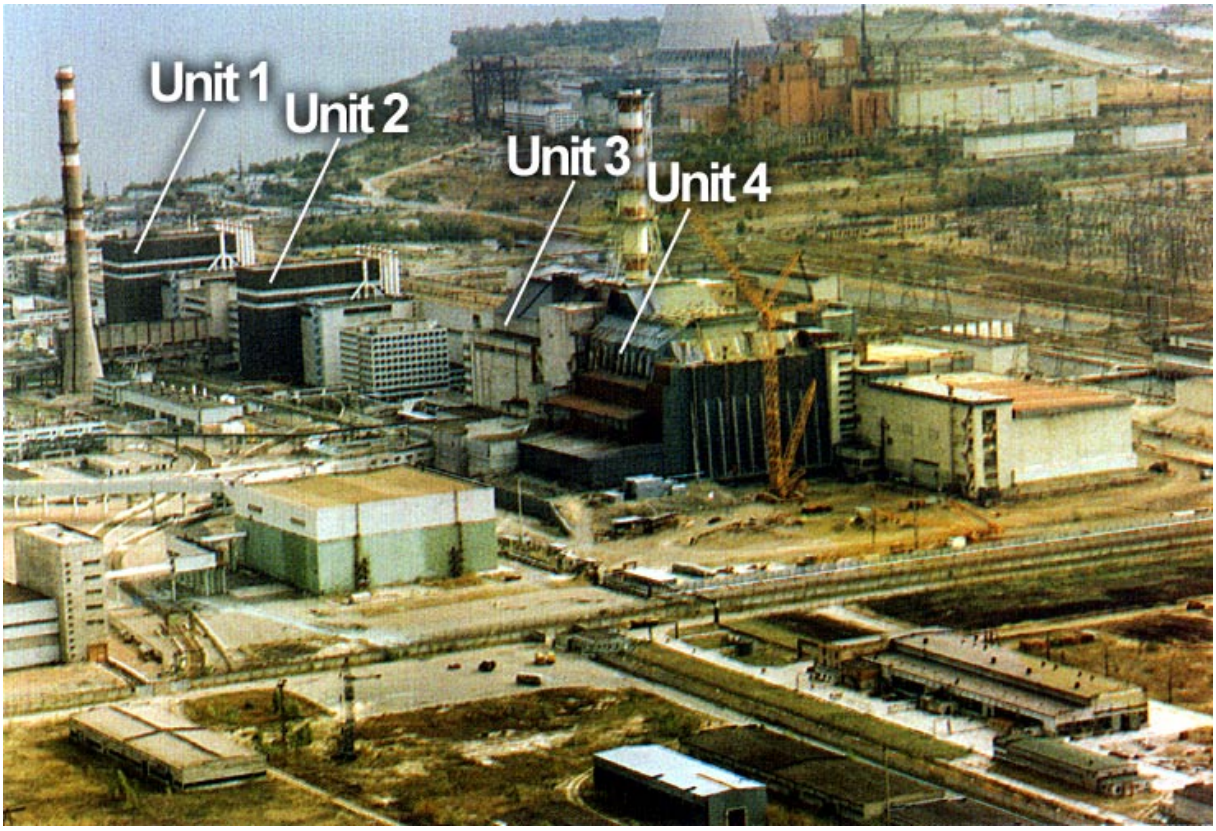
RISØ

Risø-R-1248(DA)

International kernekraftstatus 2000

Redigeret af B. Lauritzen, B. Majborn, E. Nonbøl og P.L. Ølgaard



Forskningscenter Risø, Roskilde
Marts 2001

Resumé Rapporten er den syvende i en serie af årlige rapporter om den internationale udvikling inden for kernekraften med særlig vægt på sikkerhedsmæssige forhold. Den omtaler udviklingen i 2000 og dækker følgende emner:

- Generelle tendenser inden for kernekraftudviklingen
- Tema-artikel: Deponering af lavaktivt affald
- Statistiske oplysninger om kernekraften i 1999
- Større, sikkerhedsrelevante hændelser i 2000
- Barsebäck-anlægget og de andre svenske kernekraftværker
- Udviklingen inden for reaktorsikkerhed i Østeuropa, herunder Kursk-ulykken
- Kernekraftudviklingen i andre lande
- Udviklingstendenser for forskellige reaktortyper
- Udviklingstendenser inden for det nukleare brændselskredsløbet.

Forsidebilledet viser Tjernobyl-værket, som blev endelig lukket ned i 2000. Den sidste idriftværende enhed var Unit 3. Det var Unit 4, der i 1986 blev ramt af den hidtil værste kraftreaktorulykke.

ISBN 87-550-2841-1
ISBN 87-550-2843-8 (Internet)
ISSN 0106-2840
ISSN 1395-5101

Print: Danka Services International A/S, 2001

Indhold

Figurer 4

Forord 6

1 Tendenser i kernekraftudviklingen 7

2 Årets tema-artikel: Deponering af lavaktivt affald 9

2.1 Introduktion 9
2.2 Lavaktivt affalds art og oprindelse 9
2.3 Affaldsmængder 10
2.4 Bortskaffelse af lav- og mellemaktivt affald 10

3 Kernekraftens el-produktion 17

4 Gennemgang af større, sikkerhedsrelevante hændelser i 2000 22

5 Barsebäck-anlægget og andre svenske kernekraftværker 24

5.1 Barsebäck-værket 25
5.2 Forsmark-værket 26
5.3 Oskarshamn-værket 26
5.4 Ringhals-værket 27

6 Udviklingen i Østeuropa med hensyn til reaktorsikkerhed 28

6.1 RBMK-reaktorer 28
6.2 VVER-reaktorer 29
6.3 Skibsreaktorer 31
6.4 Det danske øststøtteprogram 35

7 Udviklingstendenser i andre lande 39

7.1 Frankrig, Storbritannien, Tyskland 39
7.2 Øvrige vesteuropæiske lande 44
7.3 Central- og østeuropæiske lande 46
7.4 SNG-lande 50
7.5 Nord- og Sydamerika 56
7.6 Afrika, Asien og Australien 59

8 Udviklingstendenser inden for forskellige reaktortyper 63

8.1 Nye tendenser inden for reaktorudvikling 63
8.2 Trykvandsreaktorer (PWR) 64
8.3 Kogendevandsreaktorer (BWR) 65
8.4 Tungtvandsreaktorer 69
8.5 Gaskølede reaktorer 69
8.6 Hurtigreaktorer 70

9 Udviklingstendenser inden for brændselskredsløbet 72

9.1 Uranproduktion og pris 72
9.2 Uranberigning 73

9.3 Oparbejdning eller direkte deponering af brugt brændsel 74
9.4 Nedlæggelse af nukleare anlæg 76
9.5 Deponering af lav-, mellem- og højaktivt affald 77

APPENDIKS A: INES, den internationale skala for uheld på nukleare anlæg 80

APPENDIKS B: Anvendte forkortelser 82

Figurer

Figur 2.1 Til venstre ses SFR, det svenske slutdepot for reaktoraffald i klipperne under Østersøen ved Forsmark-kraftværket. Til højre det finske slutdepot i klipperne under Olkiluoto-værket. De tre forreste siloer til dekommissioneringsaffald er endnu ikke bygget. 12

Figur 2.2. Slutdepotet Himdalen i Norge. 13

Figur 2.3. Principskitse for planlagt udvidelse af det eksisterende markdeponi ved Oskarshamn-reaktorerne. Kun den ene side af lageret samt drænsystemet er vist. Risø har bidraget til sikkerhedsanalysen. 13

Figur 2.4. Luftfoto af det franske slutdepot Centre de l'Aube kort efter, at det blevet åbnet. Affaldsenhederne anbringes i betonceller, der ses i de fire rækker midt i billedet. Til højre er vist en tegning af en færdig celle, med omstøbte betonbeholdere samt gangsystemet nedenunder. 15

Figur 2.5. Det spanske slutdepot El Cabril under opførelse i begyndelsen af 1990'erne. 15

Figur 3.1. Udviklingen i den samlede installerede kernekrafteffekt inden for forskellige geografiske regioner. 18

Figur 3.2. Udviklingen i den samlede producerede energi fra kernekraft inden for forskellige geografiske regioner. 19

Figur 3.3. Kernekraftens andel (i %) i forskellige, fortrinsvis mindre vesteuropæiske landes el-produktion. 20

Figur 3.4. Kernekraftens andel (i %) i en række større industrilandes el-produktion. 21

Figur 3.5. Kernekraft andel (i %) i en række central- og østeuropæiske landes el-produktion. 21

Figur 5.1. Kernekraftværker i Sverige og Finland. 24

Figur 6.1. Den russiske ubåd Kursk. 32

Figur 6.2. Lande, hvor ARGOS-systemet er implementeret. 36

Figur 6.3. Målestationer (til venstre) og data fra EU-målestationer (til højre). 37

Figur 6.4. Hypotetisk udslip fra Krümmel kraftværket den 1. maj 2000 (Data fra DMI) 38

Figur 7.1. Kernekraftværker i Frankrig. 40

Figur 7.2. Kernekraftværker i Storbritannien. 42

Figur 7.3. Kernekraftværker i Tyskland. 43

Figur 7.4. Temelin-værket. 49

Figur 8.1. EPR-reaktorbygning. 64

Figur 8.2. Nødkondensatorer. Til venstre normal drift, til højre nødkøling. RPV er reaktortryktanken (Reactor Pressure Vessel). 67

Figur 8.3. Kondensatorer til køling af indeslutningen. 67

Figur 8.4. Passive trykpulstransmittere. Til venstre normal drift, til højre nødkøling 68

Figur 8.5. Tyngdekraftdrevet system til overskylning af reaktorkernen. 68

Figur 9.1. Spotmarkedsprisen for U_3O_8 som funktion af tiden. "Restricted"er uranprisen i USA,"CIS" er prisen på uran fra lande i Sovjetunionens tidligere område. 73

Figur 9.2. Prisen på separativt arbejde som funktion af tiden. "Restricted" står for berigningsprisen i USA "CIS" for berigningsprisen i Rusland. 74

Forord

Denne rapport er den syvende i en serie, der har til formål at informere myndigheder, medier og offentlighed om udviklingen i verdens forskellige lande inden for kernekraftområdet med særlig henblik på sikkerhedsmæssige forhold.

