uppgift (SFS 1988:1598, § 5) att varje år granska förslagen till kostnadsuppskattningar och att anmäla till regeringen om avgiftsbeloppet behöver ändras. SKI har också uppgiften (SFS 1988:1598, § 4) att fatta beslut om ersättning samt att begära hos Kärnavfallsfondens Styrelse om att medel skall utbetalas.

Enligt sin instruktion (SFS 1988:523, § 4) har SKI till uppgift att ”*ta initiativ till sådan forskning som behövs för att inspektionen skall kunna fullgöra sina åligganden*”. Detta innebär bland annat att SKI skall utföra den forskning som behövs som underlag för att

SKI skall kunna bedöma om medlen kommer att räcka i enlighet med den redovisning som Inspektionen får in.³I december 2004 lämnades ett slutbetänkande av finansieringsutredningen, Betalningsansvaret för kärnavfallet⁴. I denna utredning behandlas bl.a. hur beräkningar av de framtida kostnaderna kan utvecklas. Det nämns att konsistenstest kan göras genom studier av konkreta avvecklingar. I föreliggande rapport presenteras just en sådan konsistenstest av planeringen av avvecklingen och dekontamineringen av FA i Studsvik.

1.3 Planering för dekontaminering och nedläggning

Det framgår av föregående avsnitt att en viktig förutsättning för att nedläggning av FA skall kunna ske på ett lämpligt sätt är att successiva realistiska kostnadsuppskattningar kan göras. Genom detta kan det säkerställas att tillräckligt med pengar fonderas för att bestrida de framtida kostnaderna för dekontaminering och nedläggning av de kärntekniska anläggningar som omfattas av Studsvikslagen.

Kostnads kalkylerna behöver vara baserade på ett tillräckligt ambitiöst program så att alla krav som samhället och medborgarna rimligen kan ställa också kan bli uppfyllda. Samtidigt bör inte kostnaderna, som ju i slutändan läggs på elkonsumenternas elräkningar, bli högre än vad som är nödvändigt.

Denna fråga är långtifrån trivial eftersom kostnadsuppskattningar tenderar att bli allt högre efterhand som kunskapen om projektet i fråga ökar.

Det är ofrånkomligt att osäkerheten är högre i tidiga stadier av en planering jämfört med sena. Detta gäller såväl systematiska fel som tillfälliga fel⁵. Med de krav som enligt ovan gäller för kostnads kalkyler för anläggningar i Studsvik behöver man arbeta med båda, och särskilt med de systematiska felen.

Detta har varit utgångspunkten för ett tidigare arbete som två av författarna utfört under år 2003 [4], se nästföljande avsnitt.

1.4 Rapport om Aktiva Tråget

I den ovan refererade studien som publicerades 2004 återfinns en tillämpad studie av hur kostnader för dekontaminering och nedläggning av det Aktiva Tråget (AT) i Studsvik kan uppskattas och beräknas. I den har en tydlig metodik, som även omfattar en rekommenderad sekvens för de olika arbetsmomenten, presenterats.

En central slutsats från denna studie var att för att kostnadsuppskattningar, av alla de aktiviteter som innefattar dekontaminering och nedläggning, skall kunna göras med en

³ Samtliga författningar som omnämns ovan kan hämtas utan kostnad på SKI:s hemsida; www.ski.se.

⁴ SOU 2004:125, Slutbetänkande av finansieringsutredningen, Betalningsansvaret för kärnavfallet, december 2004 [23].

⁵ I denna rapport används det förenklade betraktelsesättet med systematiska fel som även vid ett stort antal mätningar ger en avvikelse från det verkliga värdet, och tillfälliga fel för vilka allt fler mätningar innebär att man kommer allt närmare det verkliga värdet.

hög precision krävs bland annat radiologisk kartering, välgrundat val av teknik samt användande av lämplig metodik för kostnadsuppskattningar i tidiga skeden av arbetet. I annat fall finns det risk för att kostnaderna blir undervärderade. En annan slutsats från studien var att värdefull information och kunskap kan alstas genom att komparativa kostnadsstudier görs med liknande projekt som slutförts. Detta innebär att de beräknade kostnaderna från den studerade anläggningen jämförs med kostnader från en anläggning som har blivit riven. På detta sätt kan en uppfattning om det förväntade utfallet skapas. Det bör dock betonas att jämförande studier endast kan ge vägledning om huruvida de skattade kostnaderna är över eller undervärderade. Det måste understrykas att skattningarna alltid måste anpassas till det individuella fallet varför reella kostnadsberäkningar alltid måste göras eftersom det kan finnas lokala, geografiska eller historiska faktorer som avviker.

I rapporten hävdas att verktyg finns tillgängliga för ganska precisa kalkyler av kostnader, även i relativt tidiga skeden. Detta förutsätter emellertid att såväl radiologisk karaktärisering som teknisk planering utförs som underlag till själva kalkyleringsarbetet. Det har därför mot denna bakgrund framstått som lämpligt att närmare pröva och utveckla de metodologiska slutsatser som vunnits i den tidigare studien av AT på ett liknande projekt. *Mellanförvaret för använt bränsle (FA)* har därvid framstått som ett lämpligt objekt för en sådan analys.

Erfarenheterna från den tidigare studien indikerar att arbetet med att skapa en högkvalitativ kostnads kalkyl med en god styrka i sin prediktion av de framtida kostnaderna bör läggas upp på samma sätt som den ovan refererade studien av AT, men dock med några tydliga skillnader. Det gäller speciellt att den metodutveckling som påbörjats nu skall utvecklas ytterligare genom uppställning av numeriska samband samt konkreta beräkningar på vissa områden. Av särskilt intresse är momenten radiologisk kartering, val av teknik, planering och genomförande. Som bas för dessa kostnadsuppskattningar används dokumentet ”*SVAFO – Rivningsstudier för Studsviksanläggningar, Mellanförvaret för använt bränsle (FA)*” [3].

Stöd för det ovan beskrivna tillvägagångssättet återfinns även i Referens [5] som avser en jämförelse av kostnader för nedläggning av Ågestareaktorn (huvudsakligen prognos och BR3 i Mol i Belgien (pågående).

2 Syfte och omfattning samt upplägg av rapporten

2.1 Syfte

Syftet med detta forskningsprojekt är att utveckla metoder som kan användas för beräkning av de framtida kostnaderna för dekontaminering och nedläggning av äldre kärntekniska anläggningar. Som utgångspunkt för denna studie har en rivningsstudie för Mellanförvaret för använt bränsle (FA) i Studsvik använts.

I forskningsarbetet har vi utgått från befintliga uppgifter och kalkyler [3]. Vidare har den metodik som föreslogs och presenterades i den tidigare studien [4] tillämpats. Uppgiften skall även innefatta försök till jämförelser av moment som kan uppvisa likartade kostnadsbilder för FA och AT.

2.2 Arbetets upplägg

Forskningsprojektet har bestått av följande delmoment.

- Genomgång och analys av rapporten ”SVAFO – Rivningsstudier för Studsviksanläggningar – Mellanförvaret för använt bränsle”.
- Genomgång av referenser och annat underlagsmaterial till denna rapport, samt material som Studsvik har tillhandahållit. Även andra rivningsstudier som publicerats av SKI ingår.
- Besök på anläggningen samt möten med berörda på plats.
- Sökning i såväl nationell som internationell litteratur inriktad på tekniker/strategier för rivning, metodik för kostnadsberäkningar med hög precision i tidiga skeden mm. Särskild uppmärksamhet har riktas mot att finna jämförbara eller liknande objekt.

2.3 Läsanvisning

Rapporten är upplagd så att det skall gå att skilja mellan dels vad som är uppgifter som hämtats in, dels de analyser som görs och slutsatser som dras i rapporten.

Avsnitt 3 avser information som Studsvik tillhandahållit, dels i form av skriftligt material, inklusive kostnads kalkylen som Westinghouse utfört [3], dels muntligt i samband med möten på anläggningen.

Avsnitt 4 avser informationshämtning i den internationella litteraturen och på internet.

Avsnitt 5 avser egna analyser liksom avsnitt 6.

Författarna vill gärna uttrycka sin uppskattning till Per Ekberg, Peter Keyser och Per Lindelöw vid Studsvik AB samt Robert Berg vid AB SVAFO för deras välvilliga tillmötesgående i samband med den forskningsuppgift som presenteras i denna rapport. Deras stöd och uthållighet med visning av anläggningen, svar på frågor, diskussioner

samt synpunkter på tidiga utkast till denna rapport har på ett påtagligt vis bidragit till att berika resultatet av arbetet.

Ansvar för eventuella felaktigheter eller oegentligheter i rapporten vilar emellertid helt på författarna.

3 Material från Studsvik

I denna tillämpade studie behandlas, som förklarats i tidigare kapitel, metodologiska utgångspunkter för hur tillförlitliga och robusta kostnadsberäkningar kan göras.

Mellanförvaret för använt bränsle (FA) är studieobjektet på vilket de metodologiska slutsatser som vunnits i den tidigare studien [4] skall prövas och utvecklas.

I detta kapitel presenteras information rörande FA. Dels sammanfattas relevanta delar av de tidigare kostnadsberäkningarna som gjorts för FA [3], dels redogörs för uppgifter som inhämtats från skriftliga och muntliga källor på Studsvik samt iakttagelser vid anläggningsbesök.

3.1 Utdrag från tidigare kostnadsberäkningar för FA

Uppgifterna i detta avsnitt kommer huvudsakligen från Westinghouse Atom AB:s rapport med kostnadsberäkningar för rivning av Mellanförvaret för använt bränsle (FA) [3]. Framställningen i detta avsnitt skall därför ses som en sammanfattning av vissa av de uppgifter som ges i Westinghouse Atom AB:s rapport. Syftet med att bygga FA liksom vilka typer av bränsle som lagrats finns översiktligt redovisade i Avsnitt 1.1.

