

# Kärnkraftsavveckling i Västeuropa

Karin Lundqvist

December 1999

# Kärnkraftsavveckling i Västeuropa

Karin Lundqvist

Castor arbetslivskonsulter AB, Nybrogatan 15, 114 39 Stockholm

December 1999

SKI Projektnummer 98129

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

# Innehållsförteckning

SAMMANFATTNING.....	3
SUMMARY.....	7
1. BAKGRUND OCH SYFTE.....	11
2. KÄRNKRAFTENS UTBREDNING – EN KORT ÖVERSIKT.....	13
3. ORIENTERING OM REAKTORTYPER.....	14
4. AVVECKLINGSSTRATEGIER.....	16
5. KÄRNKRAFTSAVVECKLING I VÄSTEUROPA.....	18
5.1 STORBRITANNIEN .....	18
5.2 TYSKLAND.....	26
5.3 FRANKRIKE .....	31
5.4 VÄSTEUROPA I ÖVRIGT.....	36
6. AVVECKLINGSLÄGET– EN SAMMANFATTNING .....	39
6.1 ANLÄGGNINGAR UNDER AVVECKLING .....	39
6.2 AVVECKLINGSSTRATEGIER .....	40
6.3 REGULATIVA ASPEKTER .....	41
6.4. MANAGEMENTSTRATEGIER.....	42
7. INTERNATIONELL SAMVERKAN .....	44
7.1 IAEA.....	44
7.2 OECD/NEA.....	45
7.3 EU.....	45
8. NÅGRA LÄRDOMAR .....	47
LITTERATURFÖRTECKNING .....	52



# Sammanfattning

## Bakgrund

I föreliggande rapport, som är ett led i SKIs förberedelser inför kommande svenska kärnkraftsavvecklingar, ges en översikt av avvecklingsläget i Västeuropa och de problem som är förbundna med nedläggning av kärnkraftverk. Ursprungstanken var att helt fokusera på avvecklingens organisatoriska och personalmässiga aspekter, men sådana publikationer saknades så gott som helt. Litteratursökningarna visade tydligt att kärnkraftsavveckling är ett omfattande och tekniskt specialiserat fält. Mot den bakgrunden vidgade jag profilen till program och strategier för kärnkraftsavveckling samt allmänna erfarenheter från avvecklingsprojekt. Jag begränsade mig till erfarenheter från Västeuropa, som har en hög koncentration av kärnkraftsreaktorer. (En rapport om amerikanska erfarenheter har redan tidigare publicerats av SKI.)

## Genomförande

Rapporten grundas i huvudsak på en genomgång av artiklar och rapporter, varav många hämtats från INIS (International Information System of the International Atomic Energy Agency), som är den mest fullständiga databasen rörande fredlig användning av kärnkraft. Kärnkraftsavveckling är ingen ny företeelse. Redan på 60-talet började man avveckla forsknings- och pilotreaktorer. Hittills har sammanlagt över 70 reaktorer stängts av världen över. Det finns ett världsomspännande nätverk som träffas regelbundet på konferenser för att behandla främst tekniska aspekter av kärnkraftsavveckling. Avfallshantering är utan tvekan det största området.

## Resultat

### **Avvecklingsvägen kommer efter millennieskiftet**

Efter millennieskiftet kan vi vänta en avvecklingsvåg i samband med att alltfler av världens kärnkraftsreaktorer når slutet av sin livslängd. Många reaktorer läggs dessutom ner i förtid, främst av ekonomiska skäl. Stängning och avveckling är emellertid inte samma sak. Det kan dröja innan ägarna bestämmer sig för att avveckla en anläggning. Avvecklingsprocessen tar

olika lång tid beroende på valet av strategi. Väljs strategin omedelbar avveckling kan marken vara återställd efter tio år. Den vanligaste strategin är dock "safe enclosure", dvs reaktorn och dess omgivande delar kapslas in i betong och läggs i vila i flera decennier, innan den slutligen rivs. I exempelvis Storbritannien kan det ta uppemot 140 år innan en anläggning slutgiltigt rivs. Viktiga anledningar till att man väntar med rivningen är att det saknas förvaringsplatser för kärnavfallet samt att strålningen förväntas avklinga med tiden.

## **Avvecklingsläget i Västeuropa**

Av Europas 218 verksamma kommersiella reaktorer finns majoriteten, 151 st i Västeuropa. Storproducenter är Frankrike, Storbritannien och Tyskland med 58, 35 respektive 20 reaktorer. Hittills är det mest forsknings- och pilotreaktorer med kringanläggningar som avvecklats. Erfarenheterna från att lägga ner storskaliga kommersiella anläggningar är ännu ringa.

Följande *kommersiella reaktorer* är fn under avveckling. (Dessutom avvecklas ett stort antal kärntechniska forsknings- och pilotanläggningar mm.) De tre gaskylda tvillingreaktorverken Berkeley, Trawsfynydd och Hunterston i Storbritannien. I Tyskland pågår avvecklingen av Gundremmingen, Lingen, Kahl och Würgassen i västra delen (Würgassen har samma huvudägare som Barsebäck). Det allra största projektet är emellertid avvecklingen av det gigantiska Greifswald, beläget vid Östersjökusten i östra delen. Verket har åtta ryskbyggda reaktorer och en turbinhall som är en km lång. Strategin är omedelbar rivning. En personalstyrka på 14 000 har reducerats till 1 400. Frankrike avvecklar Chooz A1 (belägen i en konstgjord grotta), Chinon A1 och A2 (båda är i "safestore") och A3 (som håller på att rivas). Därtill kommer St Laurent A1 och A2 (båda är i fas 2) samt Bugey 1 (är i fas 2). Vid det äldsta, Chinon A1, upphörde elproduktionen redan 1973 och vid det yngsta, Bugey 1, 1994.

Italien stängde sina fyra kärnkraftverk 1987 efter en folkomröstning till följd av händelserna i Tjernobyl. Nederländerna stängde nyligen, 1997, sitt första kärnkraftverk av främst ekonomiska skäl. Avregleringen av elmarknaden minskar lönsamheten. Enligt planerna skall anläggningen vara i "safe enclosure" år 2003. I Spanien avvecklas Vandelos 1, som stängdes 1989 efter en brand i turbinerna.

## **Kärnkraftsavveckling betraktas nu som tekniskt oproblematiskt**

IAEA, OECD/NEA och EU samarbetar på avvecklingsområdet. Mycket av arbetet går ut på att harmonisera regler och att utarbeta internationella riktlinjer. Det anses nu vara tekniskt oproblematiskt att avveckla kärnkraftverk. Nu vill man försöka standardisera processen och skapa en konkurrenskraftig avvecklingsmarknad. Anbudsförfaranden och nyckelfärdiga kontrakt blir allt vanligare. En fördel är att man kan anlita specialistkompetens och standardisera förfarandena. Avveckling kräver delvis annorlunda kompetens än drift. Hur man leder och koordinerar stora förändringsprojekt blir en synnerligen aktuell fråga.

Aktuella är också frågor om ansvarsförhållanden, avveckling av personal, organisationsförändring, personalens motivation och arbetsmoral, bibehållande av kompetens, överföring av anläggningskompetens och ”organisatoriskt minne”. Goda förberedelser är nödvändiga och bidrar till att minska osäkerheten, men rigid förplanering befordrar varken arbetsmotivationen eller möjligheterna att lösa oförutsedda problem. En arbetsorganisation som möjliggör lärande, självbestämmande och flexibilitet är nödvändig för att klara uppgiften på ett säkert och effektivt sätt.

## Slutsatser

Intresset har i huvudsak riktats mot de tekniska aspekterna av avvecklingsprocessen, vilket ju har att göra med problemen med strålning och avfallshantering. Hittills är det mest också småskaliga anläggningar som lagts ner. Efter millennieskiftet när hundratals storskaliga kommersiella reaktorer står i tur att avvecklas, kommer de organisatoriska och personalmässiga frågorna i förgrunden på ett helt annat sätt än tidigare. Då gäller det att vara förberedd. Det är hög tid att integrera det splittrade fältet och se till hela avvecklingsprocessen. Den börjar inte när elproduktionen stängts av, utan långt tidigare; redan när rykten om en kommande avveckling börjar uppstå. Oron för framtiden kan distrahera personalen och äventyra säkerheten.

För att göra bilden komplett behövs forskning kring hela den förändringsprocess som en kärnkraftsavveckling innebär. Erfarenheter av redan genomförda avvecklingar bör analyseras och pågående avvecklingsprocesser följas.





# Summary

## Background

This report, which is a part of SKI's preparations for future Swedish decommissioning of NPPs, gives an overview of the situation in Western Europe. The original aim was to focus on organisational and human issues with regard to nuclear reactor decommissioning, but very few articles were found. This in sharp contrast to the substantial in-depth literature on technical issues. While most of the reports on decommissioning have a technical focus, several provide information on regulatory issues, strategies and "state of the art". The importance of the human and organizational perspective is however discovered, when reading between the lines of the technical publications, and especially when project managers summarize lessons learned

## Implementation

The results are to a large extent based on studies of articles and reports, mainly collected from the INIS database (International Information System of the International Atomic Energy Agency), which is the most complete database concerning the peaceful use of nuclear power.

Decommissioning of nuclear facilities started already in the sixties, but then mainly research and experimental facilities were concerned. Until now about 70 reactors have been shutdown world-wide. Over the years there have been plenty of conferences for exchanging experiences mostly about technical matters. Waste Management is a big issue.

## Results

### **A decommissioning wave can be expected after the shift of millennium**

After the shift of millennium there will be a wave of decommissioning when an increasing amount of reactors will reach the end of their calculated life-time (which is 40 years, a figure now being challenged by both life-extension and pre-shutdown projects). Several reactors have been shut-down for economical reasons. Shutdown and decommissioning is however not identical. A long period of time can sometimes pass before an owner decides to decommission and dismantle a facility. The conditions will also differ depending on the strategy, "immediate dismantling" or "safe enclosure". If immediate dismantling is chosen the site can reach "green-field status" in less than ten years. "Safe enclosure", however, seems to be the most common strategy. There are several pathways, but in general a safe store is constructed, enabling the active parts to remain in safe and waterproof conditions for a longer period of time (sometimes hundred years or more), prior to final

demolition. Among the reasons for deferring the dismantling are lack of waste repositories and decreasing dose-rates for the workers.

## **The situation in Western Europe**

Of Europe's 218 working commercial reactors, the majority, 151, are located in the Western part. The biggest producers are France, United Kingdom and Germany, with 58, 35 and 20 reactors respectively. Until now mostly research- and pilot reactors have been shut-down. There are yet few experiences from decommissioning of large-scale commercial reactors.

The following commercial reactors are undergoing decommissioning. (There are also a great amount of nuclear facilities of other types being decommissioned.) The three gas-cooled twin reactor plants of Berkeley, Trawsfynydd and Hunterston in UK. In Germany Gundremmingen, Lingen, Kahl and Würgassen are being decommissioned. All of them are located in the Western part of the country. The biggest project is however the dismantling of the gigantic Greifswald facility situated on the coast of the Baltic sea in former Eastern Germany. The plant has eight Russian built reactors of VVER-type. The turbine hall is one kilometer long. Like the rest of the former GDR-plants Greifswald was shutdown after the reunification in 1990. The strategy chosen is immediate dismantling. A crew of 14 000 persons has been reduced to 1 400 in a region where unemployment was already high. France is decommissioning seven reactors (Chooz A1, Chinon A1, A2, A3, St Laurent A1, A2 and Bugey 1.) The oldest, Chinon A1, closed down in 1973 and the youngest, Bugey 1, in 1994.

Italy closed down all NPPs (altogether four) in 1987 after a referendum. The first reactor of the Netherlands was shutdown in 1997 mainly for economical reasons. The development of a free European electricity market will make it less profitable to run certain facilities. Vandelos 1 in Spain is undergoing decommissioning after a fire in the turbines in 1989.

## **Decommissioning of nuclear facilities is now considered to be technically unproblematic**

IAEA, OECD/NEA and EU are co-operating in the field of decommissioning. Much work is spent on harmonizing rules and preparing international guidelines. The international agencies now consider decommissioning of nuclear facilities to be technically unproblematic. Decommissioning is entering a mature stage when procedures are to be standardized and common guidelines to be developed. A competitive "decommissioning market" is to be created including specialized suppliers and contractors.

Decommissioning partly demands other competencies than operation. Key issues to be dealt with are management of change, responsibility when appointing contractors, keeping up the work motivation and morale of the staff, retention of key-competencies, and transfer of "organisational memory".

## **Conclusions**

The interest has until now been focused on technical issues of decommissioning. To be prepared for the coming wave of decommissioning, when the world's large-scale commercial reactors are closing down, international research on human and organisational issues has to be established. Better understanding of the link to technology and business strategies must also be gained in order to manage the process of decommissioning safely and efficiently.



# 1. Bakgrund och syfte

Kärnkraftsavveckling kommer i förgrunden i samband med att alltfler av världens anläggningar når slutet av sin livslängd. Fram till 2010 förväntas närmare 40 av de omkring 435 reaktorerna ha uppnått "pensionsåldern" och fram till 2030 har flertalet tjänat ut. Siffrorna kan komma att rubbas av att reaktors livstid ibland förlängs, men också av att reaktorer läggs ner i förtid inte minst av ekonomiska skäl. Dessutom byggs nya reaktorer främst i de sydostliga delarna av världen. Förutom reaktorer finns en rad andra kärntekniska anläggningar, såsom uppberedningsanläggningar för utbränt kärnbränsle, experimentanläggningar, laboratorier mm.

Kärnkraftsavveckling är ingen ny företeelse. Redan på 60-talet började man avveckla forsknings- och pilotanläggningar med anledning av att de blivit överflödiga. Hittills har över 70 av världens kärnkraftsreaktorer stängts av. Under 1997 stängdes åtta kärnkraftverk, varav fem finns i Canada (några av dessa kommer kanske att återstarta), två i USA och ett i Nederländerna. Till detta kommer en mängd kärntekniska anläggningar av andra typer. Det bör noteras att stängning och avveckling inte är samma sak. Det kan dröja innan ägarna slutgiltigt bestämmer sig för att avveckla en anläggning. Avvecklingsprocessen tar i sin tur olika lång tid beroende på valet av strategi. Väljs omedelbar avveckling, så kan marken vara återställd efter tio år. Väljs "safestore", dvs anläggningen kapslas in och läggs i vila innan den slutgiltigt rivs, så kan det i vissa fall ta uppemot 140 år. Det bör också noteras att ett kärnkraftverk kan bestå av flera reaktorer, som kan avvecklas vid olika tidpunkter.

SKI förbereder sig inför kommande svenska kärnkraftsavvecklingar. Bl a håller man på att ta fram kriterier för säkerhet och kvalitet i avvecklingsarbetet. För att få underlag för detta arbete tog MTO-enheten (MTO= samspelet mellan människa, teknik och organisation) redan 1997 initiativ till två studier. Den ena, SKI-rapport 98: 3, rör amerikanska erfarenheter av kärnkraftsavveckling från ett organisatoriskt perspektiv (i USA är fn 19 reaktorer i olika stadier av avveckling). Den andra, SKI-rapport 98:13, rör svenska erfarenheter av företagsnedläggningar och förändringsarbete. Inte bara SKI, utan också Statens Strålskyddsinstitut, SSI, reglerar och övervakar kärnkraftsproduktionen. Här står strålskyddet i fokus. En arbetsgrupp inom SSI har tagit fram en rapport inför avveckling av kärnkraft: "Radiation Protection in connection with the Decommissioning of Nuclear Plants", 1997.

Föreliggande rapport syftar till att komplettera de hittillsvarande med en genomgång av avvecklingsläget med fokus på Västeuropa. Förhoppningen är att den ska kunna ge intresserade läsare en översiktlig lägesbeskrivning och en uppfattning om vilka problem som är förbundna med kärnkraftsavveckling, speciellt från ett MTO-perspektiv.