Rapporten er udarbejdet af den nukleare videnberedskabsgruppe, som har til opgave at sikre opretholdelse af nødvendig viden om reaktorer og deres sikkerhedsproblemer. Gruppen består af ca. 15 personer fra Forskningscenter Risø, Danmarks Tekniske Universitet (DTU) og Beredskabsstyrelsen (BRS). Gruppen følger kernekraftudviklingen, den afholder to årlige seminarer med emner inden for det nukleare område, og den udsender hvert år denne statusrapport.

Årets tema-artikel behandler problematikken omkring deponering af lavaktivt affald, en problematik, der er blevet aktuel herhjemme efter beslutningen om at nedlukke de nukleare anlæg på Risø.

Følgende medlemmer af videnberedskabsgruppen har bidraget til rapporten med de afsnit, der er nævnt i parentes efter deres navn:

Knud Brodersen	Risø	(2, 9.5)
Steen Carugati	Risø	(9.3)
Peter Fynbo	Risø	(7.5, 8.4)
Steen Hoe	BRS	(6.4)
S.E. Jensen	Risø	(8.5, 8.6)
Uffe Korsbech	DTU	(4, App .A)
Bent Lauritzen	Risø	(7.1, 7.2)
Benny Majborn	Risø	(7.6)
Mogens Mariager	Risø	(9.1, 9.2)
Kirsten H. Nielsen	Risø	(8.1, 8.2, 83)
Erik Nonbøl	Risø	(3, 5)
Anne Sørensen	Risø	(9.4)
Povl L. Ølgaard	Risø	(1, 6.1, 6.2, 6.3, 7.3, 7.4)

Såfremt nogen skulle ønske at få uddybet de i rapporten behandlede emner, er man velkommen til at kontakte forfatteren af det pågældende afsnit eller en af redaktørerne.

1 Tendenser i kernekraftudviklingen

Beslutningen om at nedlægge Risøs nukleare anlæg har gjort spørgsmålet om deponering af radioaktivt affald herhjemme aktuelt. Derfor er emnet for årets tema-artikel en gennemgang af, hvorledes forskellige lande har løst dette problem.

Mens den samlede installerede effekt på verdens kernekraftværker faldt lidt i 1998, steg den igen en anelse i løbet af 1999. Denne ændring dækker dels over idrifttagning af nye kernekraftværker, dels over lukning af gamle værker. Mens den installerede effekt på verdens kernekraftværker således har været næsten konstant over de sidste år, er el-produktionen steget noget. Dette skyldes, at værkerne udnyttes bedre, hvilket igen hænger sammen med liberaliseringen af el-markedet mange steder i verden, ikke mindst i USA.

Kernekraften spiller stadigvæk en vigtig rolle for el-forsyningen i en række industrialiserede lande. I 1999 var kernekraftens andel i den samlede el-produktion 75% i Frankrig, 73% i Litauen, 58% i Belgien, 47% i Sverige, Slovakiet og Bulgarien, 44% i Ukraine, 43% i Sydkorea, 38% i Ungarn, 36% i Schweiz, 35% i Japan, 33% i Finland, 31% i Tyskland og Spanien, 29% i Storbritannien, 21% i Tjekkiet, 20% i USA, 14% i Rusland, og 12% i Canada. Når de her anførte tal gælder for 1999, skyldes det, at tallene for 2000 endnu ikke foreligger.

Ca. en trediedel af Vesteuropas elektricitet kommer fra kernekraftværker.

I december 2000 blev den sidste enhed på Tjernobyl-værket lukket ned i overensstemmelse med den aftale, der var indgået mellem Ukraine og G7-landene i 1995. Samtidig blev der fra vestlig side bevilliget lån til Ukraine, der muliggør færdiggørelsen af to kernekraftenheder med trykvandsreaktorer.

Ud fra et sikkerhedssynspunkt var 2000 et godt år for verdens kernekraftværker. Der indtraf kun én INES klasse 2 hændelse (se appendiks A) og ingen alvorligere hændelser på verdens knap 450 kernekraftenheder. Derimod medførte utilladelig håndtering af radioaktive kilder fra hospitaler og industri én klasse 4 ulykke med to døde, én klasse 3 hændelse, hvor 10 personer fik strålingssyge og én klasse 2 hændelse.

I Sverige måtte man erkende, at det ikke som planlagt var muligt at lukke Barsebäck-2-enheden i 2001. Det forventes, at denne enhed tidligst kan lukkes ved udgangen af 2003.

Den tyske regering, som vil afvikle kernekraften, har indgået en aftale med landets elproducenter om gradvis afvikling af de tyske kernekraftværker. Ordningen omfatter en begrænsning af el-produktionen i værkernes resterende levetid, men den vil medføre, at kernekraftproduktionen fortsætter i mindst 20 år.

Den belgiske regering har besluttet, at landets kernekraftværker skal afvikles efter 40 års levetid, d.v.s. at de skal køre 15-25 år endnu.

Finland overvejer at bygge endnu et kernekraftværk.

Under pres fra EU har Bulgarien accepteret af lukke sine to ældste kernekraftenheder af VVER-440/230-typen i 2002 og 2003. Derimod er der ikke opnået enighed om lukningen af to andre enheder af samme type. Når man fra EU's side ønsker alle VVER-440/230-enheder lukket, er årsagen, at disse, der er er af sovjetisk oprindelse, ikke lever op til vestlige sikkerhedsnormer.

Litauen har efter pres fra EU forpligtet sig til at lukke Ignalina-1 enheden i 2005. Derimod er der ikke enighed om lukningen af Ignalina-2. Ignalina-reaktorerne tilhører,

ligesom Tjernobyl-reaktorerne, RBMK-typen, som ikke lever op til vestlige sikkerhedsnormer.

I Rusland har man mange planer for nye kernekraftprojekter, f. eks. bygning af skibsbårne kernekraftværker, der kan sejles til byer langs Ruslands arktiske kyst og forsyne disse med elektricitet, produktion af MOX-reaktorbrændsel ud fra våbenplutonium og eksport af kernekraftværker. Realisationen af disse planer vanskeliggøres af Ruslands dårlige økonomi.

I USA fortsætter tendensen mod sammenlægning af el-selskaber til større, mere økonomiske foretagender. Endvidere er udnyttelsesgraden af de amerikanske kernekraftværker blevet forbedret gennem de senere år for at gøre værkerne mere konkurrencedygtige sammenlignet med fossilt fyrede værker. Disse bestræbelser på at forbedre økonomien skyldes ikke mindst liberaliseringen af el-markedet.

I Canada er Ontario Hydro blevet splittet op i to selskaber, hvoraf det ene, Ontario Power Generation (OPG), har overtaget alle kernekraftværkerne. OPG skal dog i løbet af en årrække afgive kontrollen med hovedparten af selskabets el-værker. British Energy har allerede lejet otte enheder ved Bruce-værket.

Bygning af kernekraftværker fortsætter i Indien, Kina, Pakistan, Japan og Sydkorea.

Hvad udvikling af nye reaktortyper angår, er den graftitmodererede højtemperaturreaktor ved at få en renæssance. Der arbejdes med den i mange lande, f.eks. Sydafrika, Kina, Japan og Holland. Hvad de dominerende letvandsreaktorer angår, er man begyndt at se på reaktorer, der kører ved overkritiske temperaturer og tryk. Herved kan en forbedret termisk virkningsgrad opnås. På hurtigreaktorområdet arbejder man i Rusland med brug af en legering af bly og vismut med lavt smeltepunkt som kølemiddel for denne reaktortype.

Et område af stor betydning for kernekraftværkers økonomi er levetidsforlængelse. Sædvanligvis sættes levetiden til mellem 25 og 40 år, men nu overvejer man 60 år eller endog helt op til 120 år. Ved at forlænge værkernes levetid opnås en væsentlig lavere el-pris, fordi værkerne i den senere del af deres levetid stort set er afskrevet. Dette gælder også, selv om der må investeres i udskiftning af komponenter og sikkerhedsforbedringer, således at værkerne fortsat opfylder dagens sikkerhedskrav.