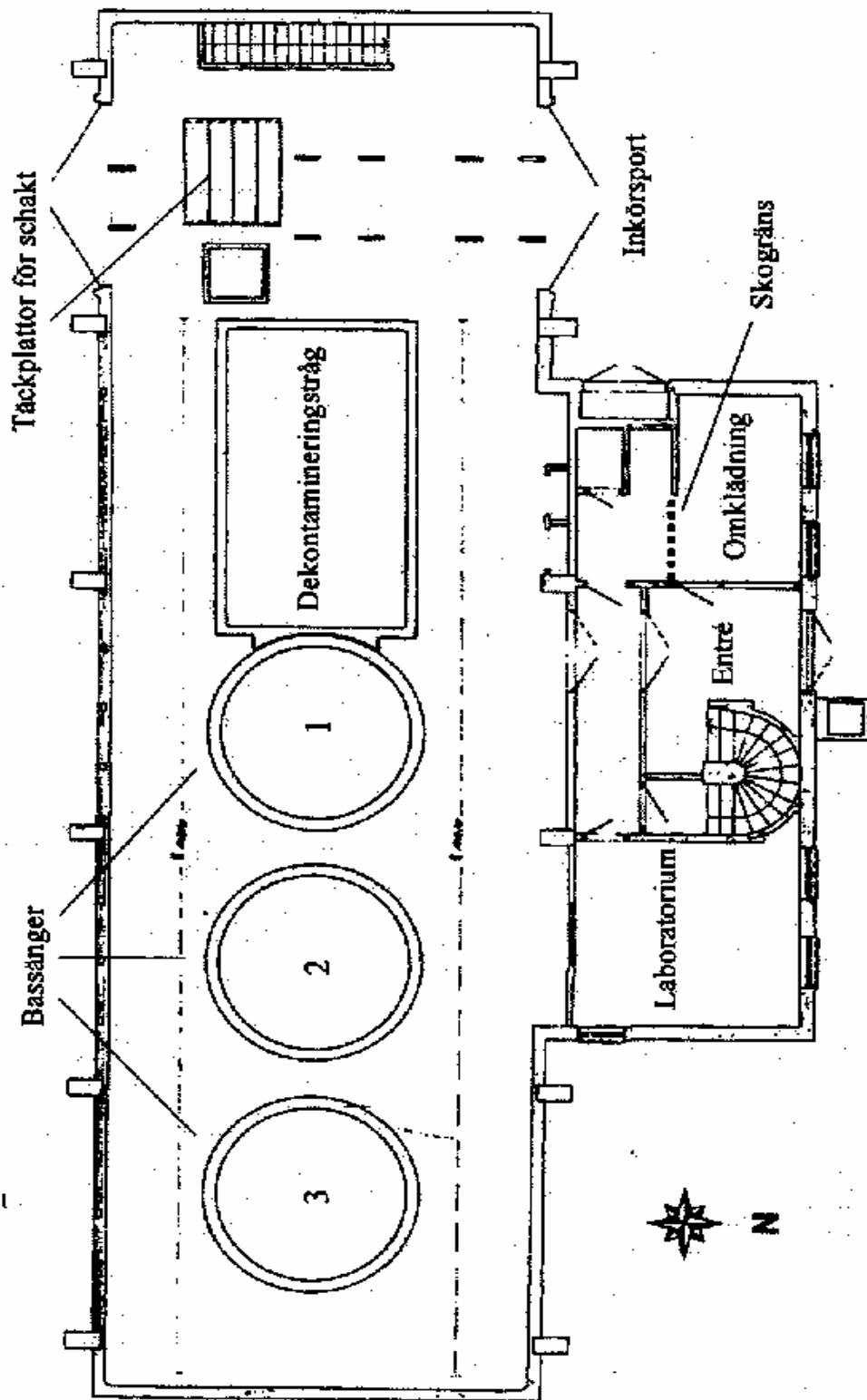
En översikt för Mellanförvaret för använt bränsle presenteras i Figur 1 på nästa sida, se även Figurerna 2 och 3.

Som framgår av figurerna finns tre cylindriska bassänger med förvaringsrack för använt bränsle. Bränslet kommer till anläggningen på lastbil som kör in genom inkörsporten, se Figur 1, så att bränslebehållaren kommer inom räckhåll för traversen. Denna går på räls som är lagd i byggnadens längdriktning och på ömse sidor om raden av bassänger. Med hjälp av traversen kan bränslebehållarna lyftas och placeras i schaktet vilket ger lämplig övre nivå för den fortsatta hanteringen med den specialbyggda hanteringsmaskinen.

Hanteringsmaskinen består av en balkbrygga på hjul för längsåkning. I bryggans tvärriktning går en löpvagn som i sin tur bär upp en strålskärm. Denna är höj- och sänkbar samt innehåller grip- och hissordning för hantering av bränsleelementen. Strålskärmen öppnas och sluts i botten med hjälp av en kikventil.

Dessutom finns en mindre bockkran för enklare hanteringsuppgifter.

Med hjälp av den nyss beskrivna utrustningen kan bränsle överföras mellan bränsleflaska och bränslebassäng med bibehållen strålskärmning och utan att bränslet överhettas. Dessutom finns möjlighet att vid behov rengöra utrustning i dekontamineringsstråget.



Figur 1: Översikt över Mellanförrådet för använt bränsle.

I hallen där förvaringsbassängerna och dekontamineringsstråget finns är ytorna gulklassade. Det innebär att kontaminationsgraden ligger i intervallet 40 – 400 kBq/m² för β/γ och 4 – 40 kBq/m² för α. Här kan det enligt rapporten från Westinghouse [3] bli nödvändigt att ta bort en del av golvytornas översta skikt genom slipning, om inte en kraftig sanering först kan ta ned ytkontaminationen till nivåer under friklassningsgränsen.

För dekontamineringsstråget antas att läckage genom plåten kan ha förekommit eftersom risken för detta inte är försumbar. Därför antas att ytan under plåten först till viss del (10 % av ytan till ett djup av 2 cm) måste bilas bort, för att ytan skall kunna friklassas.

I bränsleförvaringsbassängerna har aktivitetskoncentrationen varit av storleksordningen MBq/m³. Därför förutsätts att den vätskeberörda delen av innerytan delvis måste bilas bort (10 % av ytan till ett djup av ca 5 cm), för att åstadkomma friklassningsbara ytor i bassängerna.

De radioaktiva ämnena i processutrustningen förekommer som kontamination på insidan av rör, tankar och andra komponenter. En viss kontamination kan finnas på utsidan, men den bör vara liten i förhållande till insidans och dessutom vara möjlig att reducera genom sanering.

Aktiviteten i processutrustningen kan uppskattas med hjälp av uppmätta dosrater på rörytor. Dessa omräknas med omvandlingsfaktorer till att ge en uppskattning av den specifika aktiviteten inuti röret. Omvandlingsfaktorerna är baserade på antagandet att den dominerande radionukliden är kobolt-60 och detta anges därför vara ett rimligt antagande även för kostnadskalkyleringen av denna anläggning. En preliminär planeringsförutsättning är att rör och komponenter (avfallstankar, jonbytarkärl och värmeväxlare) i anläggningen inte kan friklassas utan omfattande dekontamineringsåtgärder.

Tre alternativa behandlingar för rivningsgodset antas föreligga:

- Friklassning
- Slutförvaret för kortlivat rivningsavfall
- Slutförvaret för långlivat rivningsavfall

Ambitionen skall vara att så mycket som möjligt hamnar i den första kategorin, friklassning, så länge det kan ske med enklare dekontamineringsåtgärder som renspolning, enklare tvättning e t c. I studien förutsätts att mer avancerade dekontamineringsåtgärder inte är kostnadseffektiva - vilket naturligtvis är beroende på nivån på den fasta kostnaden för lagring av avfall i SFR 3 som AB SVAFO har framförhandlat.

Rivningsgodset med högre kontamineringsgrad förutsätts gå till slutförvar för kortlivat avfall (SFR-3). Kostnaden för deponering ansätts till ett fast pris på 20 000 kr/m³ [6]. Förekomsten av radionuklider med längre halveringstid har bedöms så ringa att allt rivningsavfall är att betrakta som kortlivat, varför inget rivningsavfall förutsätts behöva

transporteras till mellanlager för senare placering i slutförvar för långlivat rivningsavfall.

Vad gäller kostnaderna delas de upp i följande klasser:

P: Projektledning, förberedande och avslutande arbeten.

Å: Åtgärder och service under rivningen.

R: Rivningsarbetet.

För att kompensera för de kostnader som inte ingår i uppskattningen så används ett kostnadspåslag för oplanerat arbete på 20 %. För övrigt påpekas i kalkylen att kostnaden för dekontaminering av byggnadsytor är mycket osäker.

3.2 Övrigt material från Studsvik

Studsvik har bidragit med en översiktlig verksamhetsbeskrivning av FA-anläggningen. Där ges bland annat dimensionerna för byggnaden. Hallen som rymmer förvaringsbassängerna är 30 m lång, 8,5 m bred och har en höjd på 13 m, se Figur 1.

Dessutom ges en teknisk beskrivning av bassängerna. De utgörs av vertikala cylindrar av vattentät betong med innerdiameter 3,8 m och ett djup på 8,2 m, se Figur 3. Väggjockleken är 0,25 m. Bassängernas innersidor är belagda med glasfiberarmerad epoxilack. I den tekniska beskrivningen beskrivs skiktet som hårt, motståndskraftigt mot kemisk och mekanisk åverkan och lätt att reparera och dekontaminera⁶. Där förklaras också att bassängernas undre ände ligger på berggrund och att bassängerna är omgivna av ett dränerande skikt, dränerat till en pumpgrop. Därifrån kan provtagningar på grundvattnets aktivitet innehåll utföras liksom eventuella läns-pumpningar.

I en arbetsrapport från Studsvik [7] om överföring av Ågestabränsle från Studsvik till CLAB redogörs följande.

”Med ledning av de kvartalsvisa analyserna av total-alfa och total-beta aktiviteten i bassängvattnet har gjorts en redovisning i Bilaga 3. Redovisningen har också kompletterats med en gammaspektrometrisk analys. Syftet har varit att visa att Ågestapatronerna som förvaras i bassängerna kan betraktas som intakta. Resultatet visar att bränslet är intakt.” I rapporten framförs också att vattnet i bassängerna inte renats sedan 1978 eller tidigare. Ur detta samt kvartalsvisa analyser av alfa och gamma i dras slutsatsen att aktivitetsnivån legat i stort sett konstant.

Det material som genomgått ger inte svar på frågan om det bränsle som läckt i Ågestaanläggningen kapslats in där eller efter en viss tids förvaring i Studsvik. Vid en mätning som utförts 1986 är aktiviteten från cesium-137 (som man förknippar med bränsleskador) högre än den från kobolt-60 (som man förknippar med aktivering av rostfritt material). Om man tar hänsyn till avklingning är nivåerna jämförbara.

⁶ Vid besöken kunde dock konstateras tillsammans med representanter från Studsvik att delar av ytskikten var nedbrutna.

Radionuklidsammansättningen skiljer sig från den i ett kärnkraftreaktorvatten i vilket kobolt-60 normalt dominerar.

Med stöd av det ovan refererade underlaget går det inte att utesluta att högre aktivitetsnivåer kan ha förekommit före 1978 och före jonbytaren använts senast.

Att det Ågestabränsle som hanterats i FA-anläggningen, kan ha varit skadat och läckt aktivitet innebär att det finns potential för så kallade "hot spots".

Aktivitetssammansättningen kommer troligen att leda till att åtminstone delar av avfallet klassas som SFL-avfall p g a innehåll av transuraner i avfallet, eller p g a svårigheter att bevisa frånvaron av transuraner. Budgeten för sådana radionuklider är mycket begränsat för denna avfallstyp i SFR. Tilläggskostnaden för SVAFO AB blir dock marginell eftersom priset per kubikmeter i SFR och SFL är likvärdigt. Dock finns vissa restriktioner beträffande volymer avfall till SFL.