För att få underlag har jag gjort sökningar i tillgängliga databaser. I första hand har jag letat efter publikationer på MTO- området, dvs sådana som explicit rört organisatoriska, psykologiska och personalmässiga aspekter på avvecklingsprocessen.<sup>1</sup>

Jag fann emellertid få referenser till det jag sökte och vidgade därför profilen till program och strategier för kärnkraftsavveckling i allmänhet samt erfarenheter från avvecklingsprojekt i synnerhet. Genom dessa kan man indirekt få kännedom om MTO-aspekterna.

Litteratursökningarna visade tydligt att kärnkraftsavveckling är ett omfattande och tekniskt specialiserat fält. Området är ingalunda nytt. De internationella konferenserna har hunnit bli många under årens lopp. Många av referenserna utgör beskrivningar av läget vid olika tidpunkter och från olika perspektiv, vilket gör fältet en smula svåröverskådligt. Ett resultat, som bör framhållas är, att de tekniska aspekterna av avvecklingsprocessen är väl dokumenterade, medan de referenser som explicit rör MTO-perspektivet är ytterligt få.

Rapporten är upplagd enligt följande. Efter denna inledning kommer litet statistik om kärnkraftens utbredning i världen. Olika strategier för kärnkraftsavveckling förklaras därefter med utgångspunkt från IAEAs klassificering. Efter en kortfattad redogörelse för olika reaktortyper ges en översikt av avvecklingsläget i Västeuropa inklusive erfarenheter från det hittillsvarande avvecklingsarbetet. De internationella kärnkraftsorganisationernas arbete berörs. Rapporten avslutas med en sammanfattande diskussion av resultaten.

---

<sup>1</sup>INIS (International Information System of the International Atomic Energy Agency) är den mest fullständiga databasen rörande fredlig användning av kärnkraft. Den innehåller vetenskaplig litteratur; böcker, rapporter, regler och standards. En sökning på "reactor decommissioning" från år 1990 och framåt gav ca 800 träffar. Utifrån dessa valdes ca 120 abstracts för genomläsning, av vilka ett tjugotal referenser (mestadels artiklar och konferenspapers) beställdes.

Senare gjordes också en sökning i ABI/Inform och Compendex-databaserna utifrån sökord som "management, staffing issues, planning, strategy, change management, organization". Sökningen gav sammanlagt 130-tal träffar, varav abstracts av 25 artiklar valdes ut för läsning och ett tiotal beställdes. Dessutom gjordes en sökning i den tyskspråkiga databasen SOLIS (Social Sciences Literature Information System). Denna gav 46 träffar, men ingen artikel visade sig vara relevant. Några publikationer (konferensdokumentation och rapporter från de internationella organisationernas arbete) har erhållits genom personliga kontakter.

Barbara Melber har på uppdrag av SKI sökt publikationer från främst Nordamerika. Två datasökningar och en manuell sökning på "decommissioning and management and nuclear" samt "decommissioning and management and safety" gav flera träffar och ett antal abstracts genomlästes. 18 artiklar beställdes, av vilka sju bedömdes vara av speciellt intresse från MTO-perspektiv. Till detta kommer åtta EPRI-rapporter (Electric Power Research Institute). Flertalet av publikationerna har ett tekniskt fokus, men några ger också information av intresse från ett MTO-perspektiv.

## **2. Kärnkraftens utbredning en kort översikt**

Innan vi går in på läget i Västeuropa kan det vara på sin plats med litet statistik om kärnkraftsreaktorer och deras utbredning på världskartan.

### **2.1 Världens kärnkraftsreaktorer**

I april 1998 fanns enligt IAEAs informationssystem (PRIS) kärnkraftsreaktorer i 32 av världens stater. USA leder stort med 104 närmast följt av Frankrike med 58, Japan med 53 och Storbritannien med 35 reaktorer i drift.

### **2.2 Europas kärnkraftsreaktorer**

Arton europeiska stater producerar kärnkraft, om man räknar in det forna Sovjetunionen. Rangordnade efter antal reaktorer är dessa: Frankrike (58), Storbritannien (35), Ryssland (29), Tyskland (20), Ukraina (16), Sverige (12), Spanien (9), Belgien (7), Bulgarien (6), Schweiz (5), Finland (4), Tjeckien (4), Slovakien (5), Ungern (4), Litauen (2), Nederländerna (1), Rumänien (1), Slovenien (1). Drygt hälften av jordens 434 reaktorer är alltså belägna i Europa.

### **2.3 Avveckling av reaktorer**

Enligt IAEA fanns i december 1995 437 kärnkraftsreaktorer i drift (i april 1998 hade antalet minskat till 434). Utifrån 1995 års siffror och ett antagande om 40-årig livslängd för en reaktor har man gjort en approximativ beräkning av kommande avställningar. Fram till 2010 har närmare 40 reaktorer uppnått "pensionsåldern". Kulmen beräknas infalla mellan 2010 - 20 och 2020 - 30 med avställning av 159 respektive 211 reaktorer. Sedan dalar antalet till 29 mellan 2030 -35. ("Nuclear Power in the World", april 1996) Samtidigt blir det allt vanskligare att göra trendframskrivningar baserade på förväntad livslängd eftersom många

reaktorer moderniseras för att öka livslängden, samtidigt som reaktorer läggs ner i förtid främst av ekonomiska skäl.

## 2.4 Utbyggnad av kärnkraft

Nya reaktorer tas i bruk. I april 1998 rapporterades 36 anläggningar i 14 länder vara under byggnad. De nya anläggningarna finns i Argentina (1), Brasilien (1), Kina (6), Tjeckien (2), Frankrike (1), Indien (4), Iran (2), Japan (2), Republiken Korea (3), Pakistan (1), Rumänien (1), Ryssland (4), Slovakien (3) och Ukraina (4).

Kärnkraftens attraktion tilltar i Ost- och Sydostasien, där både tillväxten och behovet av elektricitet ökat kraftigt på senare år. Republiken Korea har antagit ett kärnkraftsprogram som kommer att medföra en stark ökning av kärnkraftreaktorerna ( idag finns femton i drift, varav tre nyligen är tagna i bruk, tre är under byggnad och inom 25 år beräknar man ha ett tjugofemtal i drift.) Kina, som hittills bara har tre i reaktorer i bruk expanderar snabbt och har för närvarande sex under byggnad. (The Second Philippine Congress, Manila, Dec 1996.)

I USA liksom Västeuropa verkar kärnkraften vara på tillbakamarsch. I USA byggs inga nya kärnkraftverk. Den nya tyska regeringen har, som tidigare nämnts, deklarerat att samtliga kärnkraftverk ska avvecklas. Schweiz aviserade efter det tyska valet att man skulle börja planera för kärnkraftsavveckling. Österrike bannlyste kärnkraften redan 1978. 1987, efter händelserna i Tjernobyl, röstades kärnkraften bort i Italien och fyra anläggningar stängdes. Storproducenterna Frankrike och Storbritannien har dock inga avsikter att avveckla sin kärnkraft.

## 3. Orientering om reaktortyper

Reaktorteknologin har utvecklats under årens lopp. Jag skall inledningsvis försöka reda ut begreppen. De moderna reaktorererna är av tre typer:

- Vattenkylda reaktorer, som använder vatten som kylmedel och moderator. Dessa är ofta belägna vid vattendrag, där vattnet används för kylning. Alternativt kan kyltorn användas.
- Snabba reaktorer, som använder flytande metall, exvis sodium, som kylmedel. De är dock fortfarande på experimentstadiet. De tekniska problemen är stora. En finns någon enstaka i drift ( i Kazakstan).
- Gaskylda reaktorer, som använder gas, exvis helium, som kylmedel och grafit som moderator.



85% av världens aktiva kärnkraftsreaktorer är vattenkylda. Det finns två grundtyper: Lättvattenreaktorer (LWRs) som nyttjar vanligt vatten som kylmedel och moderator och tungvattenreaktorer (HWRs), som använder deuteriumoxid (D<sub>2</sub>O). Lättvattenreaktorerna kan i sin tur indelas i kokarvatten och tryckvattenreaktorer (BWRs och PWRs). Samtliga svenska reaktorer (12 st) är av lättvattentyp. I Storbritannien och Frankrike finns ett stort antal gaskylda, ofta grafitmodererade, reaktorer.

Reaktorerna har efter hand gjorts allt säkrare och mer användarvänliga. Allt fler krav tillgodoses redan på konstruktionsstadiet. De mest avancerade lättvattenreaktorerna (ALWRs) kallas ibland för evolutionära reaktorer. I dessa försöker man redan från början bygga in allt fler säkerhetsreglerande egenskaper (Kabanov, IAEA Bulletin 374).

De kärnkraftverk och andra kärntekniska anläggningar som hittills stängts av är alltså av flera olika typer. Flertalet är småskaliga forsknings- och pilotanläggningar. De gaskylda Magnox reaktorer, av vilka flertalet finns i Storbritannien och Frankrike, har stora reaktortrhärdar i jämförelse med de vattenkylda, vilket gör dem svårare att montera ned (Bradbury, 1992). De äldre anläggningarna har, som nämnts, inte konstruerats med tanke på att de en gång skall avvecklas, vilket försvårar rivningsarbetet.

## 4. Avvecklingsstrategier

Med kärnkraftsavveckling avses här hela processen från det att elproduktionen stängs av, bränslet forslas bort, primärsystemen töms och saneras, det radioaktiva materialet avlägsnas från området, byggnaderna rivs och marken återställs.

IAEA har gjort en indelning av avvecklingsprocessen i tre huvudfaser med syftet att successivt minska strålningsriskerna (IAEA Safety Series no 52).

*Fas 1. Säker avställning med övervakning och periodisk inspektion.*

”Post-operation”- aktiviteter är: Avlägsnande av bränslet. Tömning och nedmontering av de system som omger själva reaktorn. (I den här fasen avlägsnas alltså bränslet och det högaktiva materialet, vilket sägs reducera strålningen med över 99%.)

*Fas 2. Koncentration av radioaktivitet i minsta möjliga utrymme. Mindre övervakning och mindre tät inspektion än i fas ett.*

”Dismantling”-aktiviteter i denna fas: Avlägsnandet av resterna av det radioaktiva materialet och rivning av byggnaderna.

*Fas 3. Green field conditions : Allt radioaktivt material (över friklassningsgränserna) avlägsnas. Området friklassas.*

”Site restoration”-aktiviteter: Återställande av marken, så att den kan friklassas för annan användning.

Att en reaktor ställs av behöver ingalunda betyda omedelbar rivning. Efter det att elproduktionen stängts av finns i praktiken flera vägar att gå mot friklassning av området, dvs ”green field status”.

Safestore-strategin är vanligast och innebär att anläggningen efter det att bränslet avlägsnats och primärsystemen tömts (alltså efter den post-operativa fasen), förstärks, kapslas in eller övertäcks med betong i 100 år eller mer innan den slutliga rivningen äger rum. Inkapslingen kan ske omedelbart eller efter en 30 – 40-årig viloperiod (sk deferred safestore). Anledningen till att täcka över reaktorn med en safestore är att skydda den från att angripas av väder, vind och inkräktare. Anläggningen övervakas därefter vanligtvis på avstånd. Inspektioner på plats görs bara vid enstaka tillfällen om det inte finns fler reaktorer i drift på samma område. Man benämmer förfarandet ”safe enclosure”. (I USA benämns denna strategi SAFSTOR. Enligt bestämmelserna måste hela anläggningen vara riven 60 år efter det att elproduktionen stängts av (Abraham & Merkel, 1997).)

Green-field-strategin innebär att alla tre faserna genomförs i följd, utan mellankommande viloperioder, vilket gör att marken kan vara återställd inom loppet av en tioårsperiod. I USA benämns denna strategi DECON.

En viktig anledning till valet av "safestore-strategin" är att det saknas utrymmen för lagring av avfallet. Strålningen avklingar dessutom med tiden, vilket minskar personalens exponering. Det finns också en mängd ekonomiska argument för att fördröja rivningen. Förhoppningar om att bättre tekniker skall ha utvecklats finns dessutom. Vid verk där endast någon av flera reaktorer ställs av, tillämpas ofta safestore-strategin, eftersom det då redan finns övervakningsresurser att tillgå.

I USA, men också i Europa tillämpas även strategin ENTOMB eller "in-situ" förvaring. Det uppges vara en lågkostnadsvariant, som innebär att man avlägsnar bränslet från reaktorn och sedan försluter det radioaktiva materialet i en kapsel av betong. Därefter får den stå under övervakning under många år tills strålningsnivåerna avklingat. Tanken är att anläggningen så småningom skall rivs. Strategin tillämpas restriktivt. I USA finns endast tre mindre demonstrationsreaktorer i ENTOMB. "In-situ"-förvaring är en variant av ENTOMB, som på senare tid tillämpats i Storbritannien bl a vid Berkeley. Inkapslingen ses där som en permanent lösning.

För kärnkraftverk och uppberedningsanläggningar gäller olika strategier, eftersom de sistnämnda hanterar plutonium. Den radioaktiva omvandlingen av plutonium -241 skapar inväxt av americium som avger bl a gammastrålning. Halveringstiden ligger på över 400 år, vilket innebär att stråldoserna på kort sikt ökar snarare än minskar, som fallet är vid kärnkraftsproduktion (Gordelier m fl, 1998: 6). Material som är kontaminerat av plutonium åldras dessutom snabbare eftersom gammastrålning har en nedbrytande effekt. Anläggningar, där man hanterat reaktorplutonium bör därför avvecklas "prompt", dvs utan fördröjning.

## **5. Kärnkraftsavveckling i Västeuropa**

### **5.1 Storbritannien**

Storbritannien började utveckla sin kärntechniska industri redan 1946, dvs tidigare än många andra länder. Från början var avsikten att tillverka kärnvapen, men ganska snart upptäckte man möjligheterna att producera elektricitet samt isotoper för medicinskt bruk. Storbritannien, som är världens fjärde och Europas andra största producent av kärnkraft, har 35 reaktorer i drift.

Den brittiska kärnkraftsindustrin har omstrukturerats ett flertal gånger under årens lopp. Det statliga Magnox Electric skapades 1996 för att ta hand om de äldre kärnkraftproducerande anläggningarna, medan de yngre och modernare samlades i det privata British Energy. Från UKAEA (United Kingdom Atomic Energy Authority), vars roll idag består i att styra de kärntechniska åtagandena, har man brutit ut och privatiserat konsult- och serviceföretaget AEAT. Tre statliga organisationer var då ansvariga för huvuddelen av de civila kärntechniska anläggningarna i Storbritannien. Magnox Electric ansvarade för de kraftproducerande reaktorererna, British Nuclear Fuels (BNFL) för bränsleanläggningarna och UKAEA för forskningsreaktorererna och FoU-anläggningarna. Nyligen har man slagit samman Magnox Electric och BNFL, vilket reducerat antalet organisationer till två.

Avvecklingen av UKAEAs anläggningar bekostas av staten (det allmänna ansvarar för avvecklingen av de äldre anläggningarna som är dyrast att riva), medan de övriga bolagen själva får stå för sina avvecklingskostnader. När avvecklingsarbetet kom i gång på allvar efter 1990, ökade belastningarna markant både på kringanläggningar och infrastruktur samtidigt som kostnaderna började skjuta i höjden. Detta har skapat en stark drivkraft att kostnadseffektivisera. Anledningen till omorganisationerna är att man bättre vill kunna styra och optimera både avvecklingsåtaganden och avfallshantering. Man vill skapa en konkurrenskraftig marknad för avveckling. UKAEA, som idag endast är en planerings- och inköpsorganisation, har som policy att lägga ut så mycket som möjligt på anbud. Samma gäller för Magnox Electric, som vid starten 1996 fick en småskalig och kundorienterad avvecklingsdivision.