Prisen på naturligt uran har været faldende over de senere år p.g.a. større udbud end efterspørgsel. Dette skyldes bl.a. konversion af højtberiget uran fra amerikanske og russiske atomvåben til lavt beriget uran til kraftreaktorbrændsel. Prisen på uranberigning har været mere konstant i de senere år, selvom det fra amerikansk side har været påstået, at de europæiske berigningsfirmaer har tilbudt berigning til dumping-priser.

Hvad kemisk oparbejdning af det udbrændte brændsel angår, er der fortsat lande, der går ind for oparbejdning og genbrug af det indeholdte plutonium og resterende uran, mens der er andre lande, der betragter det udbrændte brændsel som affald, og som vil slutdeponere det.

Mange af verdens nukleare anlæg er ved at skulle nedlægges, og interessen for teknologier til nedlæggelse af disse anlæg er stor. Man kan vælge to forskellige strategier: Enten at nedrive anlæggene hurtigst muligst eller at forsegle dem og lade dem henstå en årrække, før de nedrives.

Et vigtigt område for kernekraften er deponeringen af dens radioaktive affald. P.g.a. betydelig politisk og folkelig debat om dette område har man i en række lande begrænset sig til undersøgelser af forskellige muligheder, specielt for det højaktive affald. Der er dog også lande, hvor man nærmer sig bygning af slutdeponier. Det gælder f.eks. Finland og Sverige.

2 Årets tema-artikel: Deponering af lavaktivt affald

2.1 Introduktion

Radioaktivt affald har en 'dårlig presse', selv om (eller måske netop fordi) det historisk set er et område, hvor man tidligt var opmærksom på, at forurening med skadelige stoffer kræver specielle foranstaltninger ved bortskaffelse af affaldet. Ved deponering af radioaktivt affald forsøger man at vurdere sikkerheden meget langt frem i tiden, for højaktivt affald mange tusinde eller millioner år. Det tages som tegn på, at her er noget helt exceptionelt farligt, selv om traditionen for de lange tidshorisonter egentlig kun er en følge af, at isotopernes forsvinden som følge af radioaktivt henfald lader sig beskrive med sikkerhed langt ud i fremtiden.

Ved deponering af radioaktivt affald betragtes isotoper med halveringstider på op til 30 år som 'kortlivede'. I sådant affald er aktiviteten i løbet af 100 år reduceret til under en tiendedel og i løbet af 300 år til under en tusindedel af det oprindelige indhold. Depotsystemerne bør derfor være udformet, så de sikrer mod væsentlig spredning af isotoperne over tidsrum af denne størrelsesorden. Affaldet kan også indeholde langlivede isotoper, der forsvinder langsommere. Der må opstilles regler for tilladelige koncentrationer eller totalmængder i depotet, men for langlivede isotoper er det jo ikke anderledes end for kemisk giftigt affald, der f.eks. indeholder stabile tungmetaller.

Volumenmæssigt udgør radioaktivt affald kun en lille del af det toxiske affald, der produceres i industrialiserede lande. Ud af det radioaktive affald udgør det højaktive affald igen kun en meget lille del. En noget større fraktion indeholder væsentlige mængder langlivede isotoper, og betegnes derfor mellemaktivt langlivet affald. Begge typer kan bortskaffes ved deponering i dybe geologiske lag. Resten – og det er langt det meste – er lav- og mellemaktivt kortlivet affald, der kan bortskaffes på simplere og billigere vis.

Det følgende giver eksempler på mængder og egenskaber ved lav- og mellemaktivt kortlivet affald og på forskellige typer slutdepoter, som i øjeblikket er i drift rundt omkring i verden.

Også i Danmark skal der i de kommende år bygges et slutdepot til affald fra nedlæggelsen af de nukleare anlæg på Risø og til bortskaffelse af de ca. 5000 oplagrede tromler, der indeholder affald fra godt 40 års forskningsvirksomhed på Risø sammen med bidrag fra andre danske brugere af radioaktive stoffer.

2.2 Lavaktivt affalds art og oprindelse

Langt det meste lav- og mellemaktive affald stammer fra driften af nukleare kraftværker, fra det tilknyttede brændselskredsløb, og fra nedlægning af nukleare anlæg.

Fra kraftværkerne er der tale om affald fra vandrensning, så som ionbyttere, varmeisolationsmaterialer, udskiftede komponenter, plastikfolier, beskyttelsesudstyr og fra ombygning eller fjernelse af store metal- og betonkomponenter. De radioaktive isotoper er gennemgående kortlivede, men strålingsniveauerne kan være ganske høje.

Fra brændselskredsløbet kommer der en række affaldstyper.Fra uranproduktion kommer uranmineaffald, der er voluminøst og indeholder langlivede isotoper, dog oftest i

lave koncentrationer, samt affald fra uranberigning, bl.a. forarmet uran. Endvidere er der affald fra brændselselementproduktion, som vil indeholde plutonium, hvis der er tale om fabrikation af MOX-brændsel, og affald fra oparbejdning, der ligeledes vil indeholde plutonium og andre langlivede stoffer, der udsender α-stråling. I nogle lande giver gammelt affald fra militære anlæg specielle problemer.

Teknisk set går udviklingen mod at reducere produktionen af affald med et indhold af langlivede isotoper til det mindst mulige ved at opkoncentrere isotoperne i et lille rumfang, der slås sammen med højaktivt affald. Den tilbageblevne mængde affald indeholder så lidt langlivet aktivitet, at det kan deponeres som kortlivet affald i slutdepoter som beskrevet nedenfor.

Fra drift af forskningsreaktorer og eksperimentel undersøgelse af brugt brændsel – som på Risø og lignende institutioner – får man affald af tilsvarende typer, men i meget mindre mængder. Anden forskningsvirksomhed og hospitalernes og industriens brug af radioaktive stoffer giver normalt affald med lavt aktivitetsindhold, når der ses bort fra enkelte store lukkede kilder.

Affaldet pakkes i tromler, betonkasser eller andre affaldsenheder, så det fylder mindst muligt. Ofte anvendes indstøbning i beton, bitumen eller polymermaterialer for at opnå produkter, hvorfra aktivitet kun langsomt kan udludes ved kontakt med vand.

2.3 Affaldsmængder

Mængderne af oplagret og deponeret lav- og mellemaktivt affald inden for EU er vist i Tabel 2.1. Affaldet fra Belgien, Holland, England og Frankrig blev før 1983 bortskaffet ved dumpning på stor dybde i Atlanterhavet. Dumpningen foregik i OECD-NEA regi. Denne metode er imidlertid ikke længere tilladt i henhold til OSPAR-konventionen. Nu om dage foretages overfladenær slutdeponering af 'kortlivet' affald rutinemæssigt i England, Frankrig, Sverige, Finland og Spanien. Tyskland har valgt at deponere alting dybt nede i jorden og skelner derfor ikke mellem kort- og langlivet affald. Mængdeangivelserne i tabellen omfatter stort set ikke dekommissioneringsaffald, der i fremtiden vil give et betydeligt bidrag.

Uden for EU findes der mange slutdepoter for lav- og mellemaktivt kortlivet affald. IAEA indsamler oplysninger og udarbejder oversigter herover. Tilsammen findes der ca. 130 anlæg på forskellige brugsstadier og af forskellig udformning.

2.4 Bortskaffelse af lav- og mellemaktivt affald

Slutdeponering af radioaktivt affald kan principielt ske på to forskellige metoder:

- Dyb deponering i fra nogle hundrede meters til flere kilometers dybde i geologiske formationer i ler, salt eller forskellige krystallinske eller sedimentære bjergarter. Dyb deponering er primært relevant for langlivet affald og vil ikke blive beskrevet her.
- Overfladenær deponering, d.v.s. anbringelse på eller nedgravet i jordoverfladen, evt. ned til ~50-100 m under denne.

Overfladenær deponering kan igen deles i:

- Systemer, der er eller efter lukning bliver vandmættede, fordi de befinder sig under grundvandsstanden i området.

- Systemer, der befinder sig i den umættede zone, og hvor affaldet kun er udsat for nedsivende regnvand eller almindelig jordfugtighed.

Tabel 2.1. Oplagrede og deponerede mængder lav- og mellemaktivt affald inden for EU (1994). Det oplagrede affald er delt på kortlivet og langlivet affald, mens deponeret affald udelukkende er kortlivet. Sorteringskriterier og praksis varierer fra land til land og er ikke endeligt fastlagt. Uranmineaffald er ikke medtaget.