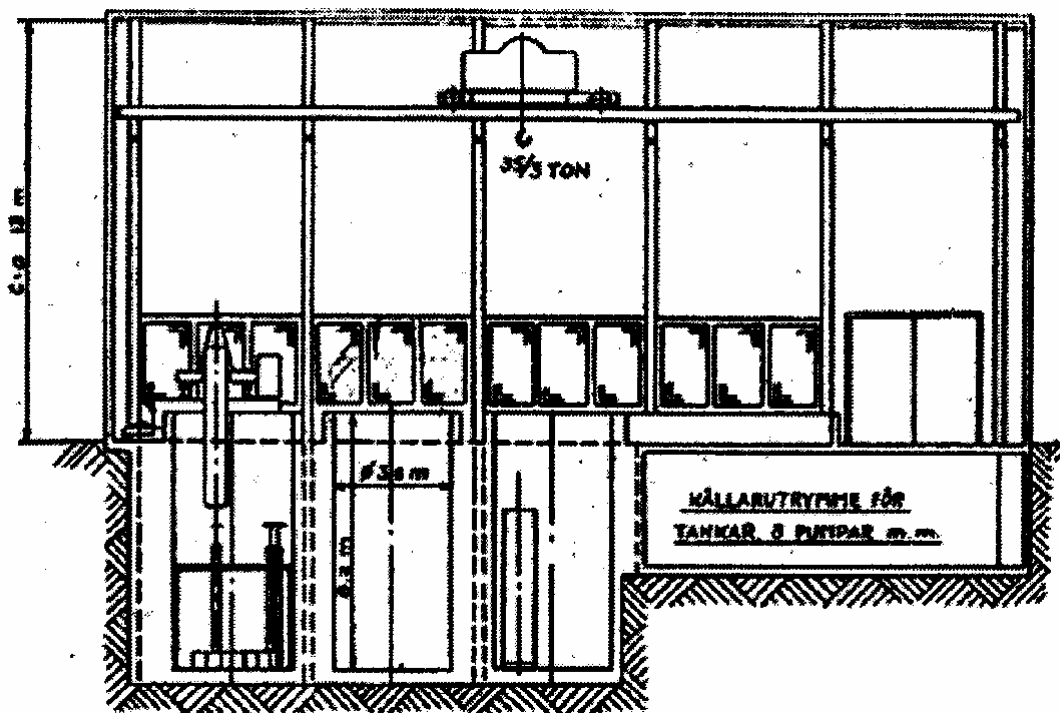
Vad gäller de radiologiska förhållandena i FA så finns det värden för bassäng 2 och skorstenen från år 2001 [8].

Vattenprover från bassäng 2 i FA (010528)

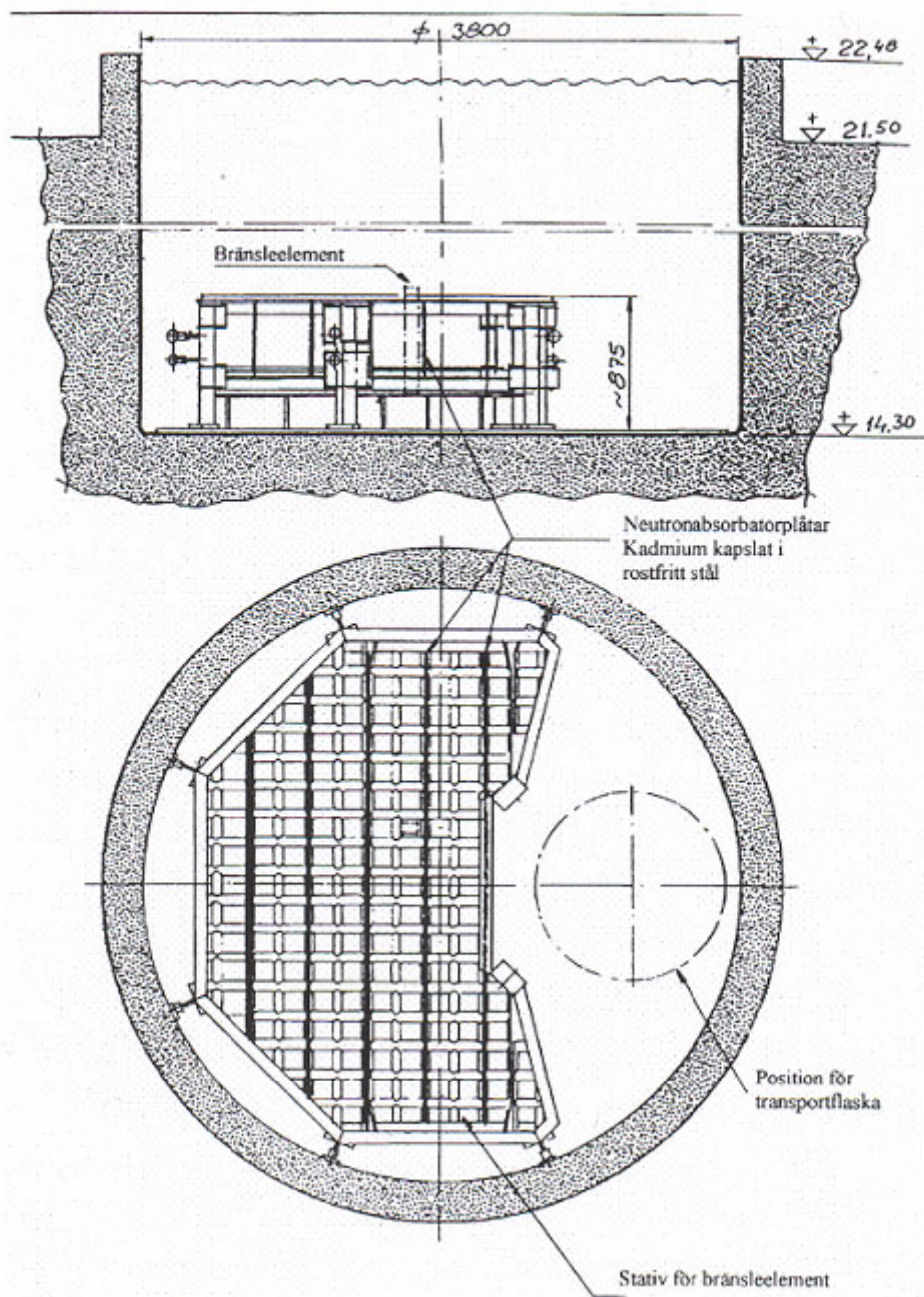
Resultat	[kBq/m ³]
Totalalfa	<1,32
Totalbeta	614
Cs-134	21,5
Cs-137	96

Utsläpp från skorstenen

Resultat	[Bq/vecka]
Totalalfa	45 - 650
I-131	0 - 3200



Figur 2. Sidovy av förvaringsanläggning för bränsleelement (FA). De fönster som syns i mitten är numera täckta av plåt.



Figur 3. Bränsleförvaringsbassängerna i FA-anläggningen.

3.3 Anläggningsbesök

Under arbetet med detta projekt har tre besök gjorts till Studsvik. Syftet har dels varit att få sammanträffa med Studsviks expertis och få svar på de frågor som kommit upp. Inför mötena har frågelistor överlämnats och de svar som lämnats finns inkorporerade i framförallt avsnitt 3.2 ovan. Det andra syftet har varit att se förhållandena på plats. Vid besöken har också en del observationer gjorts vilka har haft betydelse för utformningen av studien. Vi vill i detta sammanhang framhålla att anläggningsbesök är en förutsättning för att en fullständig och heltäckande inventering av de lokala förhållandena skall kunna göras.

Det har tidigare nämnts att innerytorna i bassängerna är täckta med glasfiberarmerad epoxilack. Vid besöken noterades att väven på många ställen innehåller blåsor samt naken väv såväl ovanför som under vattenytan. Detta innebär att betong sannolikt varit i kontakt med det kontaminerade bassängvattnet. Härvid bör beaktas att, som redovisats i avsnitt 3.1, detta vatten historiskt haft mycket högre aktivitetshalter jämfört med i dag.

Frågan om tänkbar inträngning av aktivitet från bassängvattnet in i betongen via sprickor hänger samman med den om skydd mot läckage från bassängerna. I Avsnitt 3.2 redovisas att bassängerna är gjutna mot berg samt att det enligt uppgift finns en dränageledning med möjlighet till aktivitetsskontroll runt anläggningen. Ledningens kondition är dock okänd.

4 Information från andra källor

4.1 Om informationsinsamlandet

I Avsnitt 1.4 redogjordes för en tillämpad studie som har gjorts av hur kostnader för dekontaminering och nedläggning av det Aktiva Tråget (AT) i Studsvik kan skattas och beräknas. I denna tillämpade studie gjordes ett generellt antagande om att en radiologisk kartering samt val av teknik är grunden för att kunna göra noggranna kostnadsuppskattningar. Dessutom drogs en normativ slutsats som säger att värdefull information kan erhållas från komparativa kostnadsstudier med likartade projekt. Dessa slutledningar gäller även som förutsättningar för den här rapporten.

Litteratursökningen för den här rapporten har därför kommit att koncentreras på att hitta information om anläggningar som liknar FA och på tekniker som skulle kunna anses var tillämpbara och kostnadsbesparande vid dekontaminering och nedläggning av densamma.

4.2 Litteratursökning

Ett viktigt delmoment i arbetet har alltså varit litteratursökningar för att finna referensfall och information kring lämpliga tekniska metoder och tekniker.

Litteratursökningen gjordes såväl i databaser och på Internet som i tillgänglig litteratur.

Databaser

Litteratursökningen gjordes bland annat genom den internationella databasen STNeasy. Den har i sin tur tillgång till stora forskningsdatabaser som Compendex, Entec, Fedrip, Inspec och Pascal.

Följande sökord och kombinationer användes vid sökningen:

<i>Search: meeting title: decommissioning AND fuel</i>	<i>(inga träffar)</i>
<i>Search: meeting title: fuel AND title: storage</i>	<i>(inga träffar)</i>
<i>Search: decommissioning AND fuel AND storage</i>	<i>(~ 477 träffar)</i>
<i>Search: fuel AND pool AND decommissioning</i>	<i>(~ 70 träffar)</i>
<i>Search: pool AND fuel AND storage AND nuclear</i>	<i>(~ 780 träffar)</i>

Träffarna bestod av referenser för artiklarna i fråga. För de som verkade vara av intresse för denna rapport togs sammanfattningarna fram och lästes igenom. Verkade de fortfarande intressanta beställdes de från KTHB Studsvik. Sammanlagt beställdes ett tiotal artiklar.

Det kan noteras att nästan inget material hittades från konferenser rörande nedläggning.

Internet

På internet gjordes en sökning på hemsidan ”Amazon” med liknande sökord/kombinationer som användes vid sökningen i databaserna.

Här hittades lite konferensdokumentation om nedläggning. KTHB i Studsvik anlätades för att göra en kompletterande litteratursökning rörande just konferensdokumentation. Det resulterade i ca hundra sammanfattningar som lästes igenom av vilka ett par stycken föreföll relevanta för uppdraget. De beställdes och gick igenom.

4.3 Resultat av datafångsten

4.3.1 Tekniker

Val av teknik

En av slutsatserna från den tidigare studien av AT var alltså att ett välgrundat val av teknik i tidiga skeden av arbetet är nödvändigt för att få kostnadsberäkningar med hög precision.

I referens [9] beskrivs en lyckad nedläggning av bassängerna till UKAEA:s ånggenererande tungvattenreaktor i Winfrith, England. Där fanns fem bassänger vars huvudsakliga uppgifter var: bränsleförvar, som kylare vid händelse av reaktorstopp samt som tryckventil och dämpare vid händelse av kylvattenförlust i primärkretsen. En av de största uppgifterna under nedläggningens första steg var att förbereda dammarna för långsiktigt underhåll. Som sagt var nedläggningen lyckosam och ett av nyckelmomenten till framgången anser de vara just teknikstrategin.

För att välja den optimala metoden och få tillgång till bredast möjliga expertis som fanns tillgänglig så beställdes nämligen tre separata teknikstudier. Varje kontrakt resulterade i detaljerade studier av problemet tillsammans med en rekommenderad lösning. De tre lösningarna skilde sig mycket från varandra och bidrog till att ett brett spektrum av alternativ, tekniker och erfarenhet beaktades innan den slutliga metoden valdes.

Kostnaderna för nedläggningen blev 50 % av de tidiga kostnadsuppskattningarna och dosupptaget var ungefär 25 % lägre än de ursprungliga uppskattningarna.