#### **5.1.1 Reglering av avvecklingsprocessen**

Storbritannien har en flexibel och i många stycken icke-föreskrivande ansats för att reglera kärnkraften. Samma regler tillämpas vid avveckling som vid uppbyggnad och drift av kärnkrafts-anläggningar. Det finns ett generellt säkerhetskrav och detta skall vara tillgodosett i alla stadier av en anläggnings livscykel (Taylor m fl, 1998).

I samband med avveckling ställs krav på tillståndshavarna att (Nelson mfl, 1998):

- Ta fram en strategisk avvecklingsplan.
- Ta fram anläggnings specifika program (redan på designstadiet för att kunna vidareutvecklas).
- Lägga ner vid en godtagbar tidpunkt.
- Minimera riskerna.
- Hantera avfallet på ett säkert sätt.

Avvecklingsstrategierna (både på överordnad och anläggnings specifik nivå) granskas av myndigheterna vart femte år. Resultatet är offentligt. Avvecklingen skall indelas i faser. Myndigheten har befogenhet att avgöra om tillståndshavaren är mogen att gå vidare till nästa fas. Via tillståndsgivningen ges alltså goda möjligheter att kontrollera avvecklingsprocessen. Ett program pågår för närvarande för att ta in avvecklingsstrategier för granskning, vilket skall vara klart år 2 000 (Taylor a.a.).

## **5.1.2 Avvecklingsstrategier**

Vad gäller de statsägda reaktorerna är policyn att välja den avvecklingsstrategi som har störst värde för skattebetalarna. Om det blir billigare att skjuta upp den slutliga rivningen skall man gör det under förutsättning att säkerhets- och miljökraven är uppfyllda. Följande prioriteringar skall alltså styra valet av avvecklingsstrategi.

2. Säkerhet
3. Miljö
4. Värde för skattebetalarna
5. Affärsmässighet

Den sk deferred (förlängda) safestore-strategin anses hittills bäst ha uppfyllt kraven. Efter den första fasen får anläggningen vila i drygt 30 år för att aktiviteten skall avklinga. Sedan förstärks byggnaderna för att hålla i ytterligare 100 år (fas 2) innan man genomför den slutliga rivningen av reaktor, strukturer och byggnader samt återställer marken (fas 3). Ibland förstärks byggnaderna omedelbart efter det att bränsle, media mm har avlägsnats, sk ”prompt safestore”.

## **5.1.3 Läget på avvecklingsfronten**

Erfarenheten av att lägga ner småskaliga pilotanläggningar är lång, medan avvecklingen av större kommersiella anläggningar är av förhållandevis sent datum. Det finns både gas- och vattenkylda reaktorer i Storbritannien. De gaskylda reaktorerna är stora och har en komplicerad struktur i jämförelse med de vattenkylda.

### 5.1.3.1 UKAEA

UKAEA (United Kingdom Atomic Energy Authority) ansvarar för FoU-anläggningarna. Sammanlagt ca 200 reaktorer, accelerators, bränslefabriker, uppberedningsanläggningar och kärntekniska forskningsstationer står inför avveckling. Flertalet av dessa har redan tagits ur bruk.

Kärnkraftsreaktorer håller på att läggas ned vid Harwell, Winfrith, Windscale och Dounreay. Bland dessa finns Europas första grafitkylda reaktor, en ånggenererande tungvattenreaktor och en natriumkyld snabb reaktor. Reaktorerna med hjälpanläggningar har blivit överflödiga. Regeringen finansierar huvuddelen av avvecklingen (Nelson, 1998).

#### 5.1.3.1.1 *Harwell*

LIDO, "pooltype"-reaktorn, som stängdes 1972, är nu fullständigt avvecklad till "green field" status. Reaktorerna GLEEP, BEPO, DIDO, PLUTO har passerat fas ett och befinner sig i den första av viloperioderna.

#### 5.1.3.1.2 *Winfrith*

De flesta av anläggningarna har redan avvecklats till fas ett eller längre. HECTOR, en låg-energi reaktor, som stängdes redan 1975, har nått "green field" status. SGHWR, DRAGON och ZEBRA, är i den första övervakningsfasen. De småskaliga reaktorerna NESTOR och DIMPLE kommer snart att vara helt borta, liksom ett laboratorium för hantering av plutonium.

#### 5.1.3.1.3 *Windscale*

Vid detta kärnkraftverk avvecklas för närvarande tre reaktorer. Den första är WAGR (Windscale Advanced Gas-cooled Reactor), som stängdes 1981 efter 18 års drift. Anläggningen, som är Storbritanniens flaggskepp för reaktoravveckling, ingår i OECD/NEAs samverkansprogram. Syftet är att demonstrera att det är möjligt att kostnadseffektivt utan fördröjande viloperioder avveckla en anläggning till "green field status". Avvecklingen befinner sig nu i fas tre, som förväntas vara avslutad 2003. Det verkar dock vara föga troligt att denna "green-field"-strategi kommer att få efterföljd i Storbritannien, eftersom intresset från kraftbolagens sida är ljummet. Under alla omständigheter står sexton liknande anläggningar i tur att avvecklas under nästa århundrade. Till detta kommer 26 Magnox reaktorer (Nelson, 1994, Bradbury, 1992).

Vid Windscale finns också de båda Pile- reaktorerna. Pile 1s grafitmoderator brann på 50-talet och sedan dess har reaktorn stått oanvänd. Nu skall den rivas; ett arbete som förväntas vara avslutat om tio år. Branden, som rasade i 48 timmar, ledde till att radioaktivitet läckte

ut. Händelsen kom att få stor betydelse för det fortsatta säkerhetsarbetet i Storbritannien. Den tredje reaktorn, Pile 2 håller på att göras i ordning för den 100-åriga viloperiod som föregår den slutligen rivningen.

#### **5.1.3.1.4 Dounreay**

Verket, som ligger vid den glesbefolkade norra skottlandskusten, var mellan 1955 – 1994, ett centrum för utveckling av snabb reaktorteknologi. Dounreay är också den mest komplexa av FoU-anläggningarna. De tre reaktorerna (DMTR, DFR, PFR) med kringanläggningar (för bränsle- och avfall samt annan infrastruktur) har stängts av och befinner sig i olika stadier av avveckling. DMTR befinner sig i den första vilofasen, medan DFR och PFR fortfarande är i fas 1. Anläggningarna förväntas vara helt eliminerade omkring år 2050, 2075 respektive 2090.

Två uppbyggnads- och flera avfallsanläggningar är fortfarande i drift. Dessutom har man byggt anläggningar för långtidsförvaring av kärnavfall, till vilka man även tar emot avfall från andra håll. Flera av de äldre anläggningarna har redan passerat 40-års strecket, vilket innebär att man nu har ett avvecklingsåtagande framför sig, som sträcker sig ända till slutet av 2000-talet.

Även här tillämpas "Safestore-strategin". Diskontot är för närvarande så pass högt att man anser det vara billigare att senarelägga den slutliga rivningen. Säkerheten skall naturligtvis ha första prioritet, men sedan är det kostnadseffektivitet som gäller.

Nelson, 1997, diskuterar med utgångspunkt från Dounreay, hur den storskaliga avvecklingsprocessen bör organiseras och ledas. En fara när anläggningar går från drift till avveckling (och således förändrar sitt mål) är att viktig anläggningskompetens går förlorad. För att undvika att mista kompetens bör den personal, som arbetat länge eller gått i pension intervjua om händelser som kan vara av betydelse för avvecklingen. Det är framförallt den första fasen, när bränslet avlägsnas och vissa systemdelar rivs, som kräver erfarenhet av anläggningen.

Sättet att leda och organisera verksamheten måste förändras när anläggningar går från drift till avveckling, menar Nelson. Vid avveckling krävs ett innovativt ledarskap och även annorlunda teknisk kompetens. Det är inte bara själva rivningen, utan också en rad andra uppgifter, såsom miljösanering, materialåtervinning och avfallshantering, som skall utföras. Alla dessa olika typer av delprojekt måste samordnas eftersom de är beroende av varann. Av betydelse vid avveckling är också kunskap om hur material åldras.

Det omfattande avvecklingsprogrammet vid Dounreay har därför krävt utökade projektledningsresurser. Istället för att rekrytera personal, har man ingått ett sk Management Support Contract med en extern organisation. (Detta brukar kallas för "Managing Agents-systemet" och diskuteras längre fram.) Det innebär bl a att utifrån anlitate experter (konsulter, entreprenörer) samarbetar med verkets egen personalen i ett ledningsteam.

Ägaren, i det här fallet UKAEA, innehar dock fortfarande tillståndet och har därmed det fulla ansvaret för säkerheten

Den brittiska tillsynsmyndigheten gjorde i juni 1998 en inspektion vid Dounreay efter en incident (Safety Audit of Dounreay, 1998). Inspektionen visade att de organisatoriska förändringar som vidtagits inom UKAEA under de senaste fyra åren hade försvagat både ledningen och den tekniska kunskapsbasen i sådan utsträckning att företaget inte längre bedömdes kunna fullfölja sin huvuduppgift, dvs att avveckla anläggningen, på ett tillfredsställande sätt. UKAEA ansågs ha blivit alldeles för beroende av entreprenörer. Styrningen av verksamheten hade delegerats i sådan grad att ägaren inte längre ansågs ha full kontroll över skeendet och därmed inte längre hade möjlighet att bedöma entreprenörernas aktiviteter från säkerhetssynpunkt.

### 5.1.3.2 BNFL

#### 5.1.3.2.1 *Kärntekniska anläggningar*

BNFL (British Nuclear Fuels Ltd), svarar för en lång rad kärntekniska anläggningar (för upp-  
arbetning av bränsle mm) på fyra platser i landet: Chapelcross, Capenhurst, Springfields och  
Sellafield. Från början var anläggningarna stöd till kärnvapenprogrammet och senare till den  
civila kärnkraftsproduktionen. Gamla anläggningar har kontinuerligt lagts ner för att ge  
utrymme för nya.

*Sellafield* är störst och har det mest omfattande avvecklingsprogrammet. Det var bråttom  
när de första fabriker byggdes på 50-talet. Syftet var att producera plutonium för kärn-  
vapen. Då tänkte man inte på att de så småningom skulle avvecklas. Det är i första hand  
dessa anläggningar som är föremål för avveckling; ett arbete som genomförs av ett team på  
650 man.

Samtidigt håller BNFL på att bygga upp en internationell "business" kring avveckling av  
återvinningsanläggningar. Intresset för detta är bl a stort i USA (Fishlock, 1996).

Flera av avvecklingsprojekten vid Sellafield är avslutade. 1984 – 96 genomfördes 22 st,  
varav flera utgjorde fas ett i större avvecklingsprojekt. För närvarande pågår ett femtontal  
projekt, som omfattar allt från avveckling av den allra första uppberedningsanläggningen,  
bassänger för uttjänt kärnbränsle, avfallssilos till plutoniumanläggningar och FoU-  
laboratorier. Majoriteten är i aktiva demonteringsfaser. Detta arbete genomförs med hjälp av  
olika typer av fjärrstyrd utrustning. De senast byggda anläggningarna kommer dock att bli  
enklare att demontera, eftersom de är konstruerade med tanke på avveckling (Fishlock, a.a.,  
Nelson, 1998).

I *Capenhurst* fanns en stor diffusionsanläggning, som nu är fullständigt avvecklad. Verksamheten upphörde i början av 80-talet.



I *Springfields* har ett antal tidiga bränslefabriker avvecklats. Rivningsmaterialet har sanerats till låga aktivitetsnivåer.

#### **5.1.3.2.2 Kommersiella reaktorer**

Efter den nyligen genomförda fusionen med Magnox Electric ansvarar BNFL även för de äldre kommersiella kärnkraftsreaktorerna, dvs de som kommer att avvecklas först. Det finns arton gaskylda reaktorer vid nio tvillingreaktorverk. Avvecklingsarbetet har startat vid tre; Berkeley, Trawsfynydd och Hunterston.

##### ***Berkeley***

De båda tvillingreaktorerna togs i drift 1962. Stängningen skedde 1988 respektive 1989. Bränslet har forslats till Sellafield för återvinning. Det sista lämnade Berkeley i mars 1993. Strategin är som vanligt ”deferred safestore”. En smärre del av anläggningen revs i den första fasen redan innan man började förbereda den för den första viloperioden. Mycket arbete har lagts ner vid Berkeley för att visa att en Magnox reaktor kan avvecklas kostnadseffektivt.

Rivningen har liksom vid bl a Dounreay genomförts av entreprenörer tillsammans med en ”infrastruktur” av egen personal. Förhoppningen från beställarens sida är att systemet med anbudsförfaranden, där entreprenörer ger ett fast pris, skall minska det ekonomiska risktagandet. Enligt lagen är dock ägaren ansvarig för säkerheten. Det har i praktiken visat sig vara svårt för ägaren att bibehålla kontrollen när entreprenörer åtar sig en så omfattande del av arbetet som vid Berkeley och Dounreay.

När kärnkraftverk skall avvecklas är det viktigt att på en och samma gång, se över säkerheten, kvalitetssystemet, rutinerna och personalsituationen. När personalen minskar kan rutiner och instruktioner nämligen förenklas. Även kvalitetssystemet går att anpassa till de förändrade förhållandena. Det är också av stor vikt att ledningen förmår skapa förtroende för avvecklingen hos intressenterna; ägarna, lokalsamhället, miljövännerna och allmänheten. Öppenhet är därvidlag synnerligen viktig (McIntyre, 1998:177).

##### ***Trawsfynydd***

Trawsfynydds kärnkraftverk är beläget i Snowdonia nationalpark i norra Wales. Elkraftsproduktionen startade 1964 och stängdes av i februari 1991. Stängningen skedde formellt i juli 1993 efter en period av väntan på en eventuell återstart. Skälet var helt och hållet ekonomiskt. Det skulle inte bli lönsamt att modernisera verket i enlighet med de skärpta krav som ställdes.

Det hela komplicerades av att Trawsfynydd är beläget i en naturskön nationalpark och tillika är bygdens största arbetsgivare (500 personer fick sin utkomst där). Den dåvarande ägaren,

Nuclear Electric, stod inför en omfattande säkerhetsgranskning och ville inte riskera sin trovärdighet som kärnkraftsproducent på grund av Trawsfynydd. (Kay m fl, 1995, Bindon, 1997).

Ägaren, Nuclear Electric, kände sitt ansvar och ville kommunicera med alla berörda inför avvecklingen. Man bestämde sig för att rådfråga de närmaste intressenterna, vilken av följande tre avvecklingsstrategier de föredrog: 1) Omedelbar avveckling till "green field" status, 2) tidig eller fördröjd "Safestore" eller 3) tidig eller fördröjd övertäckning (entombment). Konsultationen genomfördes på följande sätt.

- Ett informationspaket om vad avveckling innebär togs fram och cirkulerades bland intressenterna.
- Personalen fick rådgivning om möjligheterna på arbetsmarknaden.
- Möten hölls med de lokala myndigheterna och media för spridning av information.
- En tre veckors turnerande utställning till 13 platser i närområdet genomfördes.
- Särskilda presentationer med verkets ledning och bygdens politiker m fl. hölls.
- Slutligen tog man fram ett frågeformulär som tillställdes alla besökare av utställningen.

Totalt 21% (266 personer) besvarade frågeformuläret. Resultatet visade att allmänheten ansåg det vara allra viktigast att skapa jobb till lokalbefolkningen, därefter kom önskemålet om att minska anläggningens synlighet, oron för radioaktivitet och undran över hur länge det skulle dröja innan anläggningen var fullständigt borta.

Efter konsultationen bestämde ägaren sig för att modifiera avvecklingsstrategin. Istället för en "fördröjd" skulle man bygga en "tidig" safestore. För att göra anläggningen mindre synlig beslöt man att minska höjden på övertäckningen med närmare 50 %, vilket innebar att en del av reaktorbyggnaden måste rivas på ett tidigt stadium.