	Oplagret lav- og mellemaktivt, "kortlivet" 1994		Oplagret lav- og mellemaktivt "langlivet" 1994		Deponeret lav- og mellemaktivt "kortlivet" 1994		Forventet deponerings hastighed 1995-99
	(m^3)	(%)	(m^3)	(%)	(m^3)	%	(m^3/år)
Belgien*	9300	34	3400	12	15000	54	
Danmark*	1000	91	100	9	0		
England	4200	< 1	66100	7	921000	93	11600
Finland	3000	64			1700	36	300
Frankrig	~0	~0	80000	11	635000	89	17200
Grækenland*	170	100			0		
Holland*	6000	69			2800	31	
Italien*	23000	~100			23	~0	
Portugal*	60	86	10	14	0		
Spanien	17000	85			2900	15	2100
Sverige	14200	38	800	2	22500	60	1100
Tyskland*	91300				32100	26	

** Lande, der ikke længere har eller aldrig har haft slutdeponeringsfaciliteter i drift. De er derfor for tiden henvist til mellemlagring.*

Overfladenære depoter kan være forsynet med barrierer af beton, ler m.m. Udformningen vil naturligvis afhænge af de lokale geologiske forhold.
Slutdepoterne for lav- og mellemaktivt kortlivet affald i vore nordiske nabolande Sverige, Finland og Norge er bygget ind i fjeldet, hvilket er naturligt for disse lande.

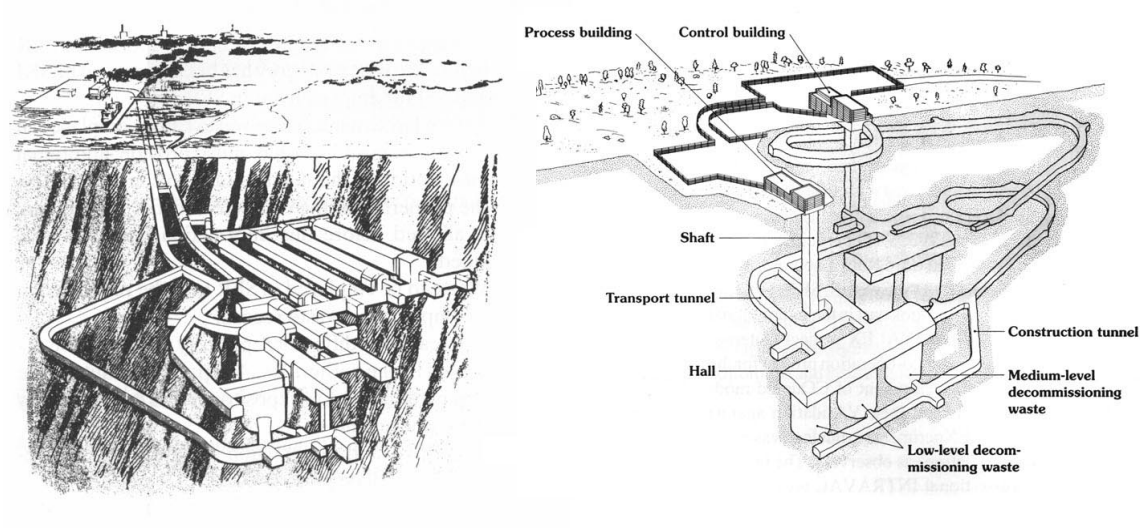
Det ældste nordiske deponi er Svensk Förvar for Reaktoravfall (SFR), der ligger ved Forsmark-kraftværket ca. 100 km nord for Stockholm. Anlægget befinder sig ca. 60 m under overfladen og er bygget ud under Østersøen. Adgangen sker via tunnelramper fra kysten (se Figur 2.1). Anlægget blev taget i brug i 1988 og er stadig under fyldning, primært med driftsaffald fra de svenske kraftreaktorer. Affaldet transporteres med skib til SFR. Kapaciteten angives til 60.000 m^3, og kan eventuelt øges.

Som det fremgår af figuren, består anlægget dels af aflange haller, hvor containere med lavaktivt affald henstilles uden yderligere beskyttelse, dels af en såkaldt silo, hvor det mere aktive affald bliver anbragt. Siloen er en betonkonstruktion, der er isoleret fra klippevæggen med en barriere af bentonit. Denne lerart vil, når den optager vand, bliver meget tæt. Når anlægget er lukket og pumpning ophører, vil det blive fyldt med vand, der trænger ind gennem sprækker i klippevæggene. Placeringen under havet betyder imidlertid, at vandet efter fyldningen ikke har nogen særlig tendens til at sive ud igen. Sikkerhedsanalyser har vist, at udslip af radionuklider til Østersøen vil være betydningsløse.

De to finske slutdepoter i granitten under Olkiluoto- og Loviisa-kraftværkerne ligner SFR. De er beliggende i samme dybde – om ikke under så dog ganske tæt ved Østersøen. Deres langtidsopførsel må forventes at svare nogenlunde til SFR's, selv om brug af en silo i stedet for klippehaller til det lavaktivt affald og en forskellig måde at pak-

ke affaldet på gør anlæggene lidt forskellige. De tre forreste siloer til højre i Figur 2.1 viser en planlagt fremtidig udvidelse til brug for affald fra dekommisionering af Olkiluoto-reaktorerne.

For slutdepotet ved Loviisa, der som det yngste er taget i brug i 1998, har man foretrukket tunnelhaller til alle typer affald. Som altid i underjordiske systemer sætter adgangsvejene grænser for, hvor store komponenter, der kan anbringes i lageret. Det stiller krav om betydelig opskæring af reaktortanke m.m. i forbindelse med dekommissionering.



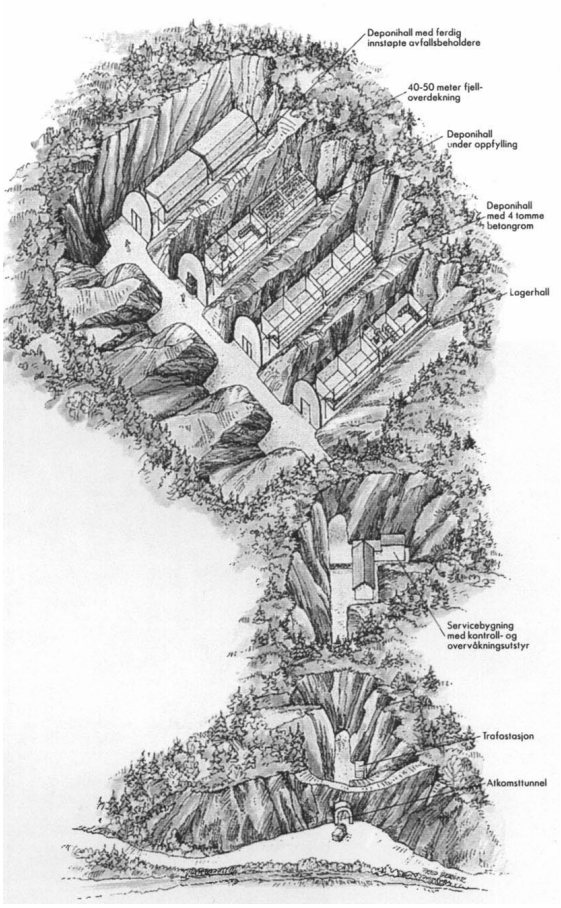
Figur 2.1 Til venstre ses SFR, det svenske slutdepot for reaktoraffald i klipperne under Østersøen ved Forsmark-kraftværket. Til højre det finske slutdepot i klipperne under Olkiluoto-værket. De tre forreste siloer til dekommissioneringsaffald er endnu ikke bygget.

Det norske slutdepot i Himdalen er også bygget i klipper, men denne gang i form af en tunnel, der med svag stigning går næsten vandret ind i en fjeldside (se Figur 2.2). Anlægget ligger ca. 60 km sydøst for Oslo. Det blev taget i brug i marts 1999. Transport til stedet sker med lastbiler. Affaldsenhederne bliver anbragt indstøbt i beton i fire klippehaller, der tilsammen kan rumme ca. 6000 m^3. Depotet er udformet så vand, der siver gennem de overliggende ca. 50 m klippe, ledes bort og ud langs gulvet. I modsætning til SFR og de finske systemer er deponiet derfor et umættet system.

Himdalen er især interessant for danske forhold, fordi skalaen svarer til, hvad der vil være behov for her i landet. Norge har ligesom Danmark ingen kernekraftværker, men skal primært tage vare på affald fra nuklear forskning på Institutt for Energiteknikk (IFE), Kjeller, og den fælleseuropæiske materialeprøvningsreaktor i Halden.

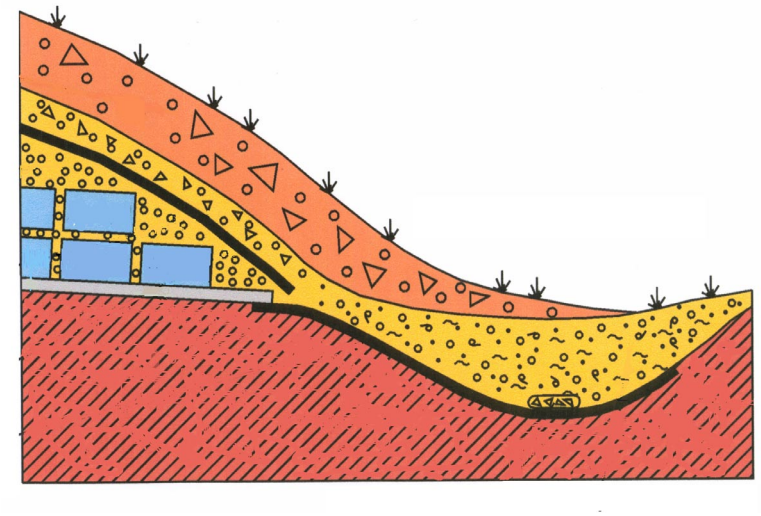
Konstruktionsomkostningerne angives til 70 mio. NOK, hvortil kommer de senere driftsomkostninger.