Hyvling och bilning av betong

Något om metoderna

De två tillämpbara kostnadseffektiva metoder för borttagning av betong som är ändamålsenliga i fallet Mellanförvaret för använt kärnbränsle (FA) är hyvling respektive bilning.

Hyvling⁷ av stenmaterial utförs på likartat sätt som hyvling (och svarvning) av metalliska och polymera material. Materialtekniskt är emellertid skillnaden ganska stor

⁷ Kalksten som läggs på golv är ofta hyvlad för att ge mindre risk för halka jämfört med sågat och polerat material. Att en yta är hyvlad kan man se på den lite råa ytstrukturen samt på att ytans utseende varierar i

eftersom stenmaterial är mycket spröda medan övriga oftast är duktila. Vid hyvling av stenmaterial bildas inga spån från en egg som skär utan hyvelpetsens verkan kan mera liknas vid en kontinuerligt verkande mejsel som krossar det material som kommer i dess väg.

Vid bilning åstadkommer man motsvarande krossning lokalt genom att en mejsel slår upprepade slag mot stenmaterialets yta samtidigt som det förflyttas efterhand som ny yta friläggs.

Genom dessa skillnader blir utformningarna av utrustningar för hyvling respektive bilning ganska olikartade. Hyvlingsutrustningen har ett kraftigt ramverk för att kunna åstadkomma den nödvändiga höga anliggningskraften. Bilningsutrustningen behöver däremot i stort sett bara kunna applicera mejseln på rätt plats efterhand som bilningen fortgår. Hyvling ger vanligen en planare yta jämfört med bilning.

Bilning kan utföras med handverktyg eller med fjärrstyrd bilningsutrustning. Kostnaden för handverktyg är låg. Däremot är sådant arbete mycket tröttande och kan även ge vibrationskador. I radiologiska miljöer kan de även ge dos såväl genom externstrålning som genom inandning av kontaminerat damm. Fjärrstyrd utrustning har en relativt hög investeringskostnad men är förhållandevis enkel att ”installera” eftersom det finns även mycket små och flexibla maskiner. De har en hög precision i bilningsarbetet och ger obetydlig dos tack vare fjärrstyrningen. Det är tänkbart att valet av utrustning delvis är ett administrativt problem på så sätt att användningstiden i en enstaka forskningsanläggning är för kort för att motivera ett köp varför i stället arrangemang med lån / hyra kanske är lämpligast. För detta krävs antagligen att det finns ett fungerande nukleärt kontaktnät som kan utnyttjas.

Hyvling är inte tillämplig med handhållen utrustning eftersom det krävs ett högt anliggningsstryck.

Ett referensfall

Ett referensfall har påträffats i en artikel som behandlar dekontaminering och nedläggning av bassänger för bränsleförvaring på kraftanläggningen i Berkeley [10]. Bassängerna användes för förvar av bestrålade bränsleelement före upparbetning.

Vid dekontamineringen tillämpades en strategi som innebar borttagning av betong till ett bestämt djup. Därefter kontrollerades att man verkligen nått ner till aktivitetsfri betong. Med denna metod avverkas i och för sig mer betong än vad som nödvändigt, men samtidigt undviks en hel del successiva aktivitetsmätningar samt omställningar.

För att minimera avfallsvolymer och undvika bildandet och hanterandet av våta avfallsmassor så användes i referensfallet en torr, fjärrmanövrerad hyvlingsprocess. Utöver de fördelar som den torra processen förde med sig, så gav den en mycket jämn yta vilket underlättade de slutliga radiologiska mätningarna.

tidiga skeden av arbetet något i olika riktningar. Det senare beror på att järnen ofta är svagt skålade för att undvika att flisor spräcks bort i kanten av järnet [11].

Den utrustningsdel på vilken hyveln var monterad bars upp av en ram placerad på två skenor, en i botten av bassängen och en högst upp. Utrustningen rörde sig sedan vertikalt längs med bassängens höjd medan ramen rörde sig horisontellt längs med väggens längd. Golvet i bassängerna hyvlades på liknande sätt.

För dekontaminering av hotspots, i exempelvis bassängfogar, användes mestadels manuella metoder såsom slaghammare.

Radiologiska mätningar

I referensfallet [10], Avsnitt 7.1, förklaras vidare att då betongen hade avlägsnats till ett bestämt djup, gjordes utförliga mätningar på bassängväggarna för att kontrollera att de radiologiska värdena låg under förutbestämda nivåer. Denna operation genomfördes huvudsakligen manuellt eftersom radiologiska mätningar skulle utföras på hela ytan. För att underlätta mätningarna markerades hela vägg- och golvytan i m²-segment.

Vattenjetteknik

I referens [9], som behandlar nedläggningen av bassängerna till UKAEA:s ånggenererande tungvattenreaktor i Winfrith, ges även en beskrivning av hur bassängerna dekontaminerades.

Bassängväggarna dekontaminerades med hjälp av vattenjetteknik och saneringsmedel. Arbetet utfördes från pontoner som installerades i respektive bassäng. Smala band av bassängerna dekontaminerades i takt med att de tömdes på vatten. Det visade sig vara en mycket kostnadseffektiv teknik som krävde minimalt med byggnadsställningar. Huvuddelen av dekontamineringen kunde utföras under vattnet vilket gjorde att problem med luftburen kontaminering kunde undvikas. Väggarna målades senare med vattenbaserad färg för att binda de mycket små, kvarvarande föroreningarna.

Läckage av vatten från bränslebassäng till omgivande mark

En annan publikation [12] tar upp nedläggning och dekontaminering av en forskningsreaktor (The Oak Ridge Research Reactor), med betoning på miljöaspekterna.

Den viktigaste miljöaspekten identifierades vara utsläpp av potentiellt kontaminerat vatten till grund- och ytvatten. De två stora källorna till utsläppen var dels vatten som pumpats från ett dränage i forskningsanläggningen till ett dränage och dels en läcka till grundvattnet från de underjordiska kylvattenledningarna.

Forskningsreaktorns källare ligger mer än 10 meter under jorden och då reaktorn fortfarande användes antogs grundvatten som läckte in i avloppsbrunnen vara regn- och källvatten. Det pumpades till ett dränage som rinner ut i ett närliggande vattendrag. Ett grundvattenprov vid utloppet innehöll nästan dubbelt så mycket strontium-90 som gränsvärdet enligt riktlinjerna från DOE 5400.5. Flödet leddes därför i en ny riktning till processens avfallsbehandlingsanläggning.

Den andra möjliga källan till kontaminering av grundvatten var de underjordiska ledningarna som transporterade reaktorbassängens kylvatten till kyltorn utanför byggnaden. En läcka uppstod på grund utav brott på värmeväxlartuben samt en sekundär läcka i den underjordiska ledningen. Läckaget var på 6,5 kubikmeter om dagen, men p.g.a. bassängvattnets aktivitetsnivå översteg inte kontaminationsnivåerna i grundvattnet de 24-timmars CERCLA värdena. Dessutom visade omfattande mätningar av betastrålare i det intilliggande vattendraget på en liten ökning under de nästföljande två åren. De översteg dock inte de gränser som ges i DOE 5400.5.

4.3.2 Laganda

Intrycket från referensfallet [10], se avsnitt 8.0, är att nedläggningsarbetet blev en stor framgång, vilket även banade väg för ett lyckat rivningsarbete. Nyckeln till framgången angavs vara lagandan mellan de involverade parterna, exempelvis entreprenörerna. Det påpekas nämligen att det vid den här typen av arbete alltid sker oväntade upptäckter som oftast behöver tas itu med omedelbart. Det är endast möjligt om det finns en god laganda.

Även i en annan artikel [13] som påträffats framgår vikten av att personerna som är involverade med det faktiska nedläggningsarbetet är professionella och kompetenta för att det ska genomföras på ett säkert och effektivt sätt.

En god laganda är naturligtvis ett resultat av kombinationen av ett antal faktorer, varav vissa hänger samman med personligheterna hos dem som utför en rivning. Det är emellertid viktigt att den som driver ett rivningsprojekt planerar verksamheten på ett sådant sätt att onödiga påfrestningar i arbetet uppkommer (det är ganska påfrestande ändå). Därför är det viktigt med en god planering av resurser och insatser vilket i sin tur bygger på radiologisk kartering och teknisk planering. Det är också viktigt att manuella metoder ersätts med maskinella där detta är möjligt och rimligt. Vidare är det en stressfaktor om kostnads kalkylerna varit missvisande så att medlen för arbetet är otillräckliga.

4.3.3 Kostnadsuppskattningar för nedläggning av anläggningar i Risø

I artikel [14] behandlas kostnadsuppskattningar för nedläggning av anläggningarna på Risø National Laboratory (RNL) i Danmark. År 2000 togs där ett beslut om att D3-reaktorn, anläggningens största försöksreaktor, ska läggas ned på grund av att den börjar bli för gammal. Eftersom de flesta andra anläggningar på Risø är beroende av att D3-reaktorn är i drift, beslöt man att även övriga anläggningar i Risø skall läggas ned.

I första hand handlar det om tre reaktorer, ett ”hot cell” laboratorium, ett isotoplaboratorium, en bränslefabrik och en anläggning för behandling av avfall med tillhörande förvar.

Metoder för kostnadsuppskattning

Anläggningarna på Risø National Laboratory varierar mycket såväl i storlek som i komplexitet. Därför har olika metoder använts för kostnadsuppskattningarna för

respektive anläggning. Även om en standardiserad metod har sina fördelar, så har det inte ansetts lämpligt att använda samma metod för exempelvis D3-reaktorn som för bränslefabriken.

För varje anläggning identifierades de olika stegen i nedläggningen och deras respektive kostnader uppskattades som fixa priser.

Nedläggningsmetoderna var lätta att uppskatta för vissa anläggningar medan det i andra fall behövdes ett mer systematiskt angreppssätt. För D3-reaktorn användes en standardlista med kostnadsposter för att specificera kostnaderna för nedläggningen. Denna lista⁸ har utvecklats i samarbete med OECD/NEA, IAEA och EU och är framtagen för kärnkraftverk, men de flesta av kostnadsposterna är tillämpbara även för forskningsreaktorer.

Kostnadsberäkningarna utfördes på tre olika nedläggningsscenarier. Skillnaden mellan dessa tre scenarier avser hur lång tid det kommer att ta för D3-reaktorn att svalna från och med att den slutar användas tills dess att den demonteras. Tiden det tar för reaktorn att svalna har satts till 10 år för scenario 1, 25 år för det andra scenariot och 40 år för det tredje.

Osäkerheter för kostnadsuppskattningarna för Risø

Den aktuella osäkerheten i kostnadsuppskattningarna förklaras av att detta är det första försöket för att uppskatta nedläggningskostnaderna för anläggningarna i Risø. Erfarenheter från andra länder har använts som rättesnöre, men kostnadsuppskattningarna förväntas ändå förändras i takt med att erfarenheterna ökar och mer detaljerade studier görs. För vissa kostnader har enbart mycket grova uppskattningar kunnat utföras. Dessa har man försökt göra konservativt och mera detaljerade studier kommer troligen leda till lägre uppskattningar.

4.3.4 Hantering av osäkerheter i kostnadsuppskattningar

I en nyligen utgiven rapport från NEA/OECD [15] förklaras att konfidensintervallet för uppskattning av nedläggningskostnader oundvikligen varierar. Till exempel bör tillförlitligheten i kostnadsuppskattningarna vara högre för anläggningar som är mitt uppe i en nedläggning jämfört med anläggningar som inte ska påbörja nedläggningen förrän efter några år. Tendensen är att de uppskattade kostnaderna ökar ju närmare anläggningen kommer nedläggningsarbetet och slutförandet av det.