Trots att anläggningen hade varit avstängd en längre tid, kom beskedet om definitiv stängning som en total överraskning för personalen. Förväntningarna på en återstart hade varit höga.

Ett delikat fråga var hur personalminskningarna skulle genomföras. Av en personalstyrka på 487 personer, behövdes endast 270 för den första fasen, dvs för att forsla bort bränslet och riva primärsystemen. För att övervaka, upprätthålla beredskapen, riva de aktiva byggnadsdelarna och hantera avfallet, dvs för aktiviteterna i fas två, behövdes ännu färre, bara 145 personer. För att riva de resterande byggnaderna anlätades lokala entreprenörer.

### *Hunterston A*

Hunterston A är en av de tidiga gaskylda Magnox reaktorer som byggdes i UK. Verket invigdes 1964 av Hennes Majestät drottningmodern. Under 16 av sina 26 år i drift låg anläggningen i topp internationellt. 1990 stängdes den på ekonomiska grunder. Driften fortsatte emellertid vid Hunterston B. Några månader efter det att man börjat forsla bort bränslestavarna förändrades elmarknaden och den nytillträdda ledningen började utreda om det var

möjligt att återstarta reaktorn. En nyligen genomförd säkerhetsanalys hade nämligen visat att det inte fanns några hinder för att förlänga anläggningens livstid. Det visade sig dock sedan att det krävdes en del anläggningsändringar, varför ledningen slutligen valde att lägga ner. Jack Archibald, ansvarig för avvecklingsprojektet, beskriver i en artikel (Archibald, 1994) erfarenheterna från genomförandet av avvecklingsprocessens första fas, dvs bortforslingen av bränslet, saneringen och övriga förberedelser inför den första viloperioden på 35 år. Här liksom för övriga brittiska kärnkraftsreaktorer tillämpas strategin ”deferred safestore”.

Den som är intresserad av hur man gått tillväga mer i detalj hänvisas till artikeln. Förhållandena skiljer sig från de svenska eftersom det rör sig om en gaskyld grafitmodererad reaktor. I början uppstod flaskhalsar som hade att göra med konservativa säkerhetskrav för gashantering i en anläggning som delades med Hunterston B. Jag tänker främst uppehålla mig vid arbetsorganisationen och personalens motivation, faktorer som var av synnerligen stor betydelse för genomförandet av den första fasen.

Stängningen blev en bitter upplevelse för personalen, som var stolt över sin anläggning. Trots allt hade man varit inställd på att verket skulle återstarta. Läget förändrades över en natt. Företaget var medvetet om vilka reaktioner ett sådant här besked skapar. De som frivilligt ville lämna fick attraktiva erbjudanden och en mindre grupp arbetare blev kvar för att forsla bort bränslet. En rad problem uppstod redan från början, bl a bröt bränslehanteringsanläggningen samman, vilket kom att fördröja arbetet med fyra månader. Personalen var undersysselsatt och apatin bredde ut sig. Då beslöt man sig för att vidta åtgärder. Man formulerade produktivitetsmål, som följdes upp vid månatliga möten mellan VD och arbetslaget. Företagsledningen intresserade sig för och tog aktiv del i avvecklingsarbetet. Förbättringar och förenklingar av processen genomfördes. Laget involverades direkt i detta arbete. Deras kompetens och förmåga utnyttjades.

Archibald skriver att man lärt en hel del av den här processen. Vissa av erfarenheterna är tekniska, medan andra är organisatoriska. Speciellt lärorika är de erfarenheter som härrör från arbetslagets förändrade roll och hur den påverkat produktiviteten. Anläggningen hade varit högproduktiv och det ”satt i ryggmärgen” på alla att maximera output. Avveckling innebär något radikalt annat, ett faktum som förhoppningen om återstart hade dolt. Arbetslagets grundproblem var känslan av att inte bidra till företagets affärsmål, vilket kom att förstärkas av att man var underutnyttjad i början av perioden (när bl a anläggningen för hantering av bränsle gick sönder). En rad åtgärder vidtogs, varav den viktigaste var företagsledningens omedelbara engagemang och intresse för hur arbetet framskred. Budskapet klargjordes; att avveckla Hunterston A var lika viktigt som allt annat inom företaget. Man ställde upp mål och hela laget deltog aktivt i framtagningen av handlingsplaner för arbetet. Parallellt med detta fick man stöd att bearbeta känslan av att man ryckte undan arbetet för sig själv.

Resultatet blev att man mer än fördubblade produktiviteten, avslutade bortforslingen av bränslet nära fem månader tidigare än beräknat och inom kostnadsramarna. Dessutom återanställdes alla som ville vara kvar i företaget.

## 5.2 Tyskland

Sedan 1956, när Atom-programmet lanserades, har förbundsregeringen stött utvecklingen av tysk kärnkraftsteknologi först i fyra specialprogram och senare inom ramen för ett allmänt energiprogram. Den fredliga användningen av kärnkraft startade 1959 och sedan dess har verksamheten expanderat kraftigt. Flera nationella forskningscentra byggdes. 1961 togs den första prototypreaktorn och i slutet av 60-talet togs det första kommersiella kärnkraftverket i drift. De senare är privatägda. Totalt finns idag 20 reaktorer i drift vid 15 anläggningar spridda över landet, vilka togs i drift mellan 1968 och 1989. Effekten varierar mellan 357 MW(e) för den minsta (KWO Obrigheim) till 1400 MW(e) för den största (KKI-2 Isar). Fjorton reaktorer är av tryckvatten- och sex är av kokarvattentyp. Till detta kommer forsknings- och prototypreaktorer (totalt ett fyrtiotal) med kringanläggningar.

### 5.2.1 Reglering av avvecklingsprocessen

Atomenergilagen med föreskrifter, statuter och tekniska krav gäller även vid avveckling. Den inledande "postoperativa fasen" när bl a bränslets avlägsnas, täcks av drifttillståndet och ingår därför inte legalt i avvecklingsprocessen. De övriga avvecklingsstegen kräver tillstånd av samma slag som vid övrig kärnteknisk verksamhet. Myndigheterna genomför dessutom regelbundna inspektioner, vanligtvis genom det tekniska kontrollorganet TÜV (Weil, 1998).

Många av de direktiv under föreskriftsnivå som gäller vid drift gäller också vid avveckling, till exempel för strålskydd och avfallshantering. Det finns också regler som styr avvecklingsprocessen, exempelvis föreskrifterna om strålskydd, gränser för exponering för strålning samt allmänhetens medverkan när man söker avvecklingstillstånd.

Eftersom lagen inte innehåller några särregler för avveckling, har det uppstått olikheter i förbundsstaternas tillståndsgivningsprocedurer. I samband med ansökningarna kräver förbunds-länderna dokument som visar hur man tänker gå tillväga, vilka effekterna förväntas bli för miljön, vilka strålskyddande åtgärder som skall vidtas osv. I Tyskland finns ingen myndighet som är ensam ansvarig för hela kärnkraftsområdet. Förbunds-ländernas regeringar anger själva vilka myndigheter och experter som skall ha ansvar för kärnkraftsfrågor.

Förbundsministeriet för miljö, naturskydd och kärnkraftssäkerhet, BMU, underrättas om tillståndsansökningarna samt ansvarar för att dessa utvärderas och kontrolleras. Till sin hjälp har den kommissionen för reaktorsäkerhet (RSK) och kommissionen för strålskydd (SSK), i vilka ingår oberoende experter. Rekommendationer tas fram i specialiserade underkommittéer.

Förbundsregeringen har i en vägledning sammanfattat de delar av tillståndsförfarandet och inspektionsverksamheten som är tillämpliga vid avveckling. Syftet är att försöka skapa en gemensam referensram för förbunds-länderna och harmonisera tolkningar och procedurer.

Vägledningen, som har status av råd, innehåller förslag till hur man kan gå tillväga vid avveckling av kärnkraftverk enligt 7 § i Atomenergilagen (Federal Gazette, 12 nov 1996).

## **5.2.2 Avvecklingsstrategier**

I Tyskland tillämpas två strategier för avveckling. "Safestore" respektive "omedelbar rivning". Den förstnämnda har en övervakningsperiod på 30 år innan den slutliga rivningen genomförs, dvs betydligt kortare än Storbritannien. Båda alternativen innebär i slutändan att marken återställs, dvs "green-field" status (Weil, 1998:146).

Den första fasen, "post operation" omfattas alltså av det ordinarie drifttillståndet och beräknas ta mellan 24 och 36 månader. Därefter väljs strategi, dvs safestore eller omedelbar rivning. För att kunna ge avvecklingstillstånd behöver myndigheterna 12 månader för granskningen. Det innebär att det tar minst 48 månader innan verket kan gå vidare med avvecklingsarbetet (Essman, 1995).

Avvecklingsstrategi väljs beroende på de rådande omständigheterna och valet bör därför inte göras för långt i förväg. Av vikt är om anläggningen har en eller flera reaktorblock, vilka resurser som finns för att ta hand om avfallet, energipolitiken, tillgängliga tekniker och möjligheterna att skapa fortsatt sysselsättning för personalen genom att utnyttja anläggningen för annan produktion.

## **5.2.3 Läget på avvecklingsfronten**

Det första avvecklingsprojektet initierades i slutet av 70-talet, när skeppet NS Otto Hahn togs ur bruk efter drygt tio års tjänst. Därefter har flera mindre avvecklingsprojekt genomförts. I huvudsak har det rört sig om forskningsanläggningar. Fortfarande saknas erfarenheter från avveckling av storskaliga kommersiella kärnkraftverk.

### **5.2.3.1 Prototyp- och forskningsanläggningar (BMBF)**

Alla anläggningar (dvs prototyp- och forskningsanläggningar) sorterande under förbundsministeriet för bildning och forskning (BMBF), befinner sig i olika stadier av avveckling. Det rör sig om åtta reaktorer, uppberedningsanläggningen WAK i Karlsruhe, det underjordiska laboratoriet i Asse saltgruva samt ett flertal heta celler och laboratorier vid de nationella forskningscentrumen. Även anläggningarna i gamla DDR, för vilka man övertog ansvaret efter återföreningen, är under avveckling.

Forskningsreaktorerna har blivit överflödiga på grund av minskat behov av FoU. Tre prototypreaktorer (SNR-300 och THTR-300 och Wackersdorf uppberedningsanläggning) utfasades redan 1980 på grund av oenighet om policyn bland huvudaktörerna på kärnkraftsområdet. Därmed blev också pilotanläggningarna KNK, AVR och WAK överflödiga.

Oro för säkerheten ledde till stängning av laboratorier i ASSE saltgruva och de ryskbyggda reaktorerna i Östtyskland (Papp m fl, 1998).

De viktigaste nu pågående avvecklingsprojekten finns vid Karlsruhe respektive Jülich forskningscentrum.

Experimentanläggningen AVR vid Jülich fungerade framgångsrikt i 20 år tills den stängdes 1988. Den är Jülichs största avvecklingsprojekt. "Safestore" förväntas uppnås omkring år 2003. Viktiga avvecklingsprojekt vid Karlsruhe är KNK-reaktorn (motsvarigheten till AVR), som stängdes 1991. Förhoppningsvis har den nått "green field" status omkring 2003 – 2005. FR-2-reaktorn stängdes 1981 och är nu i "safestore". Övriga avvecklingsprojekt är MZFR som förväntas vara helt avvecklad (green field) framemot 2003 – 2006.

I Bayern finns reaktorn HDR i Karlstein och fanns pilotkärnkraftverket KKN i Niederaichbach. Det sistnämnda är den första europeiska reaktor som avvecklats till "green field status". Avvecklingen påbörjades 1975 och avslutades 1995 med att ett träd planterades på den återställda marken. Reaktorn togs aldrig i normal drift på grund av problem med ånggeneratoren. Projektet har varit ett testfall på strategin omedelbar avveckling till "green field".

THTR i Hamm, Nordrhein Westfalen, stängdes 1989 efter en drifttid på sex år på grund av tekniska problem. Samtidigt påverkades opinionen av händelserna i Tjernobyl. Anläggningen befinner sig för närvarande i "safestore" (stadium 2). Projektet sägs ha givit värdefulla kunskaper inför framtida avvecklingar.

Avvecklingarna av KKN och THTR-reaktorerna genomfördes på totalentreprenad. Här fanns ingen egen personal med i avvecklingsarbetena. Diskussioner pågår emellertid inför kommande projekt om inte entreprenören skulle kunna ta över en del av verkets personal. En viktig anledning är att anläggningskunskaper är nödvändiga för att avvecklingsarbetet skall kunna genomföras på ett säkert sätt.

Tillståndsgivningsprocedurerna skilde sig mellan projekten. Vid avvecklingen av KKN utfärdades en övergripande licens som gav utrymme för att under arbetets gång ta fram detaljerade procedurer och arbetsrutiner. I fallet THTR utfärdade man istället licensen stegvis utifrån detaljplanerade arbetssekvenser och rutiner. I det senare fallet uppstod förseningar och kostnaderna blev högre. Detta visar att en övergripande och flexibel procedur är att föredra (Ebbinghaus & Haferkamp, 1998).

AVR, KKN, KNK, MZFR och WAK deltar i OECD/NEAs samverkansprogram.

### **5.2.3.2 Anläggningarna i gamla Östtyskland (EnergieWerke Nord)**

Det statliga Energie Werke Nord har ansvar för att omstrukturera verksamheterna vid kärnkraftsanläggningarna i fd DDR, främst det gigantiska kärnkraftverket i Greifswald med åtta ryskbyggda VVER-reaktorer med en gemensam turbinhall (1 km lång) beläget vid Östersjön inte långt från Trelleborg. (Tre av de åtta reaktorerna blev aldrig färdigbyggda.)

Till detta kommer den ryskbyggda prototypreaktorn i Rheinsberg (belägen mitt i ett naturskyddsområde), "the construction site" i Stendal och avfallsanläggningen i Morsleben. Anläggningarna stängdes 1990 strax efter sammanslagningen. En revision gjordes inför en eventuell återstart, men man beslöt att lägga ner samtliga anläggningar på grund av att den politiska opinionen var emot och det ekonomiska läget var osäkert. Sedan dess har man brottats med problemet att minska personalstyrkan från 14 000 till 1 400 samtidigt som man övergått till marknadsekonomi och västtyskt regelverk (Biedermann, 1997).

Andra anläggningar som för närvarande avvecklas i fd DDR är det fd sovjetisk-tyska bolaget Wismuts uraniumgruveverksamhet och Rosendorf forskningscentrum.

Greifswald är kanske det största seriella avvecklingsprojektet i världen. Man har bildat en projektorganisation för att hantera totalt ca 600 arbetsorder (work packages). En detaljerad nätverksplan har gjorts upp för att kunna optimera kostnader och personal, så att man kan behålla en konstant arbetsstyrka genom hela projektet. Genomförandet beräknas ta femton år i Greifswald och elva i Rheinsberg.

Man valde strategin omedelbar rivning och återställande av marken (dvs green -field) framför "safe enclosure" för båda anläggningarna. Den senare beräknades nämligen bli dyrare: Totalkostnaden uppskattades bli 20 % dyrare, stråldoserna omkring 20 % högre och avfallsvolymen omkring 10 % större. (Jämför här beräkningar och argument i Storbritannien – där anser man att stråldoserna blir lägre och avfallet mindre. Avvecklingen går i de tre gängse faserna: Post-operation, dismantling och site restoration utan några fördröjande viloperioder emellan. )

Greifswald har haft stor betydelse för sysselsättningen i regionen. För att ge bygden framtidstro satsar man på tre ersättningsprojekt. Det första steget är att skapa ett internationellt teknologisentrum, för att samla och värdera erfarenheterna från avvecklingsarbetet och utveckla "know – how" om kärnkraftsavveckling. Senare tänker man att bygga ett nytt konventionellt kraftverk och en termokär experimentreaktoranläggning.