De svenske kraftværker har ud over at levere driftsaffald til SFR også etableret lokale overfladedeponier for lavaktivt affald. Her er affaldskasserne stablet sammen som en høj, der derefter er blevet forsynet med et lagvis opbygget dæklag af ler og grus, evt. suppleret med membraner til formindskelse af mængden af regnvand, der kommer i kontakt med affaldet (se Figur 2.3). Systemet kan forekomme primitivt, men korrekt udformet yder det tilstrækkelig beskyttelse for de affaldstyper og begrænsede aktivitetsmængder, der her er tale om.



Figur 2.2. Slutdepotet Himdalen i Norge.

Hvis man bevæger sig længere ud i verden og tilbage i tiden, støder man på delvis nedgravede lossepladslignende depoter. Erfaringerne med nogle af de tidlige er ikke gode. Bl.a. har der været tale om såkaldte "badekars"-effekter: Oversvømmelse med kontamineret vand, hvis drænforholdene var uheldige. I forbedrede versioner bruges



Figur 2.3. Principskitse for planlagt udvidelse af det eksisterende markdeponi ved Oskarshamn-reaktorerne. Kun den ene side af lageret samt drænsystemet er vist. Risø har bidraget til sikkerhedsanalysen.

metoden stadig, bl.a. i USA. Den er billig, men egner sig bedst til et tørt klima. En fordel er, at store komponenter – f.eks. hele reaktortanke – kan begraves, som de er. Herved undgås strålingsdoser fra det ellers nødvendige opskæringsarbejde.

I England er lav- og mellemaktivt affald gennem mange år blevet deponeret på Drigg, et ca. 1,1 km^2 område beliggende syd for oparbejdningsanlægget Sellafield. Den ældste del er af lossepladstypen, men i de senere år er man gået over til at bruge betonkonstruktioner, der kan minde om de franske anlæg (eller en storskala-version af de svenske markdepoter).

Det ældste franske slutdepot for lav- og mellemaktivt affald er Centre de la Manche, beliggende i Normandiet tæt ved oparbejdningsanlægget La Hague. Anlægget var i drift fra 1969 til 1994, hvorefter kapaciteten på 500.000 m^3 var fuldt udnyttet. Konstruktionsmæssigt består det af betonceller gravet ned i jordoverfladen, hvor affaldsenhederne med mest aktivitet er anbragt og omstøbt med beton. Oven på den herved fremkomne betonflade er der stablet tromler i stort antal, men med lavt aktivitetsindhold. Mellemrumsvolumenet er fyldt op med sand, og det hele er dækket med ler og jord, så det ligner et område med kæmpehøje. "Tumuli" kalder franskmændene dem. Drænledninger sørger for bortledning af regnvand, og Normandiet er jo ikke ligefrem noget tørt område. La Manche er ved at blive bragt i en sluttilstand, hvor det skal henligge under kontrol i en lang periode.

Når Drigg og La Manche er anbragt, hvor de er, er det naturligvis for at betjene oparbejdningsanlæggene, der navnlig tidligere var storleverandører af affald. Affaldet i disse vil indeholde mindre mængder langlivet aktivitet. Der er fastsat kriterier for modtagelsen af affald, som skal sikre, at affaldet efter en kontrolperiode på nogle hundrede år højest udgør en risiko svarende til naturlige forekomster af radioaktive stoffer. Rutinemæssige målinger på vandprøver fra Drigg viser, at aktivitetsudslippene er små og mest består af brintisotopen tritium.

Fransk lav- og mellemaktivt, kortlivet affald er fra 1992 blevet deponeret i et nyt overfladenært anlæg Centre de l'Aube, beliggende inde i landet i et fladt, skovdækket område ca. 200 km øst for Paris. Centret dækker ca. 1 km^2 (se Figur 2.4). Ca.10 % af deponeringskapaciteten på 1.000.000 m^3 er nu udnyttet. Tilførslen er aftagende, fordi producenterne er blevet bedre til at sortere og komprimere affaldet. Deponeringen sker ved, at affaldsenheder i form af tromler o.lign. anbringes i betonceller bygget oven på jordoverfladen, d.v.s. et godt stykke over grundvandet i området. For at nedbringe strålingsdoser til operatørerne bruges fjernstyrede kraner, der sammen med en flytbar overdækning kører på skinner langs betoncellerne. I forbindelse med anbringelse af tromlerne fyldes mellemrummene op med beton eller grus. Til sidst støbes låg over cellen, og det hele dækkes med vekslende lag af grus og ler, så regnvandet ledes bort og kun en ringe mængde vand siver ned til affaldet. Et specielt træk ved l'Aube er, at betoncellerne er bygget hen over gangsystemer, hvorfra der kan føres kontrol med eventuelt udsivende vand fra de lukkede betonceller (se Figur 2.4). Normalt skulle anlægget ikke kunne forurene undergrunden.

I USA, f.eks. på Savannah River-anlægget, bruger man også betoncellekonstruktioner til deponering af lav- og mellemaktivt affald, og tilsvarende konstruktioner er i brug til reaktoraffald, f.eks. ved Dukovany i Tjekkiet.

Det spanske anlæg El Cabril ligger i bjergene ca. 100 km nord for Sevilla. Det er bygget efter lignende principper som l'Aube, men er væsentlig mindre. Kapaciteten angives til 35.000 m^3. En af de to planlagte sektioner med betonceller er vist under opførelse i Figur 2.5. Anlægget er bygget langs med en bjergskråning, hvad der udnyttes til sikring mod kontakt med grundvand.



Figur 2.4. Luftfoto af det franske slutdepot Centre de l'Aube kort efter, at det blevet åbnet. Affaldsenhederne anbringes i betonceller, der ses i de fire rækker midt i billedet. Til højre er vist en tegning af en færdig celle, med omstøbte betonbeholdere samt gangsystemet nedenunder.

Et af koncepterne for et fremtidigt dansk anlæg til deponering af lav- og mellemaktivt affald kunne være en variant af de fransk/spanske systemer, tilpasset danske forhold. Volumenbehovet her i landet er beskedent, ikke over 10.000 m^3 og måske væsentlig mindre. Behovet afhænger af mulighederne for frasortering af ikke-aktivt materiale under nedbrydning af de nukleare anlæg på Risø.
Der kan måske blive brug for, hvad der svarer fra fire til seks af de betonceller, der er vist i Figur 2.5. Et andet koncept, der minder om de svensk/finske silo konstruktioner, modificeret for danske geologiske forhold, er også en mulighed.



Figur 2.5. Det spanske slutdepot El Cabril under opførelse i begyndelsen af 1990'erne.

En lang række forhold må tages i betragtning ved beslutning om etablering af et dansk depot, herunder valg af koncept og placering samt tilhørende undersøgelser og udredninger. Udformning af et slutdepot vil blive en af opgaverne for den nye organisation Dansk Dekommissionering, der forventes at få til opgave at forestå nedlæggelsen af de nukleare anlæg på Risø.

3 Kernekraftens el-produktion

I 1999 udviste den samlede installerede kernekrafteffekt i verden en lille stigning fra 348,9 GWe ved udgangen af 1998 til 349,1 GWe ved begyndelsen af 2000. 1 GWe er lig 1 gigawatt elektrisk effekt, der er lig 1000 MWe (megawatt) eller 1.000.000 kWe (kilowatt). Stigningen dækker over en række effektændringer, såvel i opadgående som i nedadgående retning. Til sammenligning tjener, at den installerede effekt i de danske kraftværker er omkring 8 GWe. Ved begyndelsen af 2000 var der ialt 433 kraftreaktorer i drift, mens 37 kernekraftenheder med en samlet effekt på 31 GWe var under bygning.

I 2000 er et antal nye kernekraftenheder sat i kommerciel drift. I Frankrig har man startet Civaux-2, en PWR-reaktor på 1450 MWe, som har været 9 år undervejs. Slovakiet har sat Mochovce-2-enheden, der har en effekt på 388 MWe, i drift. I Pakistan er Chasnupp-1-enheden, der har en effekt på 300 MWe, og som er leveret af Kina, sat i drift. Endelig er Kaiga-2 i Indien, en CANDU-reaktor på 200 MWe, og Rajastan-3, en CANDU-enhed på 202 MWe, sat i drift.

I Tyskland har man efter mange års diskussion besluttet endeligt at lukke Mülheim-Kärlich, en PWR-reaktor på 1200 MWe. Reaktoren havde været ude af drift siden 1988 efter at være startet op i 1987. Endvidere blev Tjernobyl-værket i Ukraine lukket endeligt ned i 2000.