Ett sätt att hantera osäkerheten i kostnads-kalkylerna är att lägga in en osäkerhetskostnad i kostnadsuppskattningarna. Ett annat sätt är att lägga på en osäkerhetskvantitet till de förväntade avfallsmängderna.

⁸ Se European Commission, International Atomic Energy Agency & OECD/Nuclear Energy Agency, A Proposed Standard List of Items for Costing Purposes in the Decommissioning of Nuclear Installations, Interim Technical Document, OECD 1999 [24].

Även storleken på osäkerheten varierar för olika typer av kostnader i kalkylen. Justering för detta kan göras genom att man lägger på olika stora osäkerhetskostnader beroende på kunskapen inom området i fråga.

5 Kostnadskalkyler

5.1 En första ansats

5.1.1 Utgångsläget för analysen

Enligt kostnadsberäkningarna i rapporten från Westinghouse Atom AB [3] kommer den totala kostnaden för rivning av FA att vara ca 19,2 MSEK i 2001 års priser. Någon uppskattning av kostnaden för motsvarande rivning om anläggningen inte varit kontaminerad har inte utförts men denna kan ändå uppskattas ligga åtminstone en tiopotens lägre.

Huvuddelen av kostnaden hänger således på ett eller annat sätt samman med förekomsten av kontamination med radionuklider. Det är väl känt att kostnadspåverkan av sådan förekomst är starkt beroende av vissa faktorer. I ena extremfallet är aktiviteten kortlivad och förstör sig själv bara man väntar ett tag. I andra extremfallet finns det långlivade alfastrålare som gömt sig i sprickor och liknande men inga gammastrålare. I det senare fallet är det komplicerat att sanera eftersom det är mycket svårt att avgöra var aktiviteten finns och när den tagits bort⁹.

Kostnaderna för dekontaminering och rivning är naturligtvis också starkt beroende av anläggningens utformning och valet av teknik.

Betydelsen av dessa faktorer har redovisats i en tidigare utgiven rapport [4].

En rimlig ansats inför förbättrade och mera precisa kalkyler borde därför vara att närmare undersöka känsligheten hos olika poster i kostnadskalkylen med avseende på sådana relevanta parametrar. Exempel på parametrar vars effekt rimligtvis borde bestämmas är som följer:

- Förhållandet mellan alfastrålare och gammastrålare
- Andelen långlivade radionuklider
- Hur radionukliderna fördelar sig i anläggningen, särskilt med tanke på besvärande typ av förekomst, t ex inträngning i spalter i betong
- Val av teknik för borttagning av aktivitet på ytor
- Val av strategi för borttagning av aktivitet på ytor, d v s t ex
 - försiktig borttagning samt upprepade aktivitetsmätningar, eller
 - robust borttagning av aktivitet och verifierande aktivitetsmätning
- Volymer avfall samt destination för respektive kategori
- Potentiella komplicerande omständigheter

⁹ Att kostnaderna ökar betydligt i dessa fall stöd bl.a. av en forskningsstudie som publicerats av SKI. Se Kristofova, Kristina et.al, A Model Study of Costs Estimates of Decontamination and Decommissioning with an Emphasis to Derive Cost Functions for Alpha-Contaminated Material Using OMEGA Code, SKI Report 2005:38, december 2004 [25]

5.1.2 Vissa grundläggande antaganden

I rapporten från Westinghouse Atom AB [3] har man räknat med bl.a. följande priser:

Förvaring i SFR, SEK/m ³	20 000
Transportbehållare betong ISO 15 m ³ , SEK/styck	30 000
Transport till SFR, SEK/billass om 32 m ³	10 000
Deponikostnad för inaktivt material, SEK/ton	700
Processrivning borttransport till deponi, SEK/billass om 5,8 ton	10 000
Persontid projektgrupp, SEK/timme	780
Persontid montör, strålskyddare, sanerare, SEK/timme	450

Volymerna avfall av olika slag och med olika tilltänkta destinationer är som följer:

Volym (m³)

	SFR	Deponi
Process	30	175
Rivning	2	25?
Totalt	32	200

Mängd (ton)

	SFR	Deponi
Process	32	58
Rivning	5	55
Totalt	37	113

Med ovanstående priser och volymer blir den totala deponikostnaden

$$200 * 700 + 32 * 20\,000 = 140\,000 + 640\,000 = 780\,000 \text{ SEK.}$$

Om det radioaktiva avfallet i stället skulle gå till SFL behövs uppgifter från studierna över Aktiva Tråget (AT) [4,15]. I [16] anges i Tabell 6.5 att 207 m³ uppskattas gå till SFL till en deponikostnad som uppgår till 100 000 SEK/m³, d v s totala deponikostnaden skulle uppgå till 20,7 MSEK.

I [4] anges emellertid att denna kostnad är 4,2 MSEK, d v s 20 000 SEK/m³ vilket är detsamma som anges för deponering i SFR enligt [3]. Skälet till det ändrade beloppet har uppgivits vara ett nytt avtal med SKB.

Skäl till revidering av kostnaden för slutförvaring i SFL kan också lätt spåras i SKB:s FUD-program från 2001 [17] där det framgår att iordningställandet av SFL senarelagts till 2040-talet. Detta innebär att avfallsfonden får längre tid på sig för förräntning, vilket sänker kostnaden mätt i dagens penningvärde, d v s nuvärdet.

Några kostnader för en teoretisk temporär lagring av långlivat avfall finns inte upptagna vare sig för AT [16] eller för FA [3], antagligen därför att de ingår i dem för andra

anläggningar. Inte heller i denna rapport kommer kostnader för mellanlagring att diskuteras vidare. Utan de här angivna beloppen skall snarare ses som approximativa värden som endast används för att illustrera beräkningsmetodologin.

Kalkylerna för avfallskostnader utgår bland annat från att 10 % av betongtankarnas insidor skall bilas till ett djup av 2 cm. Eftersom betongtankarna har en diameter på 3,8 meter och ett djup på 8,2 meter innebär detta att den totala volymen betong från tre tankar blir $0,65 \text{ m}^3$ räknat som kompakt densitet. Om betongkaxet får en porositet på 25 % blir den totala volymen $0,87 \text{ m}^3$.

Med en avfallskostnad för SFR som uppgår till 20 kSEK/ m^3 blir kostnaden för deponering av betongkaxet 21 kSEK.

Mot bakgrund av att bara 10 % av ytan bedömts behöva bilas samt att tätskiktet av glasfiber och epoxi är skadat på många ställen förefaller utgångspunkten vara att bilning skall göras på liknande sätt som i Aktiva Centrallaboratorier (ACL), d v s bilning sker manuellt och efterhand med successiva radiologiska mätningar [18].

5.1.3 Kalkyler

I en första ansats görs vissa alternativa antaganden för att testa hur dessa kan tänkas påverka den kostnad som framräknas.

Antagande om deponering i SFL

Enligt kalkylen från Westinghouse Atom AB [3] skulle allt radioaktivt avfall föras till SFR till en kostnad av 640 kSEK. Merkostnaden om detta skulle föras till SFL skulle enligt [17] bli $32 * (100\,000 - 20\,000) = 2,56 \text{ MSEK}$, och enligt [4] ingen alls eftersom Studsvik nu har avtal med SKB om deponering i SFL till samma kostnad som i SFR.

Dessa kostnader kan jämföras med den totala projektkostnaden på 19,2 MSEK. Även om den tidigare högre prisnivån används så stannar kostnadsökningen vid ca 13 % av den totala.

Antagande om ”robust bilning”

Eftersom manuell bilning och återkommande radiologiska mätningar är mindre bra ur arbetsmiljösynpunkt samt arbetstidskrävande kan jämförelse med fjärrstyrd bilning till visst djup enligt Referens [10] vara av intresse.

Antag att hela insidorna av bassängerna bilas till ett djup av 5 cm. Då uppkommer $21,6 \text{ m}^3$ radioaktivt avfall från denna operation i stället för tidigare uppskattade $0,86 \text{ m}^3$. Kostnaden för deponering i SFR stiger på motsvarande sätt från tidigare $0,86 * 20 = 17,2 \text{ kSEK}$ till $21,6 * 20 = 432 \text{ kSEK}$. Skillnaden svarar mot 2,2 % av totalkostnaden.

Att med stöd av den i [3] redovisade kalkylen uppskatta inbesparingen i kostnad i form av minskad arbetstid för bilning, strålskydd och radiologiska mätningar har inte gått att

göra med stöd av befintliga kostnadsposter eftersom någon post i vilken denna kostnad föreligger separat inte kunnat identifieras.

Om man i stället utgår från robust bilning i kombination med gamla priset för SFL blir skillnaden i stället ca 2,0 MSEK eller ca 10 % av totalkostnaden.

5.1.4 Slutsatser

Exemplen ovan illustrerar att det inte är helt enkelt, eller entydigt, att utnyttja den modell som använts för de tidigare beräkningarna till variationer med avseende på olika relevanta parametrar. Eftersom det bara går att identifiera beroenden för vissa av posterna skapas en förändring av totalkostnaden som kan bli alldeles för liten.

Situationen torde kunna bli betydligt bättre om skattningar av betydelsen av olika variationer skulle göras av samma arbetsgrupp som utfört den ursprungliga. Man skulle då ha en bättre uppfattning av vad som legat till grund för uppskattningarna av de individuella posterna från början och därmed också kunna inkorporera effekten även av sådant som utomstående inte skulle identifiera som relevant.

Dessa konstateranden har lett till en genomgång av strukturen och upplägget av metodiken i rapporten från Westinghouse Atom AB [3]. Posterna kan uppfattas som tillhörande följande två kategorier:

- En som kopplar till slag och volymer av utrustnings- och byggnadsdelar samt tillhörande tidsåtgång och kostnader för dekontaminering, demontering, avfallsbehandling och deponering
- En som kopplar till projektledning, projektadministration och upphandling

Postindelningsstrukturen i rapporten från Westinghouse Atom AB [3] kan tänkas vara mycket väl tillämplig för kärnkraftverk, d v s stora anläggningar med höga krav på koordination och projektledning samt stora volymer kringutrustning. Här är också delarna som kräver specialhantering, t ex reaktortanken, så stora och väl kända att internationella projekt utförs och data blir tillgängliga.

Nedläggning av mindre forskningsanläggningar som FA kräver rimligen en väsentligt mindre andel projektledning men kanske en större andel utredning och planering¹⁰. Detta skulle tala för att man borde ta fram separat metodik för forskningsanläggningar. Syftet med detta är yttersta att se till att tillräckliga medel fonderas av den generation som förbrukar kärnkraftselen så att efterkommande generationer har möjlighet att ta om hand restprodukterna på ett ändamålsenligt vis. Det gäller att minimera felen i skattningarna på så vis att inte för lite medel fonderas.

Huruvida sådan finns att tillgå och hur denna i så fall skulle användas har inte behandlats i denna studie. I stället fokuseras i det följande mot det sakunderlag som finns och den metodik som tillämpats, nämligen anpassning av kalkyler för kärnkraftverk till kärntekniska forskningsanläggningar.

¹⁰ Dessa effekter bör därmed till en viss del ta ut varandra.

Sådan metodik finns ju redan framtagen till följd av kärnkraftföretagens behov. Det kan därför ligga nära till hands att söka tillämpa denna trots att den inte är optimal.

Dock bör särarten och de särskilda behoven i samband med kalkylering för forskningsanläggningar särskilt fångas upp, se nästföljande avsnitt.