Erfarenheterna från avvecklingen av KKN i Niederaichbach och det som hittills gjorts i Greifswald och Rheinsburg, dvs från storskaligare anläggningar, visar enligt Volksmann & Löschnhorn, 1995, att tekniker och metoder för avveckling nu finns på marknaden. För stora projekt är det projektledning samt avfallshantering och dess logistik, som är det nya och intressanta. Erfarenheterna visar också att det är helt nödvändigt att förvara de stora kvantiteterna avfall utanför anläggningsområdet. Avvecklingen av anläggningarna i Öst har inte visat sig vara svårare att genomföra än i Väst.

### **5.2.3.3 Kommersiella kärnkraftsreaktorer i västra Tyskland**

Avvecklingen av de kommersiella reaktorerna KRB-A Gundremmingen (1966 – 77), KWL Lingen (1968 – 77) , VAK Kahl (1960 – 85) och KWW Würgassen (1971 – 95), har inletts.

Gundremmingen är Tysklands första kommersiella reaktor och samtidigt ett pilotprojekt för rivning.

Reaktorn i Lingen är speciell; beslutet att avveckla kom sent och inneslutningen byggdes först 11 år efter den slutliga stängningen. Anläggningen, som nu är i "safe enclosure", övervakas av personal vid ett intilliggande verk.

Würgassen stängdes slutgiltigt 1994 på grund av sprickbildning i reaktorinneslutningen (the core shroud and core grid plates). Ägaren Preussen Elektra beslöt 1995 att avveckla verket eftersom en modernisering skulle innebära ett alltför stort ekonomiskt risktagande. Detta blir det första avvecklingsprojektet som bekostas av privata medel.

#### **5.2.4 Slutsatser**

Hittills har det alltså mest handlat om avveckling av forskningsreaktorer vid de nationella forskningscentren, vilka har tenderat att anlita entreprenörer (t o m från Storbritannien). Av flera skäl vill man i Tyskland finna vägar att kunna använda den egna personalen i avvecklingsarbetet. En tanke är att entreprenörerna skulle kunna ta över en del av verkets personal för att få del av deras kunskaper om anläggningen.

Den tyska folkopinionen är negativ till kärnkraft, men eftersom landet får en tredjedel av sin elektricitet den vägen, har "Bundesministerium für Bildung und Forschung", BMBF, förordat fortsatt användning. Man anser det vara oerhört viktigt för kärnkraftens framtid i Tyskland att praktiskt kunna visa att det är möjligt att avveckla kärnkraften på ett sätt som är miljövänligt, säkert och kostnadseffektivt. Den nya "röd-gröna" regeringen under förbundskansler Gerhard Schröder har dock nyligen (dec 1998) aviserat att kärnkraften skall avvecklas i Tyskland.



## 5.3 Frankrike

De första kärntekniska anläggningarna byggdes redan på 50-talet. Frankrike, som är tvåa bland världens kärnkraftsproducenter, hade i april 1998 58 reaktorer i drift och en under uppförande.

Tre bolag ansvarar för avvecklingen av Frankrikes kärntekniska anläggningar. Electricité de France, EDF, svarar för de kommersiella reaktorerna. Commissariat à l'Énergie Atomique, CEA, har forsknings- och utvecklingsreaktorerna på sin lott och Cogema de övriga kärntekniska anläggningarna, exempelvis för upparbetning av kärnbränsle.

### 5.3.1 Regulatoriska aspekter

Direction de la Sûreté des Installations Nucleaire, DSIN, har formulerat generella säkerhetskrav för kärnkraftsanläggningar. Tillståndshavarna är i princip fria att välja strategier och tekniker för avveckling förutsatt att säkerhetskriterierna uppfylls. Dessa manifesteras i en rad tekniska föreskrifter (Brigaud, 1998).

Eftersom den första fasen i avvecklingsprocessen inte skiljer sig så mycket från ordinarie drift faller den under drifttillståndet. Enligt bestämmelserna skall DSIN informeras sex månader innan avvecklingen skall påbörjas. En säkerhetsrapport skall dessutom avlämnas. Den första fasen avslutas med att myndigheten (DSIN) lämnar rapport samt besöker anläggningen. För att få påbörja de båda senare faserna krävs ett formellt tillstånd signerat av premiärministern och kontrasignerat av industri- och miljöministrarna efter medgivande av hälsoministern. Tillstånd ges först efter en grundlig genomgång av de dokument som erfordras (säkerhetsanalysen, det föreslagna generella tillvägagångssättet, avvecklingsplanen etc.) Denna process, som beräknas ta 18 – 24 månader, innefattar också en offentlig utfrågning. Efter varje steg måste tillståndshavaren alltså kunna visa myndigheten att avvecklingsarbetet kan genomföras på ett säkert sätt. Den stegvisa ansatsen har, enligt företrädare för myndigheten, visat sig vara flexibel och effektiv.

### 5.3.2 Avvecklingsstrategier

I praktiken formaliserade man avvecklingsproceduren 1990 genom att göra ett tillägg till den grundläggande förordningen för DSIN. Enligt detta tillägg skall avvecklingen genomföras i tre faser, som syftar till att gradvis reducera strålningsriskerna (jämför med IAEA).

1. En fas som leder till upphörandet av driften. ("Förvaring under övervakning.")

I denna fas avlägsnar man bränslet, tömmer systemen och det operativa avfallet (filter mm) forslas bort. Det avfall som finns kvar på området avlägsnas.

2. En fas som leder till ”stängningsstatus”. Denna kan påbörjas redan innan den första fasen är avslutad. (”Begränsad friklassning av området”.)

I denna fas rivs den utrustning som finns på utsidan av den ”nukleära ön” och som inte längre behövs av underhålls- och säkerhetsskäl. Därefter förstärks reaktorinneslutningen. Till sist görs en fullständig inventering av hur mycket radioaktivitet som finns kvar.

3. En fas där återstoden av anläggningen rivs. (”Friklassning.”)

Denna fas kan antingen starta i omedelbar anslutning till den föregående eller fördröjas i ca 40 år.

### **5.3.3 Läget på avvecklingsfronten**

I slutet av 60-talet började man avveckla forskningsanläggningarna. Sedan dess har flera mindre anläggningar monterats ned. Avvecklingen av de första kommersiella kärnkraftverken inleddes på 80-talet. 21 kärnkraftsreaktorer hade våren –98 stängts av och börjat läggas ner. Flertalet av dessa, 13 st, är forskningsreaktorer. Till detta kommer 11 kärntekniska anläggningar av typ bränsle- och avfallsanläggningar mm. Omkring 2015 förväntas många av de större kommersiella reaktorerna ha tjänat ut (Brigaud a.a.).

#### **5.3.3.1 FoU-reaktorer (CEA)**

Om det föreligger risk för materialdegradering eller om det bara finns långlivade nuklider är strategin omedelbar rivning. I annat fall väljer man ofta att fördröja rivningen. Här måste man dock göra en avvägning. Väntan minskar strålningen, men ökar kostnaderna. Övervakning och beredskap är dyrbar, eftersom dessa aktiviteter kräver tillgång till kompetent personal under lång tid.

Flera av CEAs forskningscentra är belägna i närheten av storstäder, till exempel Fontenay aux Roses i Parisområdet och centret i Grenoble. De verksamheter som är förknippade med radioaktivitet skall flyttas och anläggningarna rivas så snart som möjligt.

I Fontenay aux Roses finns bl a bränsleanläggningar. Laboratorium RM2 stängdes 1980 och befinner sig i avvecklingsfas 2. Byggnad 18, innehöll bl a ett laboratorium för plutoniumkemisk forskning. Dessa aktiviteter har nu flyttats till Marcoule. I Grenoble finns forskningsreaktorerna Melusine och SILO, som definitivt stängdes av 1988 respektive 1997. Rivningen, som genomförs av entreprenörer, skall påbörjas 2000 respektive 2003.

Av CEAs tretton forskningsreaktorer är tio helt eller delvis rivna, nämligen EL 2, César, Zoe, Peggy, Pégase, Minerve, EL3, Néréide, Triton och Marius. De flesta av dessa är mycket små. Ett par, Meslusine och Harmoni, är i stängningsfas. Till detta kommer sex nedlagda laboratorier eller bränsleanläggningar, till vilka hör den första plutoniumfabriken

samt den nämnda Byggnad 18 vid Fontenay aux Roses. Några forskningsreaktorer har avvecklats till fas 2.

Rapsodiereaktorn i Cadarache (1967 – 1981) nådde fas två 1997 liksom de första grafit-modererade gaskylda reaktorerna i Marcoule, G1 och G2 – 3. Under avvecklingen av Rapsodie skedde en explosion (natrium reagerade med alkohol), som ledde till fyra dödsfall och en skadad. Orsaken var brister i överföringen av det ”organisatoriska minnet”. De som genomförde arbetet hade inte tillräckliga anläggningskunskaper.

Avvecklingen av pilotreaktorn EL 4 (1962 – 1985) vid Monts d’Arre-verket, som är beläget mitt i en nationalpark i Bretagne, är sedan 1993 ett pilotprojekt inom OECD/NEA. Det innebär att avvecklingen kommer att följas mycket noga. Anledningen till stängningen efter 18 års drift var att EL 4 fyllt sitt syfte som experimentreaktor. Bränslet hade forslats bort och systemen tömts i slutet av 1992. Den andra avvecklingsfasen skall vara avslutad 1999. Då skall de fem kringbyggnaderna vara rivna och den kvarvarande reaktorbyggnaden ha förstärkts inför den 40-åriga viloperiod som föregår den slutliga nedmonteringen.

EL4-reaktorn kan visserligen inte mäta sig med nyare reaktorer vare sig i skala eller teknologi, men avvecklingen ses ändå som ett test på ett industriellt avvecklingsförfarande. Erfarenheter skall samlas inför den avvecklingsvåg som kommer omkring 2015, då flera av de kommersiella tungvattenreaktorer har tjänat ut. Målet inför kommande avvecklingar är att:

- Minimera avfallet. 90% av materialet från rivningen bör kunna återvinnas.
- Inget radioaktivt avfall skall lämnas kvar på området; allt skall forslas till anläggningar för återvinning, mellanlagring och slutförvar.
- Säkerställa att allt radioaktivt avfall som forslats bort från en anläggning går att spåra.

### **5.3.3.2 Övriga kärntekniska anläggningar (Cogema)**

Bränsleanläggningar har i viss mån andra egenskaper än kärnkraftreaktorer, vilket man måste ta hänsyn till vid avvecklingen. De består exempelvis ofta av avgränsade moduler. Avvecklingen är dessutom förknippad med fler typer av risker av såväl mekaniskt som kemiskt slag. Även farligt damm förekommer. Strålningsriskerna är delvis annorlunda.

Ett projekt som nyligen påbörjats är avvecklingen av uppberedningsanläggningen, UP1 i Marcoule. Den första fasen inleddes så sent som i januari 1998 och förväntas pågå i 2 – 3 år. Anläggningen skall enligt planerna vara fullständigt rivna omkring 2030.

### 5.3.3.3 Äldre kommersiella kärnkraftsreaktorer (EDF)

Enligt EDFs policy från 1986 skall kärnkraftverken avvecklas i tre steg, där rivningen (fas 3) fördröjs med ca 50 år räknat från stängningen. En viktig anledning sägs vara att personalen därigenom utsätts för lägre stråldoser. Om 50 år förväntas det också finnas utrymmen för långtidsförvaring av avfallet. Kärnkraftsmyndigheten, DSIN, hävdar å sin sida att materialet åldras, vilket kan påverka säkerheten och kräver därför att anläggningen hålls under adekvat övervakning. En god balans måste också, menar DSIN, eftersträvas mellan för- och nackdelarna mellan att riva genast eller efter en viloperiod. CEA och EDF har därför ålagts att utreda möjligheterna att förkorta viloperioden. Utredningen skall vara klar under 1999.

Under 80-talet genomfördes avvecklingarna av den egna personalen, som kände anläggningarna väl. I framtiden har man för avsikt att använda entreprenörer i större utsträckning. Fördelen är att entreprenörer kan specialisera sig. En nackdel är att ansvaret riskerar att urholkas. DSIN kräver därför att ägarna skall ansvara för säkerheten; avvecklingen skall organiseras så att varje aktörs roll är klart definierad. Det måste också finnas ett kvalitetssäkringssystem och träningsprogram så att de entreprenörer som skall genomföra avvecklingsarbetet får bättre kunskaper om anläggningen.

Alla kommersiella reaktorer som har upphört att producera elektricitet är grafitmodererade och gaskyllda (GCR) med undantag av Chooz A och Brennilis.

Chooz A (1967 – 1991) var den första franska tryckvattenreaktorn (PWR). Denna är belägen i en konstgjord grotta, vilket medfört en speciell avvecklingsstrategi. Här har man tillämpat en förstärkt fas 1-ansats. Man river alltså bara en del av anläggningen.

EL 4 vid Mont d'Arre-verket i Brennilis i Bretagne, är en gasprototypreaktor av tungvattentyp (HWGCR) som drivits gemensamt av EDF och CEA. Den är typisk för de reaktorer som byggdes på 50 – 60-talen. Avvecklingssteg 2 uppnåddes hösten 1997. Detta pilotprojekt beskrivs i nästa avsnitt om avvecklingen av FoU-reaktorer.

Chinon A1 (1963 – 73) är delvis riven och placerad i "safestore" för att vila i 40 år. Anläggningen fungerar nu som ett museum.

Chinon A2 (1965 – 85) är också delvis riven och placerad i "safestore" för 40-årig vila.

Chinon A3 (1966 – 90) befinner sig i "rivningsfas" (nr 3) sedan 1996.

St Laurent A1 (1969 – 1990) är i "stängningsfas" (nr 2) sedan 1993.

St Laurent A2 (1971 – 92) är i "stängningsfas" (nr 2) sedan 1994.

Bugey 1 (1972 – 94) är likaledes i "stängningsfas" (nr 2) sedan 1996.

### 5.3.4 Generella erfarenheter från avvecklingsarbetet i Frankrike

Följande generella erfarenheter kan, enligt Brigaud (1998) dras av det hittillsvarande avvecklingsarbetet i Frankrike. Å ena sidan verkar det som om riskerna för miljön är lägre under rivnings- än under driftfasen, eftersom man avlägsnar bränsle och media i början av avvecklingen. Å andra sidan är riskerna för personalen större eftersom den kommer i nära kontakt med nedsmutsade och radioaktiva material (strålningsrisker) eller måste hantera farliga substanser och tekniker (konventionella risker).

För att minska riskerna har det visat sig vara viktigt att förbereda och träna den personal som ska genomföra arbetet. Samtidigt krävs god kunskap om anläggningen och dess historia. Detta är något att tänka på om man avser att anlita entreprenörer eller om anläggningen skall rivs lång tid efter stängningen. Avsaknad av ”organisatoriskt minne” och dokumentation ledde nyligen till en olyckshändelse; en anläggning kontaminerades av radioaktiv strålning, därför att man oavsiktligt skar av en ”okänd” ledning.

När CEA, Cogema och EDF gemensamt summerar sina erfarenheter från kärnkraftsavvecklingar framgår det bl a hur viktigt det är att ha med personal från verket i avvecklingsarbetet, eftersom deras kunskap om anläggningen är oundgänglig för säkerheten.

Vid avveckling produceras dessutom avfall i helt andra kvantiteter och av andra typer än vid drift. Till exempel kommer avvecklingen av EL4 i Brennilis att ge åtskilliga tiotusentals ton avfall. Av detta är mycket lågaktivt kärnavfall, LLW, typ betong och metallskrot. Att få till stånd en god hantering av detta avfall är synnerligen viktigt.