Figur 3.1 viser udviklingen af den samlede installerede, elektriske effekt i kernekraftværker inden for forskellige geografiske områder. Effekten er givet i GWe.

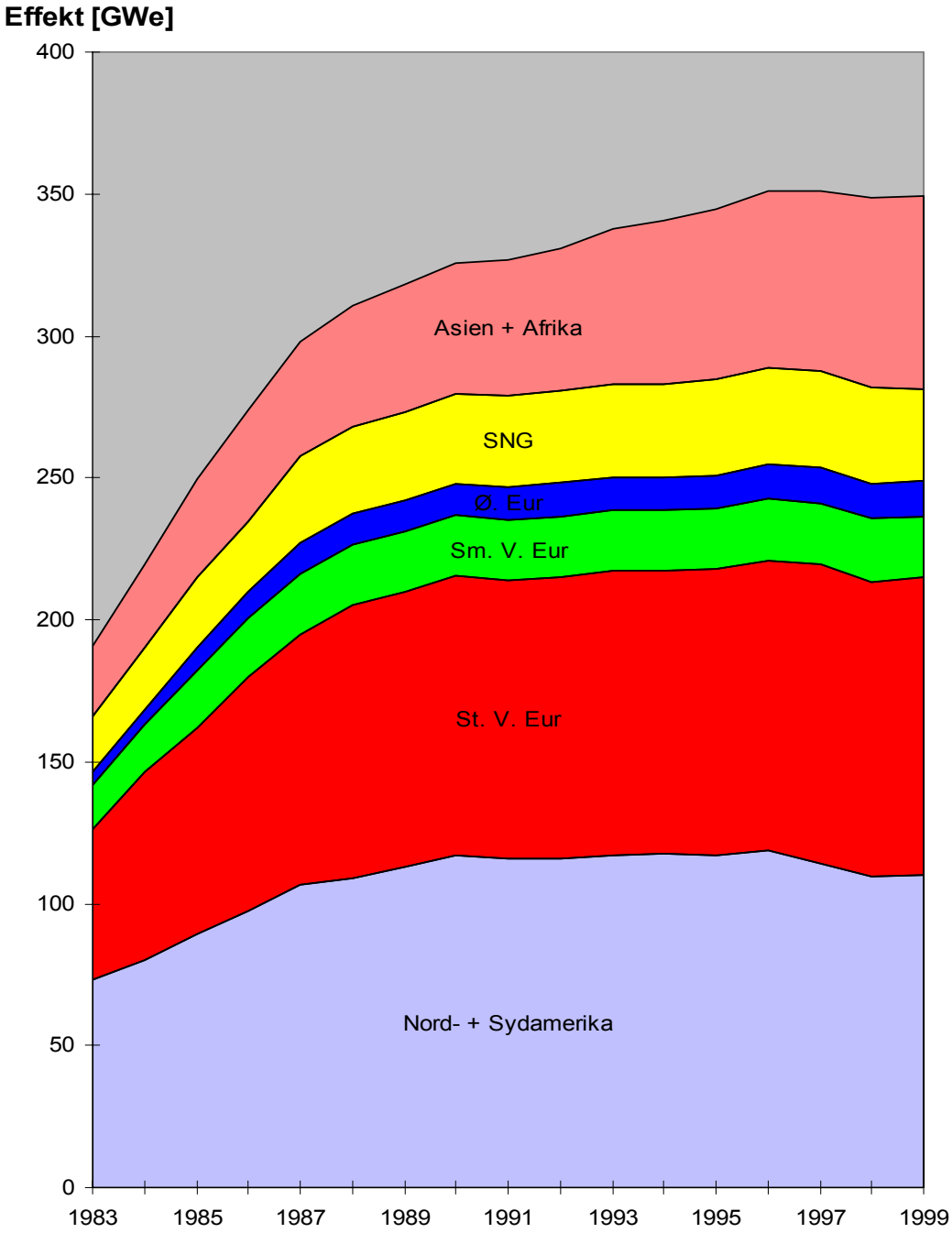
Det lyseblå område nederst i Figur 3.1 viser udviklingen af den installerede kernekraft-effekt i Nord- og Sydamerika. I begyndelsen af 2000 var denne 110 GWe. USA har den overvejende del af denne effekt, 97 GWe. Canada har 10 GWe, mens Mexico, Argentina og Brasilien hver har ca. 1 GWe.

Det røde område (St. V. Eur) oven over det lyseblå viser udviklingen af kernekrafteffekten i de store vesteuropæiske lande, d.v.s. Frankrig, Tyskland, Storbritannien og Spanien. Her er det Frankrig, der dominerer med 63 GWe, mens Tyskland har 21 GWe, Storbritannien har 13 GWe og Spanien 7 GWe. Italien har ingen kernekraftværker.

Oven på det røde område kommer det grønne, som viser udviklingen i de små vesteuropæiske lande (Sm. V. Eur). Der er her tale om Sverige, Belgien, Schweiz, Finland og Holland. Sverige har den største kernekrafteffekt, 9,4 GWe, mens Belgien har seks GWe, Schweiz og Finland hver tre GWe og Holland en halv GWe. Den samlede kernekrafteffekt i Vesteuropa er 126 GWe, d.v.s større end den samlede kernekrafteffekt i Nord- og Sydamerika.

Herefter kommer det mørkeblå område, som angiver udviklingen i Central- og Østeuropa. Her har Bulgarien knap fire GWe, Litauen godt to GWe, Slovakiet godt to GWe, Ungarn og Tjekkiet hver knap to GWe, mens Rumænien og Slovenien hver har godt en halv GWe. I alt har Central- og Østeuropa 13 GWe.

Det gule område (SNG) viser udviklingen af kernekraften i Rusland, Ukraine og Armenien. Her har Rusland 20 GWe. Herefter kommer Ukraine med 14 GWe og Armenien med 0,4 GWe.

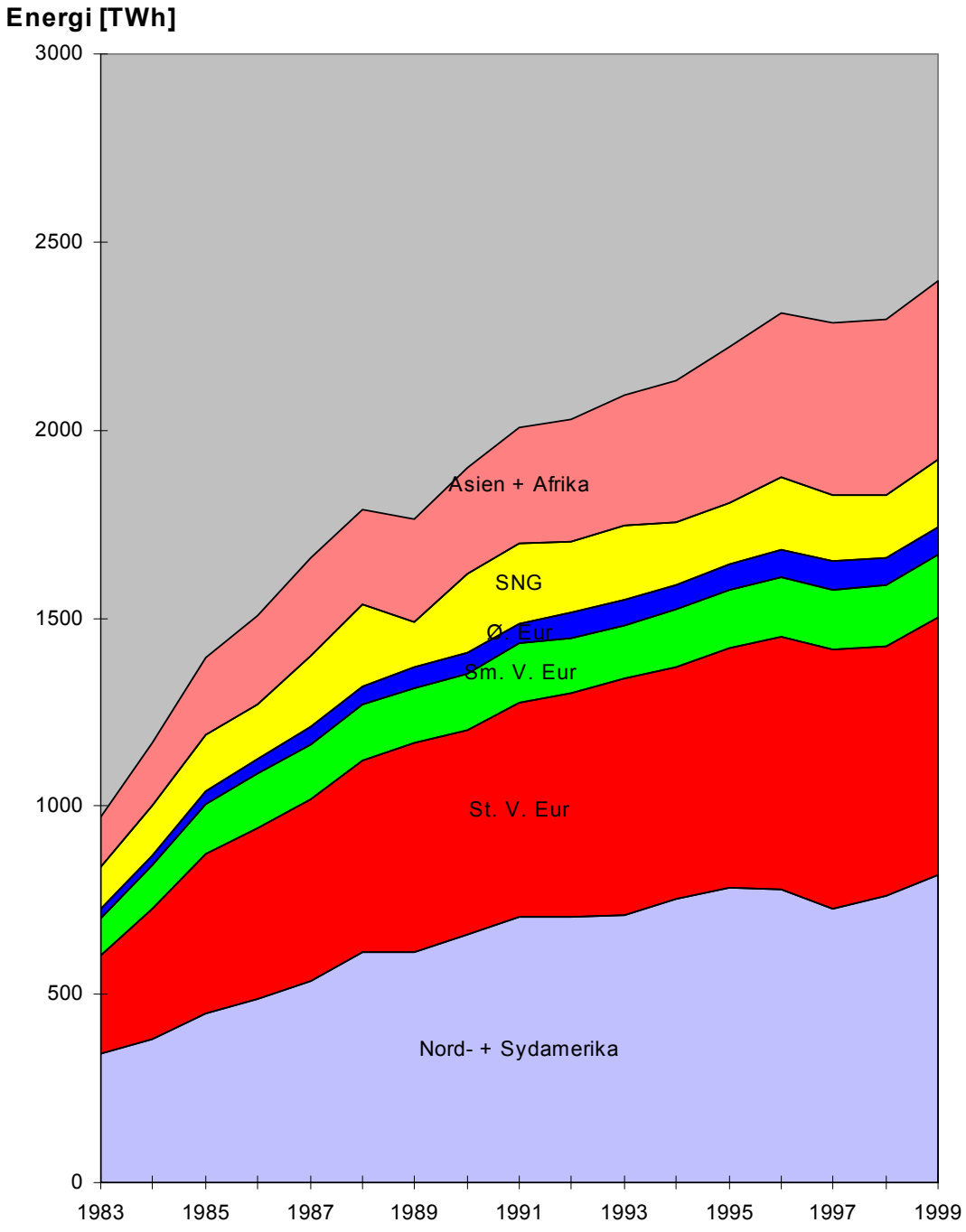


Figur 3.1. Udviklingen i den samlede installerede kernekrafteffekt inden for forskellige geografiske regioner.