5.2 Kan beräkningsmetodiken förbättras?

Som framgår av föregående avsnitt kan en förbättrad metodik utformas utgående från det sakunderlag och den metodik som finns och som redan tillämpats. Emellertid bör förbättringar kunna göras i följande tre avseenden:

- Tydligare och bättre uppfångning av betydelsen av vissa relevanta parametrar, jfr avsnitt 5.1.1
- Kalibrering av betydelsen av dessa parametrar mot resultat från andra anläggningar i vilka liknande projekt redan genomförts, d v s en jämförande analys
- En generell skalning av den totala kostnaden mot totala kostnader för liknande anläggningar

Motiven för detta är som följer. Huvuddelen av kostnaderna för rivning av en anläggning som FA hänger samman med att den är kontaminerad med radioaktivitet. Dessa kostnader varierar kraftigt med typ av anläggning, utformning, graden av kontaminering samt tilltänkt metodik. Därför behövs detaljerad kunskap om den individuella anläggningen för att någon mera precis kostnadskalkylering skall kunna skapas. Detta beror på att varje kärnteknisk anläggning har en unik historia som kommer till uttryck i grad och typ av kontaminering.

I den tidigare rapporten [4] har betydelsen av att kalkyler kan göras i tidiga skeden framhållits samt att lämpliga åtgärder vidtas för att inte stora okända systematiska fel skall uppstå. I själva verket kan ju ett resultat av en kalkyl knappast användas med mindre än att osäkerheten har uppskattats.

Erfarenheten inom området pekar entydigt på de systematiska fel som uppkommer vid ett tidigt och ensidigt användande av summeringsmetoden samt på det stora behovet av att i tidiga skeden göra jämförelser med liknande anläggningar. Sådana inkalibreringar behöver göras i såväl liten som stor skala.

I den lilla skalan handlar det om att skaffa sig utfallsinformation om betydelsen av bl a de parametrar som omnämns i Avsnitt 5.1.1. Med sådan kunskap bör det vara möjligt att vid en kostnadskalkylering beakta detta även om postindelningen är långt ifrån optimal för ändamålet. Dock bör observeras att resultatet i så fall kan bli ganska beroende av vilken expert som gör bedömningen. Därför är det viktigt om jämförande studier skall utföras att dessa verkligen utförts på ett likartat sätt.

I den stora skalan handlar det om att relatera den totala kostnaden för anläggningen i fråga till liknande projekt som redan är genomförda. Det enklaste, och mest primitiva, sättet att göra detta på är att använda en generell skalfaktor.

Detta görs på så sätt att kostnaden för nedläggning kalkyleras på samma sätt för båda anläggningarna. Detta innefattar att underlaget skall ligga på samma utvecklingsnivå. Dock skall lokala priser användas. Skalning sker därefter genom multiplikation med en skalfaktor som är lika med den verkliga kostnaden dividerat med den kalkylerade (d v s för jämförelseanläggningen).

En sådan skalning tar inte hänsyn till skillnader i egenart mellan anläggningarna. En bättre skalning kan därför sannolikt erhållas med hjälp av en viktning av de olika posterna efter hur stor betydelse de kan bedömas ha för skillnaden mellan utfall och kalkyl.

Matematiskt kan detta uttryckas på följande sätt.

Låt i enlighet med [3] den kalkylerade kostnaden för en anläggning ges av följande ekvation:

$$K^0 = \sum_i p_i \quad (1)$$

Där

K^0 = den totala kalkylerade kostnaden

p = kostnadspost, och

i = index för kostnadspost

En anpassning till ett verkligt utfallsvärde K^v för kostnaden kan nu göras genom användande av viktningsfaktorer w_i och en skalfaktor s enligt följande ekvation:

$$K^v - K^0 = s \sum_i w_i p_i \quad (2)$$

Viktningsfaktorerna fastställs genom bedömning av vilka poster som bör ha liten, måttlig, stor eller mycket stor del i ”förklaringen” till skillnaden mellan kalkylerat värde och utfallsvärde. Exempelvis kan en viktningsfaktor ges något av värdena 1, 2, 4 eller 8. Skalfaktorn s kan därefter bestämmas genom beräkning av sambandet

$$s = (K^v - K^0) / \sum_i w_i p_i \quad (3)$$

För en anläggning för vilken en förfinad kostnadskalkyl skall göras beräknas först kostnadsposter för anläggningen i fråga samt total kostnad enligt ekvation (1).

Därefter kan ett justerat värde framräknas enligt följande ekvation:

$$K^{justerat} = \sum_i (1 + s w_i) p_i \quad (4)$$

där s och w_i härrör från en liknande jämförelseanläggning och p_i från den anläggning för vilken den förfinade kalkylen skall göras.

Användande av ekvation (4) innebär en förbättring i förhållande till en enkel skalning genom att skillnader i uppskattad kostnadsstruktur får genomslag i skalningen.

Användande av ekvation (4) kan sägas utgöra en kalibrering med vars hjälp det systematiska fel som är förknippat med tidiga kalkyler elimineras och övergår till ett visst men mindre tillfälligt fel.

Liknande skalningar av effekter kan göras även för delar av kalkyler samt för att få in realistiska ändringar av kalkylresultatet med bl.a. de parametrar som redovisas i Avsnitt 5.1.1.

5.3 Om utförande av kalkyler

I Referens [4] hävdas att en kostnads kalkyl för nedläggning av en kärnteknisk forskningsanläggning bör kunna genomföras till en konfidensnivå på 80 %. Denna bedömning kvarstår även i denna rapport. Som redan påpekats i [4] behöver emellertid vissa förutsättningar vara uppfyllda.

Det bör finnas resultat från en radiologisk kartering, som kan vara heltäckande i form av en totalanalys eller partiell i form av stickprov, så att svårighetsgraden hos de olika dekontaminerings- och rivningsinsatserna kan bestämmas. För ändamålet att utarbeta en kostnads kalkyl är det tillräckligt att en partiell kartering¹¹ görs, vilket med fördel kan göras genom ett stickprovsförfarande.

Det bör också finnas resultat av en jämförande teknikstudie i vilken även kostnadsanalyser ingår. Först då kan beräkningar göras över ekonomiska konsekvenser av olika tänkbara val.

Resultaten från dessa undersökningar bör sedan ligga till grund för jämförelser med andra objekt för vilka verkliga kostnader finns tillgängliga. Som närmare redovisas i avsnitt 5.2 kan sådana data användas – i såväl stor som liten skala – för att justera de kalkylerade kostnaderna, inklusive totalkostnaden, till nivåer med låga systematiska fel.

¹¹ Det bör observeras att enligt denna rapport styrs ambitionsnivån för de tidiga insatserna för radiologisk kartering och teknikval av behoven för kostnads kalkylerna. Detta innebär att sådan radiologisk kartering och teknisk planering som erfordras enbart för genomförande av rivningen inte behöver utföras. Exakt vad detta bör innebära i det enskilda fallet ingår lämpligen i planeringen.

6 Diskussion och avslutande reflektion

Utgångspunkten för de krav som ställs på kostnadskalkyler för nedläggning av anläggningar i Studsvik är det svenska systemet för finansiering. Kalkylerna skall vara så precisa att

- Miljömässigt goda lösningar kan genomföras och finansieras
- Debitering görs bara av medel som verkligen behövs för ändamålet

En starkt försvårande omständighet är att möjligheter till anpassning efterhand i stort sett saknas. Detta beror på att medlen i huvudsak skall samlas in före anläggningarna läggs ner.

I en tidigare studie över Aktiva Tråget i Studsvik (AT) [4] har bl a en generell genomgång gjorts av vilka aspekter som är viktigast att arbeta med för att en hög precision skall kunna erhållas redan i tidiga skeden av kalkylering. Dessa är i sammandrag som följer:

- Kalkyler i tidigare skeden bör ”kalibreras” mot utfall i jämförbara anläggningar. Ett ensidigt användande av summeringsmetoden ger systematiskt för låga värden.
- Eftersom huvuddelen av kostnaderna hänger samman med kontamination med radionuklider behöver radiologiska karteringar göras för att svårighetsgraden av arbetet skall kunna bedömas.
- Den teknik som används för nedläggningen bör vara anpassad till de förutsättningar som ges av anläggningsutformningen samt kontaminationen. Därför bör en teknikplanering göras inklusive teknikval innan kostnaderna närmare kan överblickas.
- Av erfarenhet vet man att oförutsedda omständigheter visar sig under arbetets gång i nedläggningsprojekt. Därför behöver man söka identifiera potentiella källor till problem samt ha en god beredskap för överraskningar.

Utgångspunkten för denna studie är att söka vidareutveckla den tidigare (och ovan) anvisade strategin till att ge exempel på metodik för kalkyler. För detta syfte har genomgångar gjorts av kostnadskalkyler för Mellanförvaret för använt bränsle (FA) [3] samt av material som inhämtats från Studsvik. Vidare har en informationssökning gjorts kring liknande projekt och inhämtat material genomgått.

Iakttagelserna från Studsvik inkluderar bland annat följande:

- Insidorna av bassängerna är belagda med glasfibervävförstärkt epoxilack vilken är skadad på många ställen. Detta innebär att bassängvattnet sannolikt varit i direkt kontakt med betong under lång tid.
- Bassängerna är gjutna direkt på berget med dränageledningar runtomkring med möjlighet till provtagning av eventuellt förekommande läckage till mark. Underhållsstatus för denna anläggningsdel är okänd.
- Den radiologiska karteringen är av otillräcklig omfattning för att kunna utgöra underlag för någon kalkyl med den precision som erfordras.

- Någon särskild redovisning av genomgång av teknik samt teknikval har inte påträffats.
- Någon angivelse av osäkerheten i de kostnadskalkyler som gjorts har inte påträffats.

Specifika erfarenheter av intresse från liknande anläggningar inkluderar följande:

- Flera författare betonar vikten av tidig radiologisk kartering
- Erfarenheter från nedläggning av anläggningar med bränslebassänger visar att ett nyckelmoment till de framgångar som gjorts är att ha en lämplig teknikstrategi, inklusive välunderbyggt val av metodik samt säkerställande av tillgång till bredast möjliga expertis.
- Fjärrstyrd hyvling av stenmaterial har med stor framgång tillämpats för att avlägsna ytskikt i bassänger med betong i väggar och botten. Hyvlingen gav upphov till en slät yta som var lämplig för mätningar av ytaktivitet.
- Fjärrstyrd bilning kan numera utföras med små och flexibla maskiner till hög precision. Sådan metodik innebär fördelar i form av bättre arbetsmiljö och reducerad dos men större avfallsvolymer samt högre kostnader om behovet av bilning är litet.
- Vattenjetteknik har också tillämpats för dekontaminering av betongväggar i bränslebassänger. Metodiken kräver minimalt med föranstaltningar i form av till exempel byggnadsställningar och ger inte upphov till någon luftburen kontamination. Den uppges vara mycket kostnadseffektiv.
- I ett fall upptäcktes i samband med nedläggningen av en anläggning för lagring av använt bränsle att det varit läckage av bassängvatten till omgivande mark. Sådant läckage är potentiellt möjligt i alla anläggningar som saknar dedikerat läckvattensystem samt läckagelarm.
- En referens tar särskilt upp betydelsen av en hög beredskap inför oväntade upptäckter samt en god laganda
- I en bok redovisas att osäkerheter kan hanteras genom att man lägger in osäkerhetskostnader (inklusive osäkerhetskvaniteter). Det påpekas att eftersom osäkerheten varierar för olika kostnadslag bör påslagets storlek anpassas med hänsyn till kunskapsnivån inom varje enskilt område.