## 5.4 Västeuropa i övrigt

Av Europas 218 verksamma kärnkraftsreaktorer finns majoriteten, 151 st i Västeruropa. Flest reaktorer finns i Frankrike, Storbritannien och Tyskland, följt av Sverige, Spanien, Belgien, Schweiz, Finland och Nederländerna. Det stora flertalet av de Östeuropeiska reaktorerna, dvs 45 st, finns i forna Sovjetunionen. Av exempelvis Rysslands 29 reaktorer förväntas 28 ha nått sin livslängd fram till 2020. I denna rapport är det emellertid Västeuropa som står i fokus.

Om man undantar storproducenterna Frankrike, Storbritannien och Tyskland, är erfarenheterna av kärnkraftsavveckling ännu inte så stora i Västeuropa. I OECD/NEAs samverkansprogram ingår avvecklingen av en mindre tryckvattenreaktor, BR-3 i Mol (1962 – 87). Den kommersiella gaskylda reaktorn Vandellos 1 (1972 – 89) i Spanien stängdes efter en brand i turbinerna. Till detta kommer Eurochem, en uppberedningsanläggning för kärnbränsle, i Dessel (1966 – 74). Mol är dessutom ett av EUs pilotprojekt. Dessa tre anläggningar ingår i NEAs samverkansprogram.

Nederländernas första kärnkraftverk, Dodewaard, stängdes i mars 1997. Verket är mycket litet och av prototypkaraktär: den enda reaktorn (av kokarvattentyp) har en effekt på endast 59MW(e). Anledningen till att det byggdes var att man ville utvinna erfarenheter inför kommande satsningar på kärnkraft. Beslutet om avveckling kom oväntat i oktober 1996, när man som bäst var i färd med en omfattande modernisering. El-produktionen stängdes av i mars 1997. Det kanske viktigaste skälet till stängningen var att verksamheten inte förväntades bära sig ekonomiskt när elmarknaden avreglerades. Dessutom vill regeringen skjuta på beslutet om att bygga fler kärnkraftverk. Företaget antog en social plan som bl a innebar att personal under 45 år fick stöd för att söka andra anställningar, medan de från 55 år erbjöds att vara kvar och sedan få förtidspension från 60 år. Personalstyrkan har nu minskats från 150-50 personer. Den egna personalen reduceras successivt och används främst som arbetsledare för de anlitate entreprenörerna. Avvecklingen har påbörjats, men kommer sannolikt att fördröjas. Diskussioner i Belgien och Nederländerna om säkerheten har nämligen lett till att alla transporter av uttjänt kärnbränsle har stoppats. Bränslet måste tills vidare lagras på anläggningsområdet och därmed förhindras rivningen av vissa processsystem. Enligt planerna skulle anläggningen befinna sig i "safe enclosure" år 2003 (Ruesen, 1999).

Italien är speciellt så tillvida att samtliga fyra kärnkraftverk stängdes 1987 efter en folkomröstning. Händelserna i Tjernobyl påverkade folkopinionen. Italien tillämpar i likhet med många andra strategin att låta anläggningen vila i en "safestore" i några decennier innan rivningen genomförs. En anledning är bristen på lagringsplatser för det låg- och medelaktiva kärnavfallet. Detta avfall mellanlagras nu på anläggningsområdet. Man saknar dessutom en central plats för mellanlagring av uttjänt kärnbränsle (Del Nero, 1998). Vid tidpunkten för stängningen saknades fonderade medel för att finansiera avvecklingen, vilket tillsammans med bristen på lagringsmöjligheter bidragit till att fördröja själva avvecklingsarbetet. I

Italien används både egen personal och entreprenörer, men man börjar nu få brist på kompetent personal inom kärnkraftsområdet (Grossi, 1999).

Bränslet från de båda äldsta verken är bortforslat, dvs från Garigliano (1964 – 78) och Latina (1963 – 86), som nu förbereds inför viloperioden. Bränslet har tagits om hand av BFNL i Storbritannien. I Trino (1964 – 87) finns bränslet fortfarande kvar i bassängen för uttjänt bränsle och i Caorso (1981 – 86) är bränslet även kvar i reaktorn. I början av 1999 förväntas dock allt bränsle ha flyttats över till bassängen. Dessutom har Italien en forskningsreaktor i Saluggia och forskningscentra i Casaccia och Trisaia. Till detta kommer EU-anläggningen Ispra.

Några publikationer som närmare beskriver avvecklingen från ett MTO-perspektiv har jag inte funnit. Norge har som bekant inga kärnkraftverk, men en forskningsreaktor i Halden. En uppberedningsanläggning för kärnbränsle i Kjeller har dock avvecklats. Från denna finns erfarenheter dokumenterade som är av intresse från ett MTO-perspektiv (Tema Nord 1994:594).

Det framkom att personalen upplevt rivningen som en demoraliserande och destruktiv uppgift. Det fysiska arbetet är tufft, komplicerat och tidskrävande. Det tar vanligtvis dubbelt så lång tid som det konventionella arbetet. Till det negativa hör att anläggningen blivit av föga praktiskt intresse. Fortlöpande under rivningen uppstår en rad tekniska och praktiska problem samtidigt som det genereras radioaktivt avfall.

Projektledningen hävdar därför att en positiv argumentation är nödvändig! Ledningen måste hela tiden visa ett intresse för projektet och markera att arbetet är viktigt. Personalen måste få motivation och känna att det man gör blir uppskattat. (Exempelvis få veta att de genom att utföra avvecklingsarbetet tar ansvar för kommande generationers väl.)

Arbetslaget måste få ett stort ansvar. Personalen måste själva få utveckla, testa och utvärdera arbetsrutiner och procedurer. Det förordas också att personalen om det är möjligt får rotera mellan olika uppgifter, t ex mellan avveckling och drift om det finns ytterligare block. Vidare är det väsentligt att ha en plan för hur allt slags avfall skall hanteras, annars riskerar det att bli av sekundärt intresse för laget. Följande slutsatser dras från avvecklingen av Kjeller:

- Ledningen har en avgörande roll när det gäller att skapa goda förutsättningar för avvecklingsarbetet.
- Ledningen måste uppmuntra laget och visa att arbetet är viktigt.
- Man bör eftersträva att arbetslagen får hög grad av flexibilitet genom att kombinera många olika kompetenser och erfarenheter.
- Under arbetets gång är det viktigt att ofta tänka över den stegvisa planeringen. De riktigt goda lösningarna kommer nämligen fram i diskussionerna i arbetslaget.
- ”Ordning och reda” är nödvändigt för att bibehålla en hög moral.

Även Sverige har avvecklat en kärnkraftsreaktor. Ågesta, den första kraftproducerande reaktorn, drevs mellan 1964 och 1974. Den var en sk tungvattenreaktor med en effekt på

bara ca 13 MW och insprängd i ett bergrum. Ågestareaktorn drevs med svenskt uran och blev snabbt omodern då Sverige kunde köpa anrikat uran på världsmarknaden. Därefter byggdes modernare lättvattenreaktorer. Nedlagda forskningsreaktorer är R1 vid KTH samt RO, FR-O och TZ i Studsvik. Till detta kommer plutoniumlaboratorierna i Studsvik och Ursvik, vilka även är nedlagda.

1 december 1999 stängdes den första storskaliga kärnkraftsreaktorn vid Barsebäck.



## 6. Avvecklingsläget en sammanfattning

### 6.1 Anläggningar under avveckling

Det finns många typer av kärntekniska anläggningar såväl i drift som i olika stadier av avveckling; inte bara reaktorer utan också radiokemiska fabriker, laboratorier, upparbeitungs- och avfallsanläggningar. Hittills är det, som synes, mest forsknings- och pilotreaktorer med kringanläggningar som avvecklats. Erfarenheterna från avveckling av storskaliga kommersiella kärnkraftverk är ännu ringa.

*De flesta forsknings- och prototypanläggningar har redan stängts eftersom de inte längre behövs.*

*Storbritannien* har ca 200 överflödiga FoU-anläggningar, bland dem fyra äldre pilotreaktorer. Flaggskeppet är den gaskylda Windscale-reaktorn, som också är ett demonstrationsprojekt inom OECD/NEAs samverkansprogram. Med projektet vill man visa att det är möjligt att utan fördröjning avveckla en reaktor till "green field" status, vilken förväntas ha uppnåtts 2 003. (Sexton liknande reaktorer och 26 Magnox-reaktorer skall avvecklas efter millennieskiftet.) De övriga pilotreaktorerna finns vid Dounray, Winfrith och Harwell, men för dessa tillämpas "Safestore-strategin".

Alla anläggningar, som faller under BMBF (Bundesministerium für Bildung und Forschung) i *Tyskland* håller på att avvecklas. Det rör sig om åtta reaktorer, återvinningsstationen WAK i Karlsruhe, det underjordiska laboratoriet i Asse saltgruva samt ett flertal heta celler och laboratorier vid de nationella forskningscentren. Dessutom finns några anläggningar i fd DDR.

KKN i Niederaichbach var den första europeiska reaktor som avvecklades till "green field". Det är ett demonstrationsprojekt inför kommande avvecklingar av kommersiella reaktorer. Avvecklingen genomfördes på totalentreprenad.

I *Frankrike* började man avveckla forskningsanläggningarna redan på 60-talet. Av CEAs tretton forskningsreaktorer, av vilka många är mycket små, är tio helt eller delvis rivna. Ett par, Melusine och Harmoni, är i stängningsfas. Till detta kommer flera laboratorier och bränslefabriker. Man håller på att flytta ett par mindre kärntekniska anläggningar som ligger i närheten av Paris respektive Grenoble. Två forskningsreaktorer har avvecklats till fas 2; Rapsodie i Cadarache och i G1,2 och 3 i Marcoule.

Avvecklingen av EL 4-reaktorn vid Mont d'Arre-verket, som ligger i hjärtat av en nationalpark i Bretagne, är ett pilotprojekt inom OECD/NEA. Reaktorn håller på att förstärkas inför sin första viloperiod. Här testas "industriella" metoder för avveckling. Man vill samla

erfarenheter inför den avvecklingsväg som kommer omkring 2015 då flera av de kommersiella tungvattenreaktorerna har tjänat ut.

*Avvecklingen av reaktorer vid kommersiella kärnkraftverk har påbörjats.*

Det gäller tre av Magnox Electrics nio gaskylda tvillingreaktorverk; Berkeley, Trawsfynydd och Hunterston. Reaktorerna stängdes slutgiltigt av mellan 1988-1993. Strategin är som brukligt i Storbritannien, fördröjd "safestore".

I Tyskland pågår avvecklingen av Gundremmingen A, Lingen, Kahl och Würgassen i västra Tyskland. Reaktorerna stängdes av någon gång mellan 1977- 85. Würgassen stängdes 1995 på grund av sprickbildning. Ägaren, Preussen Elektra, ansåg det inte vara lönsamt att modernisera anläggningen. (Preussen Elektra har betydande ägarintressen i Sydkraft.)

Det största projektet är emellertid avvecklingen av det gigantiska kärnkraftverket Greifswald vid Östersjökusten i Östra Tyskland. Verket har åtta ryskbyggda reaktorer med en gemensam turbinhall, som är en kilometer lång. Tre av reaktorerna hann aldrig tas i drift. Det är det största seriella avvecklingsprojektet i världen. Strategin är omedelbar rivning till "green field". Greifswald har haft stor betydelse för sysselsättningen i bygden. En personalstyrka på 1400 har reducerats till 400.

Frankrike avvecklar sju kommersiella reaktorer; Chooz A (belägen i en konstgjord grotta), Chinon A1, A2 (båda är i safestore) och A3 ( håller på att slutgiltigt rivas) St Laurent A2 och A2 (båda är i fas 2) samt Bugey 1 (fas 2). Vid det äldsta, Chinon A1, upphörde elproduktionen 1973 och vid det yngsta, Bugey 1, 1994. Alla utom Chooz A är grafitmodererade och gaskylda.

Italien stängde alla fyra kärnkraftverken 1987 efter en folkomröstning. Tjernobyl påverkade folkopinionen. Nederländerna stängde nyligen, 1997, sitt första kärnkraftverk främst av ekonomiska skäl. Avregleringen av elmarknaden minskar lönsamheten.

## **6.2 Avvecklingsstrategier**

IAEA har gjort en grundläggande fasindelning av avvecklingsprocessen baserad på en successiv minskning av strålningsriskerna. Målet är att området skall friklassas och att marken skall kunna användas till vilka ändamål som helst. Det finns olika vägar att uppnå detta. Länderna utgår ifrån eller förhåller sig till IAEAs trefasindelning.

För att uppfylla målet (successiv minskning av strålningsriskerna) vidtas en serie aktiviteter. Huvudaktiviteterna benämns vanligtvis "post-operation", "dismantling" och "site-restoration". Om faserna görs i följd kan marken vara återställd (till green field status) efter en tioårsperiod.

Den första ”postoperativa” fasen genomförs vanligtvis av alla, men sedan finns alternativa strategier som innebär att rivningen skjuts upp för kortare eller längre perioder. I Storbritannien tillämpas ofta två viloperioder, en kortare på 30 år och sedan efter inkapsling en längre på 100 år (sk deferred safestore). I Tyskland och Frankrike tillämpas vanligtvis ”safestore”-strategin, dvs efter genomförandet av fas 1 förstärks reaktorn och läggs i vila i 30 respektive 40 år. Därefter river man reaktorn med byggnader och återställer marken, men även strategin omedelbar rivning tillämpas ibland både i Tyskland och Frankrike. I Storbritannien ställer sig industrin kallsinnig till denna strategi, trots att myndigheterna gärna ser att den tillämpas.

Strategivalet styrs av många faktorer. Argumenten för att skjuta upp rivningen är många och ibland motstridiga. Det allra viktigaste skälet är att det saknas lagringsutrymmen för avfallet. Avveckling producerar, som bekant, stora mängder radioaktivt avfall, varav större delen klassificeras som låg- och medelaktivt kärnavfall (LLW respektive ILW). Vid exempelvis Würgassen uppskattar man att 250 000 ton avfall kommer att behöva forslas bort. Uppemot 90% av detta avfall är betong. Bortforslingen ställer stora krav på transportsystemet. Här finns även problem med friklassningsgränser för lågaktivt avfall. Man är hårdare när det gäller friklassning av avfall från kärnkraftsindustrin än övrig industri (Menon, 1998). Man arbetar med att utveckla metoder för återvinning och att reducera volymerna genom nedsmältning av materialet.

Strålningen avklingar med tiden, vilket är ett annat viktigt skäl till att skjuta upp rivningen. Personalen kommer därmed att utsättas för lägre stråldoser. Väntar man, förväntas arbetet alltså bli mindre farligt. Förhoppningar om att ny och bättre rivningsteknologi ska utvecklas finns också. I värsta fall kan rivningen komma att äga rum så sent som 140 år efter stängningen. Vad vet man om läget 140 år framåt i tiden? Vem tar ansvar då? Vem minns? Frågetecknen är många. De internationella kärnkraftsorganisationerna förordar omedelbar avveckling, en strategi som också kommer att tillämpas i Sverige (SKB, 1994). Opinionen börjar bli emot att kommande generationer skall tvingas ta hand om bördorna. I Storbritannien förväntas den slutliga rivningen ske efter ca 140 år. Varför har man valt denna period? Det finns beräkningar som visar att doskurvan planar ut efter ca 130-180 år. Valet av just 140 år kan mot den bakgrunden framstå som godtyckligt.

## 6.3 Regulativa aspekter

Avveckling skiljer sig från drift; det gäller inte minst tidsskalan, organisationsstrukturen och allmänhetens förväntningar. Om man har en flexibel och icke-föreskrivande ansats kan dock samma regelverk tillämpas både vid drift och avveckling, menar Taylor m fl a.a., vilka företräder den brittiska kärnkraftsinspektionen, NII.

De tre länderna, Storbritannien, Tyskland och Frankrike, ställer generella säkerhetskrav på kärntekniska anläggningar. För att få tillstånd måste ett företag ta ansvar för anläggningen från det att den konstrueras tills dess att den inte längre klassificeras som kärnteknisk, dvs för hela dess livscykel. Några principiella särregler för avveckling finns inte. I Storbritannien

krävs att tillståndsinnehavaren skisserar ett avvecklingsprogram redan på designstadiet, för att utarbetas mer i detalj när man närmar sig avställning.