Det øverste, lyserøde område angiver udviklingen i Asien og Afrika. Her dominerer Japan med 44 GWe. Sydkorea er nr. to med 12 GWe, Taiwan nr. tre med fem GWe og Kina nr. fire med to GWe. Sydafrika og Indien har hver knap to GWe, mens Pakistan har 0,1 GWe.

Hvad angår de reaktortyper, der anvendes i verdens kernekraftværker, så dominerer letvandsreaktorerne, idet 65% af effekten produceres med trykvandsreaktorer, mens 23% kommer fra kogendevandsreaktorer. Tungtvandsreaktorer står for godt 4%, og det samme gør den russiske RBMK-type (Tjernobyl-typen). De gaskølede grafitreaktorer bidrager med godt 3%.

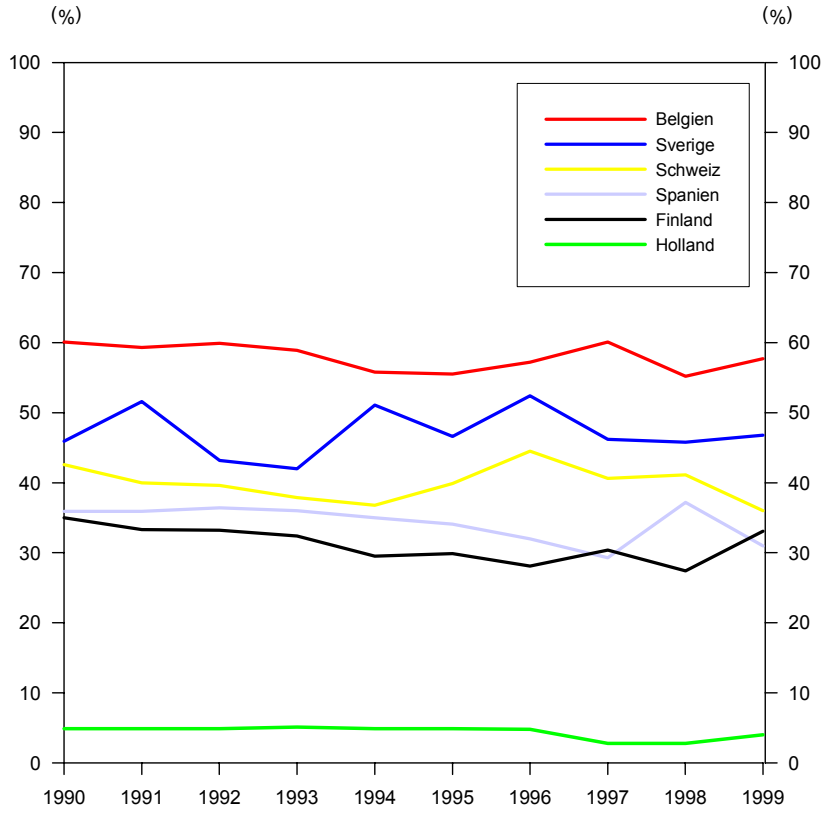
Figur 3.2 viser udviklingen i den samlede producerede energi fra kernekraftværker inden for de tilsvarende geografiske regioner som på Figur 3.1. Det ses af figuren, at fra 1998 til 1999 er der sket en væsentlig stigning i el-produktionen, fra 2293 TWh i 1998 til 2398 TWh i 1999, uden at der er sket en tilsvarende stigning i den samlede installerede effekt. Stigningen skyldes hovedsagligt, at amerikanerne er blevet bedre til at køre deres værker, d.v.s. driftsstoppene er blevet færre.



Figur 3.2. Udviklingen i den samlede producerede energi fra kernekraft inden for forskellige geografiske regioner.

Figur 3.3, 3.4 og 3.5 viser den procentdel af de forskellige landes el-produktion, der kommer fra kernekraftværker.

Figur 3.3 viser kernekraftens andel i el-produktionen i en række, hovedsagelig mindre, vesteuropæiske lande. Af figuren ses, at i 1999 var den 58% i Belgien, 48% i Sverige, 38% i Schweiz, 30% i Spanien og 32% i Finland.



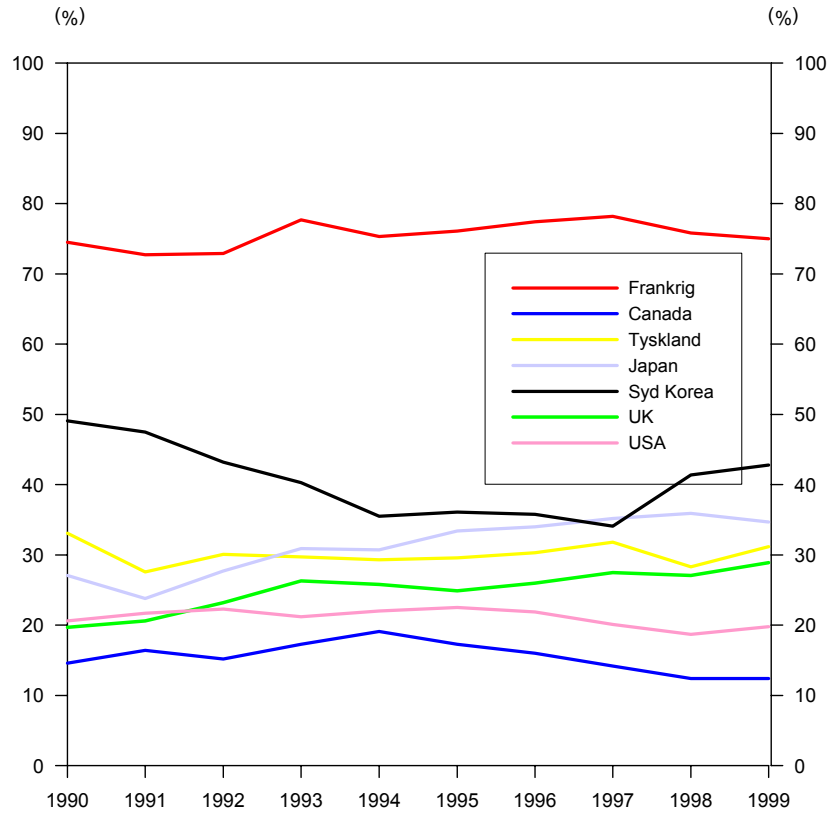
Figur 3.3. Kernekraftens andel (i %) i forskellige, fortrinsvis mindre vesteuropæiske landes el-produktion.

I Figur 3.4 viser kernekraftens andel i el-produktionen i en række, hovedsagelig større, industrilande. Det ses, at i 1999 var denne andel 75% i Frankrig, 43% i Sydkorea, 35% i Japan, 31% i Tyskland, 29% i Storbritannien, 20% i USA og 12% i Canada.

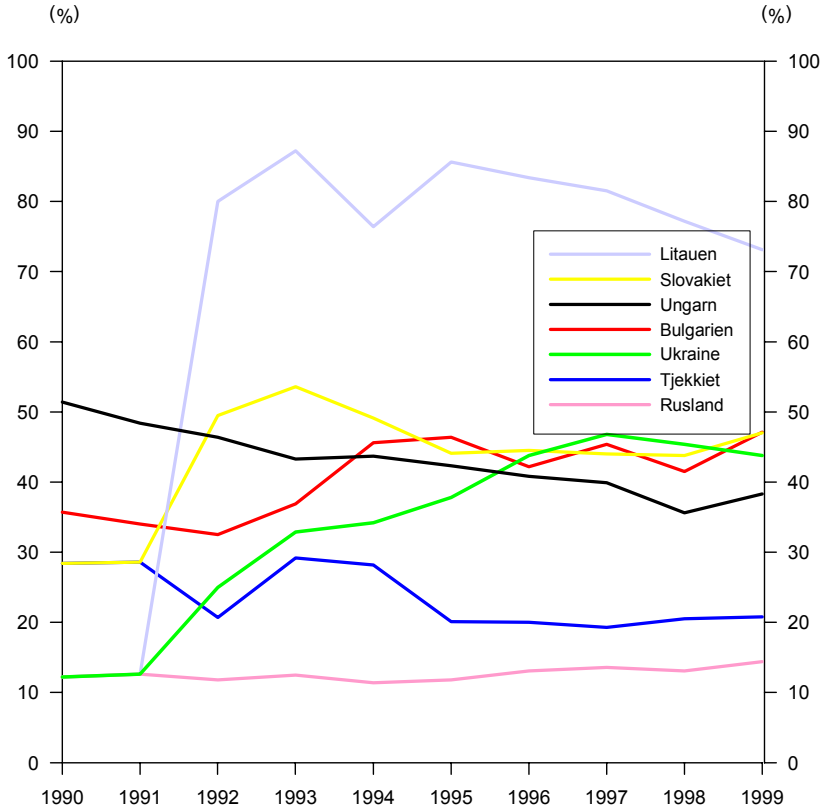
I alt kommer cirka en trediedel af Vesteuropas el-produktion fra kerne-kraftværker.