Som framgår av ovanstående ger genomgången fullt stöd för de slutsatser som dragits i den tidigare studien [4] och som också refererats ovan.

Punkterna ovan ger också stöd inför utformningen av förfinad metodik för kalkylering i tidiga skeden genom att ange kritiska aspekter och parametrar som särskilt bör beaktas.

En sådan ansats har gjorts för att åskådliggöra hur ett rent teoretiskt antagande om deponering i *Slutförvar för långlivat avfall* (SFL) i stället för i *Slutförvar för reaktoravfall* (SFR), samt för antagandet om ”robust bilning”, d v s bilning med fjärrstyrd maskin i stället för med handhållen utrustning, kan påverka behoven för fondering av medel.

Resultatet av ansatsen som följer:

- Metodiken är inte särskilt utformad för att återge resultat av variationer i radiologiska förutsättningar och antaganden om olika tekniker i försöksanläggningar. En ökad känslighet kan fås genom en genomgång av uppskattningarna av de olika posterna baserat på ett fylligare underlag kring radiologiska förutsättningar och teknikstrategi.
- Resultaten (i vart fall med avseende på variationer i kontamination och teknik) är starkt beroende av referensramarna för dem som gör uppskattningarna. Därför bör samma personer göra sådana olika kostnadsuppskattningar som skall jämföras.
- Den metodik som använts är utformad för kalkyler avseende kärnkraftverk. Betydligt högre precision kan troligen skapas med metodik som är särskilt framtagen för att svara mot behoven i samband med kalkyler för forskningsanläggningar.

Kalkyler utförda med beaktande av ovanstående skulle emellertid fortfarande kunna vara behäftade med systematiska fel. Dessa bör elimineras med hjälp av jämförelser med liknande anläggningar för vilka nedläggningskostnaden är känd. Kalkylerna för aktuell anläggning och för jämförelseanläggning bör ske med stöd av underlag på samma utvecklingsnivå och med samma detaljeringsgrad. Dock bör lokala priser med mera användas.

Den enklaste metoden för ”kalibrering” består i att kalkylerad kostnad för den aktuella anläggningen multipliceras med kvoten mellan utfall och kalkyl för jämförelseanläggningen.

Ett bättre värde erhålls dock sannolikt om viktningsfaktorer används. Dessa skall vara skattade utgående från bedömningar av respektive posts känslighet med avseende på skillnaden mellan utfall och kalkylerat värde. Med stöd av viktningsfaktorerna kan en allmän skalfaktor beräknas utgående från uppgifter för jämförelseanläggningen. Skalfaktor och viktningsfaktorer kan sedan användas för att erhålla ett justerat kalkylerat värde för den aktuella anläggningen.

Om den aktuella anläggningen har sådana egenskaper att en stor uppräkningsfaktor bör ske kommer detta sannolikt också till stånd genom att posterna i summeringen företrädesvis hänger samman med viktningsfaktorer med höga värden.

En kostnads kalkyl baserad på en metodik som är utformad för att passa forskningsanläggningar, en ordentlig radiologisk kartering, ett rimligt teknikunderlag samt en ”kalibrering” enligt ovan mot ett eller flera verkliga utfall bör kunna svara mot nivå två i den uppräkningsfaktor som redovisas i Referens [19]. Denna svarar minst mot kunskap om de huvudsakliga utrustningsdelarna och deras priser för en ny kemisk-teknisk anläggning, vilket enligt [19] innebär att det totala felet sannolikt är mindre än $\pm 30\%$.

Mot denna bakgrund bedöms det vara fullt rimligt att kunna uppnå en konfidensnivå på 80 % med den ovan angivna metodiken, även för kalkyler i tidiga skeden. Bedömningen grundar sig på kända felmarginaler från projektering av nya anläggningar [19] i

kombination med möjlig reducering av de viktigaste källorna till systematiska fel i kostnadskalkyler för kärntekniska forskningsanläggningar.

Det har framförts redan i den tidigare rapporten [4] att denna nivå bedöms rimlig att uppnå. Detta får således stöd även i den mera detaljerade utredningen i denna rapport.

De resultat som presenterats i denna forskningsrapport skall ses som bidrag till kunskap om hur kalkyleringen av framtida kostnaderna för omhändertagande av restprodukter kan utvecklas så att robusta skattningar även kan skapas i tidiga skeden. Denna uppgift är angelägen eftersom huvuddelen av restprodukterna först tas om hand efter det att verksamheten är permanent avställd vilket kräver att de medel som behövs i framtiden redan måste fonderas i nuet.

7 Förslag till fortsatt forskning

Ovanstående kan sägas vara exempel på hur osäkerheter behandlas i normala eller så kallade deterministiska kostnadskalkyler.

Det finns dock en mängd alternativa metoder för att skatta händelser och kostnader som bygger på subjektiva kollektiva skattningar av sannolikheten för att en viss händelse skall inträffa eller en kostnad skall innehållas. Denna typ av metoder brukar betecknas icke-deterministiska eller probabilistiska. Motsvarande kalkyler och beräkningar bygger på att en oberoende och objektiv analysgrupp under ledning av en moderator utgår från ett antaget referensfall. De beräkningar som finns i referensfallet analyseras och behandlas av analysgruppen som genom en kollektiv process bestämmer olika sannolikheter för olika avvikelser från referensfallet. En konkret metod för att analysera kostnader för dekontaminering och avveckling av en kärnteknisk anläggning kan då vara att använda den s.k. successiva principen [21].

Ett åskådningsexempel på hur den successiva metoden har använts inom beräkningar av framtida kostnader inom ett närbesläktat område återfinns i rapporten Metodutveckling avseende kostnadskalkylering för programmet för avveckling och rivning [22].

I tidigare avsnitt av rapporten framgår att den hittills tillämpade tekniken för kostnadskalkyler är i huvudsak densamma som tillämpas för kärnkraftverk. Mot bakgrund av det höga kravet på precision samtidigt som kostnadsstrukturerna är väsentligen annorlunda för forskningsanläggningar är det av intresse att pröva och söka finna mera anpassade och kanske också annorlunda lösningar, inklusive metodik för återföring av empiriska data i de olika modellerna.

I de två forskningsuppgifter som utförts har ett antal resultat och slutsatser redovisats. Särskilt mot bakgrund av behoven i tillämpningarna är det angeläget att de möjligheter till kvalitetssäkring som kan finnas också tas till vara. Sådan granskning ingår i samband med presentation av arbeten vid något internationellt specialistmöte. Då kan man också få idéer och kontakter inför det fortsatta arbetet.

Väsentliga effektiviseringar och förbättringar av arbetet med kostnadskalkyler för kärntekniska forskningsanläggningar kan sannolikt uppnås om flera intressenter samverkar. Detta kan exempelvis ske inom ramen för ett nordiskt samarbete inom ramen för NKS' verksamhet.

I denna rapport liksom i den föregående har behoven av radiologisk kartläggning samt teknisk planering betonats. Därför skulle det vara värdefullt att utreda och kvantitativt beskriva vad skillnaden mellan rudimentära insatser och insatser på rimlig nivå gör för kostnadskalkylerna. Detta kan omfatta såväl normalfall som oväntade förhållanden.

8 Referenser

- 1 *Kärnkraftens historia*. Information hämtad från Statens Kärnkraftinspektions hemsida.
http://www.ski.se/dynamaster/file_archive/011017/8911207943/karnkraftenshistoria.pdf.
- 2 **Larsson K E.** *Vetenskap i kärnkraftens skugga*. Distribution: Kungliga Tekniska Högskolan, Informationsavdelningen, 100 44 Stockholm.
- 3 **Leander H-L.** *SVAFO – Rivningsstudier för Studsviksanläggningar. Mellanförvaret för använt bränsle (FA)*. Westinghouse Atom AB SEP 01-315, rev 0, april 2002.
- 4 **Sjöblom R och Lindskog S.** *An applied study of the storage for old intermediate level waste at the Studsvik site*. SKI Report 2004:11, February 2004.
- 5 **Varley G.** *Ågesta-BR3 Decommissioning Cost Comparison and Benchmarking Analysis*. SKI Report 2003:11, November 2002.
- 6 Enligt uppgift från Robert Berg, AB Svafo.
- 7 **Holmér, A. och Jonsson, T.** (1987) *Överföring av Ågestabränsle från Studsvik till CLAB*. Studsvik arbetsrapport NF(P) – 87/02.
- 8 Studsvik Nuclear AB, *Radiologiska förhållanden i FA*, mejl från Rose-Marie Carlson till Robert Berg, 010829.
- 9 **Bartholomew, P.** *The decommissioning of the UKAEA's SGHWR ponds*, Nuclear Engineer (Jan-Feb 1997), vol.38, nr.1, s. 24, UK.
- 10 **Williams, D M.** *Decommissioning of the nuclear fuel storage ponds at Berkeley Power Station*. Nuclear Decom 2001, Ensuring Safe, Secure, and Successful Decommissioning. IMechE Conference Transactions 2001-8. Professional Engineering Publishing, 2001.
- 11 **Borgström H.** *Stenhandboken*. Institutionen för Materialhantering med Formlära vid Kungliga Tekniska Högskolan och Steninformation, Stockholm 1968.
- 12 **Editors Gerry White M, Norman N and Thomas R.** *Decommissioning, Decontamination, and Environmental Restoration at Contaminated Nuclear Sites (DDER-'94)*, Vol. 1, American Nuclear Society, 1995.
- 13 **Pung, J.I.** *A fuel-free pool at Big Rock Point*, Radwaste Solutions (May-Jun 2003) vol.10, nr.3, s.35, USA.
- 14 **Lauridsen, K.** *Assessment of the costs of decommissioning the nuclear facilities at Risø national laboratory*. Nuclear Decom 2001, Ensuring Safe, Secure, and Successful Decommissioning. IMechE Conference Transactions 2001-8. Professional Engineering Publishing, 2001.
- 15 *Decommissioning Nuclear Power Plants, Policies Strategies and Costs*. OECD 2003, s.72.
- 16 **Lönnerberg B.** *Studsvik, Lagret för fast medelaktivt avfall (AT), Rivningsstudie, Kostnadsberäkning*. Westinghouse Atom AB, 2000-07-13.