Avveckling får inte påbörjas utan tillstånd. I Tyskland och Frankrike räknas den första ”postoperativa” fasen legalt inte till avvecklingsprocessen. Den anses inte skilja sig så mycket från vanlig drift och omfattas därför av drifttillståndet. Avveckling skall i alla tre länder genomföras i faser. Tillståndsinnehavarna är själva fria att välja strategi förutsatt att de uppfyller säkerhetskriterierna. Valet står mellan omedelbar och fördröjd avveckling (”safestore”).

Inför tillståndsgivningen krävs planer för hur man skall gå tillväga. I Tyskland är det stipulerat att myndigheterna skall ha 12 månader på sig att granska dessa. Här har det uppstått olikheter i förbundsländernas tillståndsgivningsprocedurer. Harmoniseringssträvanden pågår och förbundsregeringen har givit ut en vägledning. Innan tillstånd ges för avveckling måste de franska tillståndshavarna göra en offentlig utfrågning. Fasindelningen av avvecklingsprocessen innebär i praktiken goda möjligheter för myndigheterna att kontrollera genomförandet, samtidigt som den ger flexibilitet.

Den grupp av ”senior regulators” som deltagit i IAEAs diskussioner om god avvecklingspraxis, menar att riskerna i princip är desamma vid drift och avveckling, men att den relativa vikten förskjuts. Man bör därför ställa samma krav på strålnings- och miljöskydd, avfallshandling, säkerhetskultur, kvalitetssäkringsprogram och resurser.

## 6.4. Managementstrategier

Trycket mot att kostnadseffektivera avvecklingsverksamheten är stark. Entreprenörer anlitas alltmer av kärnkraftsbolagen i flertalet länder för att genomföra avvecklingsarbetet. Det finns starka krafter för att skapa stordrift och en industriell avvecklingsbransch.

Det har bl a visat sig uppstå problem kring överföring av anläggningskompetens och ”organisatoriskt minne” från den ordinarie personalen till entreprenörerna. Olyckor och incidenter har uppstått. Säkerhetsmedvetandet är traditionellt högt inom kärnkraftsbranschen. Många entreprenörer kommer från anläggningsbranschen, som har en arbetskultur, som många gånger uppmuntrar risktagande. Samtidigt kräver avveckling ett visst nytänkande och delvis annorlunda kompetens än drift. Avvecklingsprojekt har inte minst i de senare faserna avsevärda likheter med stora bygg- och anläggningsprojekt.

Storbritannien, som är en av storproducenterna av kärnkraft, har använt entreprenörer i samband med avvecklingen av flera av sina anläggningar. Vid storskaliga avvecklingsprojekt använder man sig numera av sk Managing Agents (MA) (Pooley, 1996, 1997). Managing Agents tar efter anbudsförfarande över projektledningen och tillför därmed de kompetenser som behövs för avvecklingen, vilka saknas internt. Nya kunskaper och idéer utifrån kan behöva tillföras. Den interna fristående säkerhetsfunktionen bibehålls. Man

tillsätter externa projektledare för olika program, som i sin tur via anbudsförfaranden skall se till att genomförandet blir det bästa och billigaste.

Kärnkraftsinspektionen, NII, har inga principiella invändningar mot att anlita entreprenörer vid avveckling, men understryker att tillståndsinnehavaren förblir ansvarig. Denne är skyldig att definiera, leda och följa upp arbetet. "Safestore"-strategin innebär att avvecklingsprojekt kan komma att pågå under mycket lång tid (uppemot 135- 140 år), vilket kräver synnerligen långsiktig planering. Mycket stora krav måste ställas på att dokumentera och överföra det "organisatoriska minnet". En metod som anförs är systematisk "debriefing" av personalen. Brant (1995) menar att beställarna många gånger har förväntat att entreprenörerna skall ha fångat upp anläggningskompetensen i samband med de besök som gjorts i samband med anbudsgivningen. I många fall har entreprenörerna inte heller fått någon speciell utbildning i säkerhetstänkande. Management Agent-systemet är ett försök att komma till rätta med dessa problem (se även Rankine, 1997).

Som vi kunnat konstatera av bl a incidenten vid Dounreay, har det i praktiken visat sig vara svårt för ägaren att bibehålla kontrollen över verksamheten. Man har överlämnat för mycket av ansvaret till entreprenörerna, vars säkerhetstänkande har inte varit tillräckligt utvecklat. Dessutom har överföringen av anläggningskompetens inte fungerat. Det här är viktiga frågor som förtjänar speciell uppmärksamhet. Vid det lilla kärnkraftverket Dodewaard i Nederländerna, som sedan en tid håller på att avvecklas, använder man enligt Ruesen a.a. framgångsrikt ordinarie personal som arbetsledare för entreprenörerna. Det innebär att personal som känner anläggningen hela tiden finns tillgänglig och därmed kan överföra kunskap till entreprenörerna. Man borde också kunna utveckla IT-baserade kunskapssystem för att samla in och överföra anläggningskompetens.

## 7. Internationell samverkan

Radioaktiva utsläpp respekterar inte nationsgränserna. Kärnkraft är i högsta grad en internationell angelägenhet. International Atomic Energy Agency (IAEA), OECD Nuclear Energy Agency och EU-kommissionen verkar för samarbete inom och harmonisering av kärnkraftsområdet.

### 7.1 IAEA

IAEAs arbete är i huvudsak inriktat på att utarbeta internationellt accepterade riktlinjer. Det första dokumentet om kärnkraftsavveckling gavs ut redan 1975. Sedan dess har ett trettiotal tekniska dokument och rapporter samt "Safety series" publicerats. Dessa rör sådant som tekniker, säkerhet- och miljöskydd, nationella regler, uppföljningsprogram, beskrivningar av avställda anläggningar och om hur anläggningar bör konstrueras för att underlätta avveckling. Till detta kommer mängder av rapporter om avveckling av olika typer av anläggningar, pågående forskning på området mm.

En "*Draft Safety Guide on Decommissioning of Nuclear Power Plants and Large Research Reactors*" har nyligen tagits fram inom ramen för RADWASS programmet (Radioactive Waste Safety Standards). Den är riktad till myndigheter och tillståndshavare i syfte att skapa en gemensam plattform för avveckling. Det finns också en liknande "*Draft Safety Guide on Decommissioning of Fuel Cycle Facilities*", dvs för upparbetningsanläggningar för kärnbränsle."

En rapport om "*State-of-the-Art Technology for Decommissioning with Emphasis on Decontamination and Dismantling Techniques*" är under bearbetning (preliminär version från aug 1997).

I fokus för denna rapport, som i första hand riktar sig till dem som skall leda och planera avveckling, står alltså tekniker för avveckling speciellt för sanering och rivning. Rapporten innehåller en omfattande referenslista.

En grupp om 22 "senior regulators" har med hjälp av en koordinator från IAEA tagit fram policydokumentet "*Approaches relating to Decommissioning of Nuclear Facilities Peer discussions on regulatory practices*", 1998.

Avveckling ses i dag som en naturlig fas i en anläggnings livscykel. Därför anser man inte att det finns någon anledning att ha specialregler för avveckling. Samma krav på strålnings- och miljöskydd, avfallshantering, säkerhetskultur, kvalitetssäkringsprogram och resurser gäller även här. Däremot menade gruppen att riskerna under avvecklingen kan få annorlunda vikt. Man förordar också samordning mellan olika myndigheter för att undvika dubbelarbete och motstridiga krav.

Sammanfattningsvis kan man konstatera att perspektivet i de nämnda rapporterna är tekniskt. Det skrivs mycket litet om ledning och organisation av avvecklingsprocessen. Betydelsen av kompetens och speciellt behovet av personal med kunskap om anläggningen i samband med avvecklingsarbetet betonas.

## 7.2 OECD/NEA

En rad pilotprojekt har genomförts för att utveckla metoder och lösa tekniska problem, bl a inom ramen för OECD/NEAs samverkansprogram. Programmet startades 1985 för att utbyta information samt sprida erfarenheter från kärntekniska avvecklingsprojekt. Erfarenheterna hittills har sammanställts i rapporten "*The NEA Co-operative Programme on Decommissioning - The First Ten years 1985 - 95*". Programmet försätter nu i ytterligare en femårsperiod, under vilken man avser att generalisera erfarenheterna och sprida dem i ett vidare sammanhang. Man anser sig ha visat att det nu är tekniskt möjligt att lägga ner kommersiella anläggningar på ett säkert sätt. Nu övergår de första tio årens pilotfas i en storskalig industriell fas. Kostnadseffektiviteten börjar komma i förgrunden. Man vill påverka världssamfundet och arbete pågår med att harmonisera området i gemensamma standards och regler. Programmet, som 1985 omfattade tio projekt, har i dag 35 projekt från tretton länder. Utöver projekten arbetar grupper med att studera frågor av gemensamt intresse. För närvarande arbetar man med att uppskatta kostnaderna för avveckling, återvinning av material samt med saneringsåtgärder.

## 7.3 EU

EU har mellan 1979 och 1994 genomfört tre femåriga program för att stödja forsknings- och utvecklingsarbete om rivningsteknik i medlemsländerna. Man har inom ramen för dessa program även delfinansierat demonstrationsprojekt för avveckling av reaktorer och anläggningar för återvinning av kärnbränsle. Insatserna har minskat och är nu inriktade på mindre projekt, typ insamling av data om olika tekniker. Enligt Menon, 1998, kan det tas som ett tecken på att tekniken för rivning av kärnkraftverk numera anses vara känd och etablerad.

Plugrad (1998) har sammanfattat programmens huvudresultat på följande sätt.

*Genomförbarhet:* Det är möjligt att avveckla kärnkraftsanläggningar som stängts av på rätt sätt med tillgänglig teknologi.

*Hälsa och säkerhet:* Stråldoserna för personalen är i allmänhet lägre än i driftfasen eftersom högaktiva komponenter tas i sär och hanteras med hjälp av fjärrstyrd utrustning. Riskerna för att allmänheten skall utsättas för strålning från metalliskt avfall är negligierbara förutsatt att kontrollen är effektiv.

*Avfall:* Avfallet varierar beroende på typ av anläggning och reaktor, men genom smältning, återvinning och sortering kan avfallsmängderna kraftigt reduceras. För en lättvattenreaktor behöver endast 3 % av den totala avfallsmängden slutförvaras som radioaktivt avfall.

*Tid:* För närvarande tar det längre tid att riva en reaktor än att bygga den. Anledningen till detta är alla de säkerhetsåtgärder som måste vidtas för att skydda arbetsstyrkan och miljön.

*Kostnader:* Kostnaderna för att avlägsna radioaktiviteten från en avstängd anläggning är avsevärda. För en lättvattenreaktor rör det sig om 10 – 20 % av de nuvarande byggkostnaderna för anläggningen i fråga.

*Sammanfattningsvis:* Fastän huvudresultaten på det hela taget är positiva, finns det fortfarande ett behov av att göra avvecklingsarbetet säkrare och mer kostnadseffektivt. Det kommer att kräva samordning på EU-nivå, framtida utbyte av resultat och erfarenheter speciellt från pågående avvecklingsprojekt, liksom framtagning av vägledningar och strategiska planeringsverktyg. Det kommer att ingå i kommande program.

Vid millennieskiftet utkommer EU med en vägledning inför kärnkraftsavveckling. Ett nätverk för erfarenhetsutbyte skall också bildas. Rön finns dessutom att hämta från EUs databaser. DG 11 har ansvar för kärntekniska frågor.



## **8. Några lärdomar**

### **8.1 Kostnadseffektiviseringen av avvecklingsprocessen**

I samband med att avveckling börjar bli en storskalig verksamhet vill bolagen försöka skapa en konkurrenskraftig marknad. Hittills har varje projekt varit unikt, men framledes måste avvecklingsförfarandet standardiseras och industrialiseras för att minska kostnaderna. I länder med stor kärnkraftsproduktion, såsom Storbritannien och Frankrike, vill bolagen kunna optimera sina avvecklingsåtaganden och därigenom öka kostnadseffektiviteten. Anbudsförfaranden och ”nyckelfärdiga kontrakt” blir därför allt vanligare. Entreprenörer anlitas alltmer för att genomföra avvecklingar. En fördel är att de kan specialisera sig och utveckla standardiserade tekniker, samtidigt som ägarnas ekonomiska risktagande minskar.

### **8.2 Avvecklingskompetens**

Avveckling kräver delvis annan kompetens än drift. Kompetens och nytänkande kan hämtas från andra branscher. Alla operatörer inom kärnkraftsbranschen har inte resurser att själva leda komplicerade avvecklingsprojekt, där många olika slag av delprojekt skall samordnas. Det problemet löser man i Storbritannien genom sk Management Agents. En inhyrd projektledning formar team tillsammans med en del av den ordinarie personalen. I Tyskland har man nu börjat diskutera lösningar där den ordinarie personalen samarbetar med entreprenörer, som tillför specialistkompetens. Därigenom hoppas man både kunna tillgodose kraven på ”organisatoriskt minne” och nytänkande. Till detta kommer att ägarna därigenom hoppas kunna bibehålla kontrollen över verksamheten. (Det finns exempel på att ägarna överlämnat för mycket av ansvaret till entreprenörerna med incidenter som följde.)

### **8.3 Avvecklingsarbetets karaktär**

Vilken karaktär har avvecklingsarbete? Den första avvecklingsfasen, när bl a bränslet forslas bort, har stora likheter med vanlig drift. Att byta och forsla bort bränsle ingår i den normala verksamheten och kräver kännedom om anläggningen. Detta arbete genomförs vanligtvis av verkets egen personal. I England är det dock tal om att anlita entreprenörer även i denna fas.

Förhållandena blir olika beroende på om avvecklingen genomförs omedelbart eller med fördröjning. I det senare fallet skall byggnaderna förstärkas eller så konstrueras en övertäckning av betong (en ”safestore”). Därefter följer en lång viloperiod när anläggningen står under övervakning. Rivningen, som då skall genomföras flera decennier senare, kan då inte utföras

av den egna personalen. Problemet blir snarast att bevara och överföra det ”organisatoriska minnet” till dem som skall göra arbetet någon gång i framtiden.

Att förstärka byggnaden och konstruera en ”safestore” är ett anläggningsarbete, vilket också gäller för rivningen. Situationen kompliceras av strålningsriskerna och alla de säkerhetsåtgärder som är nödvändiga. Här krävs en säkerhetskultur som är speciell för kärnkraftsbranschen. De äldre anläggningarna har inte konstruerats med tanke på avveckling. Ofta behövs fjärrstyrd och specialkonstruerad hanteringsutrustning för att montera ned de radioaktiva anläggningsdelarna. Rivningen är ett tungt och tålmodskrävande manuellt arbete som på grund av säkerhetsåtgärderna blir mycket tidskrävande (idag tar det ungefär dubbelt så lång tid att riva som att bygga). Rivningsarbetet håller emellertid på att rationaliseras och nya tekniker utvecklas, som förhoppningsvis på sikt kommer att underlätta. Samtidigt får man inte glömma att avvecklingsprocessen är förknippad med stor osäkerhet; att det ständigt uppstår oförutsedda problem som måste lösas.

Idag, när kärnkraft har blivit en mogen teknik, ses avveckling som ett naturligt led i livscykeln. Det innebär att anläggningar skall konstrueras, byggas, underhållas och moderniseras med avveckling i sikte. De anläggningar som nu står inför avveckling är emellertid de äldre som inte är byggda med tanke på avveckling.

## **8.4 Personalens arbetsmotivation och -moral**

Hunterson A visar att den första fasen, när bränslet forslas bort, kan vara nog så problematisk. Från Kjelleranläggningen redovisas erfarenheter från hela avvecklingsprocessen. Det stora problemet var i båda fallen att upprätthålla personalens arbetsmotivation, som har stor betydelse både för säkerheten och effektiviteten. Att avveckla en anläggning upplevs av den gängse personalen som demoraliserande och destruktivt, samtidigt som personalen efterhand som processen framskrider blir av med arbetsuppgifterna. (Från det perspektivet kan det vara fördelaktigt att anlita entreprenörer, som har till uppgift att avveckla anläggningar.)

Ledningens engagemang har i tidigare avvecklingsprojekt visat sig vara av oerhört stor betydelse för personalens arbetsmotivation. Efter beslutet om stängning måste organisationen snabbt få ett nytt mål, som innebär att avveckling är lika viktig som drift. Personalen måste känna att de arbetar för en positiv sak; för kommande generationers väl, utvecklar användbar kompetens osv. Avgörande för motivationen, arbetstillfredsställelsen och inte minst effektiviteten är att arbetslaget får hög grad av självbestämmande vad gäller planering och uppföljning av arbetet, framtagning av arbetsmetoder och rutiner mm. I avvecklingsarbete uppstår ständigt oförutsedda problem och den stegvisa planeringen måste revideras. Här har arbetslagets kompetens och erfarenheter visat sig vara ovärderliga. De riktigt goda lösningarna kommer fram i diskussionerna inom arbetslaget.

Det här står i motsättning till den tekniska systemsyn som kan utläsas i många av publikationerna. Mycket satsas på förplanering; detaljerade ”work packages” tas fram för olika uppgifter i samband med rivningen. Ett viktigt syfte med detta förfarande är att kunna tids-

och kostnadsuppskatta arbetet, vilket är nödvändigt för att man skall kunna upphandla entreprenörer. (Ett mycket detaljerat planeringssystem, Cosmard, har exempelvis tagits fram i Japan enligt Yanagihara, 1993.) Det gäller emellertid att inte gå för långt i förplanering. Pooley a.a. gav rådet att försöka eliminera så mycket osäkerhet som möjligt före projektstarten, men när arbetet väl är igång måste det finnas tid (och arbetsorganisation) att efter hand lösa de problem som uppstår. I arbetslaget bör också ingå människor med olika kompetenser.

När det gäller tillståndsgivning inför avvecklingen har man börjat inse betydelsen av flexibilitet. Den stegvisa ansatsen möjliggör övergripande planering kombinerad med fortlöpande planering av avvecklingsarbetet.

## 8.5 Inför framtiden

Fram till idag är det mestadels småskaliga forsknings- och pilotanläggningar som avvecklats. I samband därmed har man av naturliga skäl i första hand satsat på att försöka lösa en mängd tekniska problem vid rivning, sanering och avfallshantering. I dag anser man sig dock ha visat att det är tekniskt okontroversiellt att avveckla kärnkraftsanläggningar. När avvecklingarna skalas upp kan man förvänta att andra typer av problem kommer i förgrunden.

*När de storskaliga kommersiella kärnkraftverken avvecklas efter tusenårsskiftet, aktualiseras frågor om personalavveckling, projektledning och organisation.*

Hur man leder stora förändringsprojekt blir en synnerligen aktuell fråga. Här är det inte bara fråga om att koordinera många olika delprojekt och använda ny teknik, utan också om personalens motivation och arbetstillfredsställelse. Det sistnämnda kräver en arbetsorganisation där all personal är delaktig i planering, utveckling av arbetsmetoder och problemlösning. Först då kommer avvecklingsarbetet att bli kostnadseffektivt. Många kärnkraftverk har redan utvecklat sin arbetsorganisation i den riktningen och bör därför vara förberedda. Denna utveckling får dock inte stoppas av rigorösa planeringssystem, framtagna på långt avstånd från den praktiska verksamheten.

Flera kärnkraftverk har stängts av med en förväntan om återstart, bl a Trawsfynydd och Hunterston A. Det kan ta förhållandevis lång tid innan avvecklingsbeslutet väl tas och anläggningen stängs av. Mellan beslutet och avställningen går också en tid. Dessa båda perioder; väntan på beslut samt tiden mellan beslut och avstängning, är kritiska från säkerhetssynpunkt. Ryktesspridning kan skapa osäkerhet i organisationen och otrygghet hos personalen. Otrygghet kan i sin tur ge upphov till stressreaktioner, förnekande och bristande uppmärksamhet. Dessutom väljer nyckelpersoner ofta att lämna en hotad verksamhet. Vi har fått veta mycket litet om hur verken klarat dessa kritiska faser. Vissa kunskaper om detta finns från amerikanska undersökningar (Baker m fl, 1996, Durbin & Harty a.a.)

Personalavveckling är en nära relaterad fråga. Ofta är kärnkraftverk belägna i glesbygder och viktiga för sysselsättningen. I Greifswald sägs personalen ha minskats från 14 000 till

1400, Trawsfynydd var ortens största arbetsgivare. Hur man klarat av de här problemen skulle man vilja få bättre kännedom om.

Med anledning av ovan diskuterade problem finns skäl att utöka antalet faser i avvecklingsprocessen. Organisatoriskt börjar avvecklingsprocessen redan med ”*Väntan på beslut*” (pre-decision), dvs när en eventuell avveckling börjar diskuteras eller när det uppkommer rykten om att ett verk skall läggas ned. Därpå följer ytterligare en fas som börjar när beslutet är taget (post-decision) och som pågår till dess att elproduktionen stängts av. Dessa båda faser ”pre-decision” och ”post-decision” är alltså kritiska från säkerhetssynpunkt eftersom de skapar oro i organisationen. I många länder (bl a Frankrike och Tyskland) räknas inte heller den första IAEA-fasen (fram till bortforslingen av bränslet) legalt till avvecklingsprocessen, vilket i praktiken innebär att viktiga problem kan komma att uteslutas ur diskussioner och erfarenhetsutbyte kring kärnkraftsavveckling. Den riktigt stora frågan är av hävd avfallshantering (Waste Management), vilket inte minst märks på mängden av konferenser med det temat.

## **8.6 Integrera fältet: De mänskliga, tekniska och organisatoriska aspekterna hör ihop!**

IAEA tar fram standards, OECD/NEA har ett samverkansprogram och EU håller på att utarbeta en vägledning för kärnkraftsavveckling. I de flesta av skrifterna står de tekniska frågorna i förgrunden. Man påpekar visserligen att frågor om personal och organisation är viktiga, men dessa integreras inte i referensramen. Den personal som skall utföra arbetet behandlas vanligtvis under rubrikerna ”kompetens” och ”health and safety” och i ökande utsträckning under ”project management”.

Jag instämmer med Stan Gordelier (1997), som hävdar att: *Technical papers exist in their thousands, conference proceedings abound, but nothing seems to be readily available that pulls the story together.*

Kärnkraftsavveckling är förvisso förknippad med problem med strålning och avfallshantering, som kräver tekniska lösningar, men den är också en social process. Ett omfattande förändringsarbete skall till syvende och sist organiseras; genomförandet är beroende av hur organisationen fungerar som en social enhet.

Det finns många tekniska pilotprojekt vad gäller avveckling. Vad kan vi lära både av dessa och de övriga vad gäller förändringsprocessen, personalavveckling- och reaktioner samt om ledning, organisering och genomförande av storskaliga avvecklingsprojekt? Detta är frågor som är synnerligen viktiga både för säkerheten och kostnadseffektiviteten.

Inför den kommande avvecklingsvågen krävs en bättre förståelse för de mänskliga, organisatoriska och regulativa aspekterna av avvecklingsprocessen och hur dessa förhåller sig till de tekniska. För att bilden skall bli komplett måste även de marknadsvillkor och affärsstrategier

som styr avvecklingsprocessen analyseras. Först när man har hela bilden klar för sig kan avvecklingsprocessen genomföras både på ett säkert och kostnadseffektivt sätt.

# Litteraturförteckning

Abraham, D. M. & Merkel, D, *Goals and Procedures Evaluation in Decommissioning Planning*, Journal of Management in Engineering, Vol 13, No 3. May/June 1997.

Archibald, J, *Defuelling Hunterston A ahead of schedule and budget targets*, Nuclear power, Dec 1994.

Baker, K, Melber, B, Bierbach, M & Shikiar, R, *Staffing Issues and Experiences at Permanently Shut-Down Nuclear Power Plants*, Pacific Northwest National Laboratory, Jan 1996.

Biedermann, G, *Greifswalder Melancholie*, Energy Spektrum 3/97, s. 32 – 38.

Bindon JF: *Decommissioning of Trawsfynydd nuclear power station*, The Nuclear Engineer, Volume 38, No 1 (1997).

Bradbury, D, *Decommissioning of civil nuclear facilities: a world review*, Energy Policy, Aug 1992, p 755 – 760.

Brant, A W, *A contractors perspective on decommissioning*. Fourth International Conference on Decommissioning of Nuclear Facilities. Febr 1995 , Royal Lancaster Hotel, London.

Brigaud, O, *A regulatory approach to decommissioning in France: Today's trend*. Proceedings of the International Conference on "Dismantling of Nuclear Facilities, Projects Feed Back Experience", 15 – 18 March 1998, Avignon.

Del Nero, G, *Status of the Decommissioning Program in Italy*, ANPA, 53<sup>rd</sup> meeting of the Nuclear Regulators' Working Group, Brussels, Nov 3 1998.

Durbin, N, & Harty, R, *U.S. Experience with Organizational Issues During Decommissioning*, SKI-rapport 98:3. Jan 1998.

Ebbinghaus, K & Haferkamp, D, *Feed back of experience gained from large scale decommissioning projects: General contractor's view*. Proceedings of the International Conference on "Dismantling of Nuclear Facilities, Projects Feed Back Experience", 15 – 18 March 1998, Avignon.

Essman, J, *Decommissioning issues and policy of German utilities*, Fourth International Conference on Decommissioning of Nuclear Facilities. Febr 1995 , Royal Lancaster Hotel, London.

Federal Gazette, 12 November 1996, Number 211a, *Guide to the decommissioning of facilities as defined in § 7 of the Atomic Energy Act*, The Federal Ministry of Justice (Germany).

Fishlock, D, *Taking Sellafield apart*, Nuclear Engineering International, vol 41, March 1996, p 22- 24.

Gordelier, SC, *Decommissioning update: The view at the end of the line*. Nuclear Energy, June 1997.

Gordelier, S, Shiel, F Wratten, T, *The Picture from the United Kingdom*, Proceedings of the International Conference on "Dismantling of Nuclear Facilities, Projects Feed Back Experience", 15 – 18 March 1998, Avignon.

Grossi, G, *Italian Regulators Viewpoint*, paper 4.3 presented at the "Joint NEA/IAWEA/EC workshop on The regulatory aspects of decommissioning, Rome, 19-21 May, 1999.

IAEA, *Approaches relating to decommissioning of nuclear facilities, peer discussions on regulatory practices*, PDRP-2, 1998.

IAEA, *State-of-the-Art Technology for Decontamination and Dismantling of Nuclear Facilities*, Technical Report Series No x, 3<sup>rd</sup> draft, Vienna, Aug 1997.

IAEA, *Draft Safety Guide on Decommissioning of Nuclear Power Plants and Large Scale Reactors*, NS-257. RADWASS-programmet, Vienna, 11 Dec 1997.

IAEA Safety Series no 52.

Kabanov, L, *Future nuclear power plants: Harmonizing safety objectives*. IAEA Bulletin 374.

Kay, Ellis, Williams: *The closure of Trawsfynydd power station effects on staff and the local community and indentifying a strategy for decommissioning*. ImechE Conference Transaction 1995 – 5.)

Lundqvist, K, *Inför kärnkraftsavveckling: Svenska erfarenheter av företagsnedläggningar och förändringsarbete*, SKI-rapport 98:13. Febr 1998.

Löschhorn, U, Valencia, L, *Dismantling of nuclear power stations the use of experience in new projects*, Proceedings of the International Conference on "Dismantling of Nuclear Facilities, Projects Feed Back Experience", 15 – 18 March 1998, Avignon.

Menon, S, *Rivning av kärntekniska anläggningar*, 1998 04 21, Menon Consulting AB, Nyköping.

Nelson, R L, *The use of managing agents in decommissioning*, The Nuclear Engineer, Vol 35, No 4 (July – Aug 1994).

Nelson, R L, *Decommissioning in the UKAEA*, Nuclear Energy, 1998, vol 37, no 2.

Nelson, R L, *The Integrated Planning and Management of Decommissioning at a Major Nuclear Site: Extension of Plant Operations and Regulatory Issues at Dounray*. ICON5, May 26 –30, 1997, Nice, France. ICON5-2250.

Mc Intyre, PJ, *Decommissioning of Berkeley Power Station*. Proceedings of the International Conference on "Dismantling of Nuclear Facilities, Projects Feed Back Experience", 15 – 18 March, 1998, Avignon.

OECD/NEA, *The NEA Co-operative Programme on Decommissioning, the first ten years 1985 – 95, OECD 1996*.

Papp, R & Closs, K. D, m fl, *Decommissioning of Nuclear Facilities in Germany. Status at BMBF Sites*. Proceedings of the International Conference on "Dismantling of Nuclear Facilities, Projects Feed Back Experience", 15 – 18 March 1998, Avignon.

Plugrad, k, *RTD-programmes on decommissioning of nuclear installations of the European Commission*, Proceedings of the International Conference on "Dismantling of Nuclear Facilities, Projects Feed Back Experience", 15 – 18 March 1998, Avignon.

Pooley, D, *Managing Nuclear Liabilities*, Nuclear Energy, June 1997, Vol 36, No 3.

PRIS databank, Nuclear Plants Information, www. iaea.or. Statistik om kärnkraftstatus i världen.

Rankine, A, *Using contractors to decommission while remaining as licensee*, Nuclear Energy, Dec 1997, Vol 36 No 6.

Ruesen, M, *Decommissioning of the Dodewaard Plant*, paper presented att the NEA Workshop on "Nuclear power plant transition from operation into decommissioning – organizational and human factors considerations", Rome, 17<sup>t</sup> – 18<sup>t</sup>, 1999.

*Safety Audit of Dounreay 1998*. A report published by the Health and Safety Executive, HSE Books, 1998.

Shiel, A.E, *Meeting the challenge of BFNL s decommissioning programme*, Proceedings of the 1997 Canadian Nuclear Society Conference. Part 2.

Svensk Kärnbränslehantering AB, SKB, *Kärnkraftens slutsteg*, Teknisk rapport 94 -20. Juni 1994.



Statens Strålskyddsinstitut, *Radiation Protection in connection with the decommissioning of nuclear plants*, SSI-rapport 97:03.

Taylor, FE, Turton, D, Cadman, A, *Regulation of decommissioning in the UK*, Proceedings of the International Conference on "Dismantling of Nuclear Facilities, Projects Feed Back Experience", 15 – 18 March 1998, Avignon.

Tema Nord 1994:594. *Decommissioning of a uranium reprocessing pilot plant practical experiences*, Final report of the Nordic nuclear safety research project KAN –1.2, May 1994. The Nordic Council of Ministers, Copenhagen.

*The Global Need for Nuclear Power*, Second Philippine Nuclear Congress, Manila, 10 Dec 1996. Källa: [www.iaea.or](http://www.iaea.or).

Weil, L: *Decommissioning of nuclear installations in Germany*, Proceedings of the International Conference on "Dismantling of Nuclear Facilities, Projects Feed Back Experience", 15 – 18 March 1998, Avignon.

Willby, C.R, *Regulatory issues in decommissioning*, Nuclear Energy, vol 35 no 3, June 1996.

Volkman, B & Löschor, U, *Aspects on decommissioning of the Greifswald nuclear power plant*, Nuclear Design and Engineering, 159, 1995, p 117 – 121.

Yanagihara, S, COSMARD: *The Code System for Management of JPDR Decommissioning*, Journal of Nuclear Science and Technology, Sept 1993.