- 17 *FUD-program 2001 Program för forskning, utveckling och demonstration av metoder för hantering och slutförvaring av kärnavfall*. Svensk Kärnbränslehantering AB, September 2001.
- 18 *Studsvik News* nr 1 2003. http://www.studsvik.se/files/news_nr_1_2003_en.pdf
- 19 **Peters M S and Timmerhaus K D**, *Plant design and economics for chemical engineers*, 4th edition. McGraw-Hill, Inc., New York 1991. ISBN 0-07-049613-7.
- 20 **Bayliss, C. and Langley, K.** *Nuclear Decommissioning, Waste Management, and Environmental Site Remediation*, Butterworth-Heinemann, Burlington, 2004, sid. 153-159.
- 21 **Steen Lichtenberg**, *Proactive Management of Uncertainty using the Successive Principle - a practical way to manage opportunities and risks*, Copenhagen 2000
- 22 **Lindskog et al.** Metodutveckling avseende kostnads kalkylering för programmet för avveckling och rivning, Rapport över analys i maj - augusti 2003 av framtida myndighetskostnader. SKI Rapport 2003:31, september 2003. SOU 2004:125,
- 23 SOU 2004:125, Slutbetänkande av finansieringsutredningen, Betalningsansvaret för kärnavfallet, december 2004.
- 24 European Commission, International Atomic Energy Agency & OECD/Nuclear Energy Agency, A Proposed Standard List of Items for Costing Purposes in the Decommissioning of Nuclear Installations, Interim Technical Document, OECD 1999.
25. Kristofova, Kristina et.al, A Model Study of Costs Estimates of Decontamination and Decommissioning with an Emphasis to Derive Cost Functions for Alpha-Contaminated Material Using OMEGA Code, SKI Report 2005:38, december 2004 [25]

Bilaga

EXCERPTS FROM THE ARTICLE

**OPERATING EXPERIENCE WITH
THE ÅGESTA NUCLEAR POWER PLANT**

K. E. SANDSTEDT
Swedish State Power Board, Stockholm

H. MOGARD
AB Atomenergi, Studsvik, Nyköping, Sweden

PROCEEDINGS OF THE FOURTH INTERNATIONAL CONFERENCE ON THE
PEACEFUL USES OF ATOMIC ENERGY JOINTLY SPONSOR ED BY THE
UNITED NATIONS AND THE INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY
AND HELD IN GENEVA. 6 - 16 SEPTEMBER 1971

OPERATING EXPERIENCE WITH THE ÅGESTA NUCLEAR POWER PLANT

K. E. SANDSTEDT

Swedish State Power Board, Stockholm

H. MOGARD

AB Atomenergi, Studsvik, Nyköping, Sweden

Abstract

OPERATING EXPERIENCE WITH THE ÅGESTA NUCLEAR POWER PLANT. Ågesta is a pressure vessel PHWR used for production of electricity (12 MW) and district heat (68 MW). The reactor achieved criticality in July 1963. Power operation began in March 1964. The reactor has been in operation for 32 880 h up to and including December 1970. The availability figures (not accounting for the routine summer outage) have been very high for four of the seven years (average 94%). A low value in the 1964-65 season was due to repair of a heavy-water leak through inspection pipes in the reactor vessel lid and in 1968 due to extensive damage of the first fuel charge as a result of fretting corrosion. This was 'probably' initiated by unscheduled power cycling during a lengthy shut-off period of the cooling tower. An extensive clean-up operation was necessary before the reactor was recommissioned. An interesting fault in 1969 was failure of a non-return valve causing a flood, so that cooling tower water reaching a relay cubicle triggered some undesirable pump and motor valve operations. Heavy-water losses have been extremely low - 1100 kg total noncollectable in seven years, averaging about 0.25% of the inventory per year. The total re-collected amount was 2040 kg. Acceptance of the reactor by the public has been good; and in fact there are complaints about smoke during reactor shutdown periods, when the load is taken over by the standby oil-fired boiler. The paper gives a detailed account of the operating history with particular accent on the analysis of the causes of the various forced outages and the reason for and methods of dealing with the above-mentioned fuel damage.

...

1. INTRODUCTION

The Ågesta Nuclear Power Plant is the world's first nuclear district- heating plant. It is also the starting point for the program of water reactors designed and built in Sweden. As such, it has given essential experience for the construction of subsequent stations and for Swedish industry's capability to offer and build nuclear reactors and components. It has also helped to train operating staff for the succeeding stations.

One of its most important functions has been, and still is, testing of water reactor fuel. Ågesta uses a heavy-water cooled and moderated reactor of the pressure-vessel pressurized-water type with a thermal rating which originally was 65 and now is 80

MW. An electrical output of 12 MW is obtained from a backpressure turbine, the remaining 68 MW provide heat for the district-heating scheme at Farsta, a suburb of Stockholm. Figure 1 shows a simplified reactor scheme.

The basic designs were described at the 1958 Geneva Conference [1] at the time when the designs were frozen. Criticality and first power operation experience were reported at the time of the 1964 Geneva Conference [2, 3]. Since then, experience has been marked by high availability, with the exception of two outages of several months' duration, and by extremely low out leakage of heavy water - an average of 0,25% of the inventory annually during the seven-year operation history. In leakage of light water has been negligible. Part of this record has been related elsewhere [4-7].

Though this overall record is thus very positive, a total of 39 forced outages have occurred during the seven-year operating period covered by the paper, and these have given instructive experience to the equipment specialist and nuclear power station operator. The accent in this paper is thus on the faults which have occurred and lessons which can be derived from this despite the satisfactory overall record. In addition, the experience gained from fuel testing is briefly reviewed.

...

3. FUEL PERFORMANCE INCIDENTS

From the start of power operation in March 1964 all the 140 fuel assemblies of the first core operated successfully for several years with no indication whatsoever of improper performance. The fuel heat rating was low, only 310 W/cm (max, lin.). The fuel assemblies consisted of segmented rods in bundles enclosed in round shroud tubes acting as water coolant channels. Flexible plate spacers, positioned at the segment joints, centred the bundle in the channel by protruding knobs (Fig. 3).

However, following a period of three months of unscheduled power cycling with high repetition rate, made necessary by outages of the cooling tower, a release of fission gases was detected for the first time on 3 January 1968 from one of the fuel assemblies in the central zone of the core (Fig. 4). Six days later another fuel assembly of the same zone failed.

In the meantime, the temperature rise of the coolant water over the first failed assembly increased some 8 degC, indicating that the water flow through the assembly had been disturbed. The activity of the bulk reactor water increased only slowly while the activity of the coolant water was highest in the central part of the core. In mid-February 1968, a third fuel assembly failed, followed by a rise of the coolant temperature similar to that for the first failed assembly. In view of this failure sequence within six weeks, the reactor power was reduced from 65 to 50 MW. However, as the bulk water radioactivity tended to increase, the reactor was shut down on 10 March 1968, for inspection of the core. Upon visual inspection of one of the failed fuel assemblies outside the reactor in a provisional inspection rig it was observed that the assembly was severely damaged: the bottom cone and part of the shroud were missing (Fig. 5). Some other assemblies of the central zone were also found defective. In particular, fretting wear defects were detected

at the lower part of the shroud tubes, exactly delineating the faces (Fig. 6) on the protruding knobs of the spacer plates mentioned earlier (Fig. 3). On some assemblies extensive shroud tube cracking was also seen (Fig. 6). It was obvious that the core was severely damaged and that all assemblies had to be unloaded for inspection.

A storage tank for irradiated fuel assemblies was used for inspection with the aid of installed lamps, mirrors, a TV camera, and a telescope. During the subsequent examination in the spring of 1968, it was established that at least 15 assemblies, all in the inner zone, were damaged by defects, generally spacer-knob fretting penetrations, visible from the outside of the assembly. The burnup attained ranged from 4000 to 5500 MWd/tU. Two of the three assemblies that were originally found to be leaking, and were suspected to be more damaged than the others, were left in the reactor until the end of the main unloading operation in order to make it possible to inspect these assemblies before handling by means of a submarine periscope. Upon hoisting the damaged assemblies by the fuelling machine, some fuel pin segments and shroud tube pieces were seen to fall.

After the unloading operation, several parts of the assemblies remained in the reactor vessel (Fig. 7): three broken fuel pins; a bottom cone with a full-length shroud tube standing in its original position; a 2,5-metre-long broken shroud robe piece leaning towards the thermal shield; two bottom cones with a part of the shroud tube; and pieces of shroud tubes. Furthermore, there were a large number of minor Zircaloy pieces left on the bottom.

An extensive clean-up operation had to be performed before the reactor could be put into operation again. For this purpose, a specially designed piece of equipment, inserted through the standpipes, was used. The highly active fuel pins and other pieces were handled with a master/slave manipulator and placed in a container which had the form of an empty shroud tube, which could be handled by the fuelling machine in the ordinary way. Larger shroud tube parts were hoisted as such into the reactor hall and placed in a special storage tank. No close handling of the highly radioactive parts became necessary and the radiation level at the operator's site was well within the permitted limits. Small scrap pieces were sucked up by a water pump working on the vacuum-cleaner principle.

TV inspection of the inside of the reactor vessel revealed that the clean-up operation had been successful; no visible parts were left. However, a calculation revealed that about 1 kg of the fuel still remained in the reactor primary system, out of reach for a clean-up operation. Probably most of the missing fuel had settled inside the water distribute in the bottom of the reactor vessel, where the flow speed is low.

The possible cause of the fuel failure has been discussed in some detail elsewhere, based, among other things, on hot-cell examinations at Studsvik [8]. The conclusion was that a fretting or wearing process had somehow been initiated at the contact points between spacer grids and shroud tube, later causing the fuel bundle to become loose in its enclosing shroud tube. Normally, the shroud tube is secured by a spring action onto the three protruding knots (Fig. 3) of the plate spacer grid. Once loose in the shroud, the bundle exerted further damage. Examination of an undamaged fuel assembly from the

middle zone of the core disclosed clear signs of fretting in its initial phase at the spacer shroud-tube contact points, supporting this view of the cause of the damage.

The distribution of defective fuel assemblies over the core clearly indicated a dependance on flow rate and burnup levels, all failed assemblies being located in the central zone. Vibration amplitudes and relaxation of the spring forces of the clamping Zircaloy shroud are here at a maximum. A re-examination of the design calculations confirmed, however, that during normal operation of a fresh fuel assembly, no slip at the spacer/shroud contact points should occur; the shear forces introduced by vibration were too small to exceed the static friction forces. Relaxation of the spring forces on the other hand should proceed to about 80% or more to affect this situation adversely. However, reliable data for making a detailed, exact evaluation of the role of relaxation is not available. Relaxation as a primary cause of the fretting should in any event call for a relatively wide spacing in time of the fuel-failure incidents and is thus in disagreement with the closely-grouped failure sequence obtained (Fig.4). The power cycling operation (Fig. 4), however, which involved two cycles in 24 h from full power down to about 50% load and persisted for a couple of months, involved differential thermal expansion between bundle and shroud of sufficient magnitude to cause sliding repeatedly at the spacer/shroud contact points. The thermal cycling will not only introduce wearing in this way hut also frequently shift the friction state from a static to a dynamic one, thereby promoting a fretting process which is sustained by the normal vibration forces only. The first appearance of ^{95}Zr in the coolant water after some weeks of power cycling operation (Fig. 4) strongly supports this view of the failure mechanism. Thus, this occurrence of ^{95}Zr indicates the time of onset of the damaging fretting process. Of course, the relaxation encountered facilitated this onset.

The fuel assemblies now in operation are of a somewhat modified design and are less likely to undergo fretting of a similar type. A wire grid type of spacers is now used. Reactor operation was resumed in October 1968 with 84 fuel assemblies in the core. No difficulties were encountered in attaining 65 MW and later 80 MW with the new core. It is remarkable that no measurable release of radioactivity due to the fuel failures has since appeared during the continued operation.

Until mid-April 1971 one failure had been experienced with the second core assemblies, that was in May 1970 when a minor fission-gas release was detected from a centrally situated assembly with a burnup of 5365 MWd/tU. Reactor operation was maintained at about 50 MW until the planned summer shutdown some weeks later, when the assembly was removed from the core for a post-irradiation examination. The cause of the failure can be attributed to a defective wire spacer grid and is probably not of a systematic nature.

...

www.ski.se

STATENS KÄRNKRAFTINSPEKTION
Swedish Nuclear Power Inspectorate

POST/POSTAL ADDRESS SE-106 58 Stockholm

BESÖK/OFFICE Klarabergsviadukten 90

TELEFON/TELEPHONE +46 (0)8 698 84 00

TELEFAX +46 (0)8 661 90 86

E-POST/E-MAIL ski@ski.se

WEBBPLATS/WEB SITE www.ski.se