Figur 3.5 viser, hvor stor en rolle kernekraften spiller i de central- og østeuropæiske lande samt i SNG-landene. I 1999 var kernekraftens andel i el-produktionen 74% i Litauen, 44% i Ukraine, 48% i Slovakiet, 48% i Bulgarien, 39% i Ungarn, 21% i Tjekkiet og 14% i Rusland. Det skal nævnes, at næsten alle de russiske kernekraftværker ligger i den europæiske del af landet, således at kernekraftens andel af el-forbruget her er højere, mens den er mindre i Sibirien.

Det samlede antal driftsår for kernekraftværker var ved udgangen af 1999 nået op på 9491 år.



Figur 3.4. Kernekraftens andel (i %) i en række større industrilandes el-produktion.



Figur 3.5. Kernekraft andel (i %) i en række central- og østeuropæiske landes el-produktion.

4 Gennemgang af større, sikkerhedsrelevante hændelser i 2000

Året 2000 var helt enestående med hensyn til sikkerheden på verdens kernekraftværker. Der skete kun en enkelt hændelse, som blev vurderet til klasse 2 på INES-skalaen, og der forekom ikke alvorligere hændelser på verdens knap 450 kernekraftenheder. INES-skalaen (International Nuclear Event Scale) omtales nærmere i appendix A. En klasse-2 hændelse er en hændelse, der ikke har indebåret nogen egentlig risiko, men som har vist, at udstyr eller arbejdsrutiner skal ændres, hvis det krævede sikkerhedsniveau skal nås. Hændelsen, der vedrørte nogle franske kernekraftværker, omtales nedenfor.

Mens året 2000 således sikkerhedsmæssigt var det hidtil bedste for verdens kernekraft, var sikkerhedsforholdene ved brug af kraftige radioaktive kilder - ligesom de forrige år - mindre gode. I Egypten døde to personer af kraftig bestråling fra en iridium-kilde, mens fem andre fik doser, der bevirkede strålingssyge. I Thailand blev 10 personer bestrålet med en kobolt-60 kilde, og tre af dem fik livstruende strålingssyge. I Peru fandt man en kraftig radioaktiv kilde på gaden, men ingen fik dog væsentlige strålingsdoser som følge heraf.

Midt i februar blev ni personer sendt på hospitalet i Bangkok (Thailand). Her konstaterede man, at de havde strålingssyge som følge af at være blevet bestrålet af en kraftig kobolt-60 kilde. Kilden var blevet stjålet fra et hospital, hvor den var oplagret bag en tyk afskærmning. Derefter blev kilden solgt som metalskrot. De kraftige bestrålinger er øjensynlig sket på skrotpladsen. Hændelsen er ikke officielt blevet henført til nogen INES-klasse, men ved sammenligninger med tidligere, analoge hændelser må den vurderes som en klasse-3 hændelse.

Hændelsen i Thailand var blot én af en række lignende hændelser verden over de seneste 15 år, og den fik generaldirektøren for IAEA (International Atomic Energy Agency) i Wien til at opfordre alle regeringer til at indføre og vedligeholde detaljerede registre over alle strålingskilder. I de fleste vestlige lande har man haft sådanne registre i over 40 år.

Der skulle kun gå 4 måneder, før den næste strålingsulykke indtraf. I landsbyen Meet Halfa 40 km nord for Cairo var en landmand og hans ni-årige søn blevet alvorligt syge midt i juni, og de blev indlagt på hospitalet. Lægerne kunne imidlertid ikke identificere sygdommene. Først da yderligere tre familiemedlemmer blev syge, fik man mistanke om strålingssyge. Straks herefter kunne sagkyndige konstatere et meget kraftigt strålingsniveau i familiens hus. Det viste sig at være en iridium-192 kilde på ca. 40 Ci. Den var tidligere på året blevet importeret til Egypten af et firma, der kontrollerer svejsninger. Kilden var på et tidspunkt blevet stjålet, men firmaet havde ikke givet myndighederne besked herom. Det er uklart, hvordan landmanden var kommet i besiddelse af kilden. Han angav blot at have fundet den og taget den med hjem i den tro, at den var værdifuld. Da han og sønnen døde få dage senere, blev to personer fra det førnævnte firma arresteret og anklaget for manddrab. Kilden blev fjernet fra huset ved hjælp af fjernbetjent udstyr. Hændelsen blev af de egyptiske myndigheder bedømt til klasse 4 på INES-skalaen.

Årets eneste betydningsfulde hændelse ved kernekraft skete i Frankrig. Den skyldtes en fejl i betjeningsvejledningen for nedlukning af nogle reaktorer. Fejlen blev første gang opdaget d. 22. juni 2000 på Dampierre-2-værket, men det blev efterfølgende konstateret, at en tilsvarende fejl fandtes på kernekraftværkerne Tricastin og Bugey.

Ved de normale procedurer for nedlukning af en reaktor skal man - når trykket er kommet under 5 bar - bortkoble det automatiske sikkerhedsudstyr, der kan indsprøjte borholdigt vand i reaktortanken som ekstra sikkerhed for, at kædeprocessen stoppes. På Dampierre benyttede man en revideret beskrivelse af nedlukningsprocedurerne, og efter denne beskrivelse skulle automatikken frakobles ved et langt højere tryk. I flere timer har man derfor under hver nedlukning været uden det automatiske sikkerheds-udstyr.

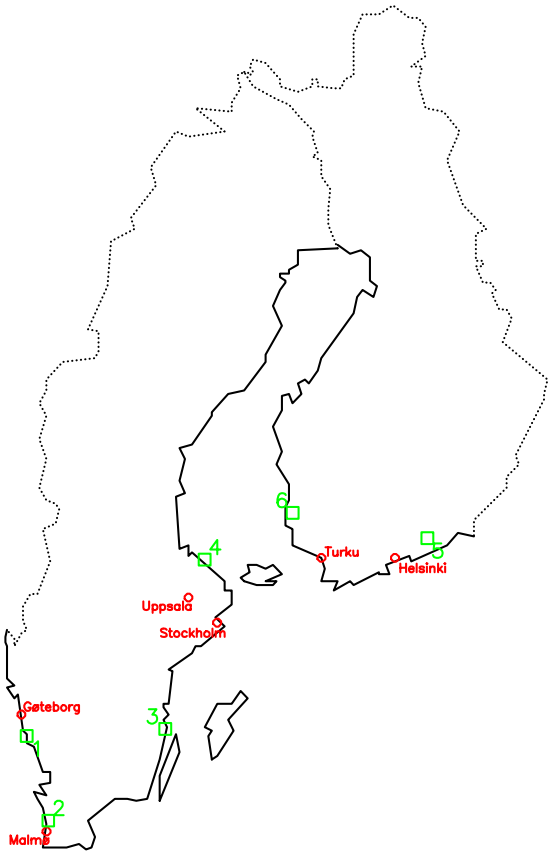
Den fejlagtige beskrivelse har ikke haft væsentlig sikkerhedsmæssig betydning. Udstyret skal kun benyttes, hvis der af andre årsager opstår et uheld. Udstyret kan også betjenes manuelt og i sikkerhedsprocedurerne er der for uheld med tab af kølemiddel direkte angivet, at udstyret skal igangsættes. Men da fejlen vedrørte 3 kernekraftværker, og da den forkerte procedure i alt havde været anvendt 21 gange, uden at fejlen blev opdaget, blev hændelsen alligevel bedømt til klasse 2 på INES skalaen.

D. 11. september 2000 opdagede man på en gade i Lima, Peru, at der var efterladt en beholder med en radioaktiv kilde. Myndighederne blev tilkaldt, og det konstateredes, at der kom en svag bestråling ud fra beholderen. Denne viste sig at indeholde en 30 Ci iridium-kilde, der havde været benyttet til kontrol af svejsninger og støbninger. Den var nogle dage tidligere blevet stjålet fra et firma, der ikke umiddelbart havde opdaget tyveriet. Beholderen med kilden var lukket (derfor det lave strålingsniveau), men nogen havde opbrudt beholderens lås. Man ved ikke, om kilden på noget tidspunkt har været ude af beholderen; men øjensynlig er ingen blevet bestrålet så kraftigt, at strålingssyge er konstateret. Det forhold, at kilden kunne stjæles, uden af ejerne straks konstaterede det, bevirkede, at hændelsen bedømtes til INES-klasse 2, selv om ingen kom til skade.

Der har i året 2000 også været usædvanligt få INES-hændelser af klasse 1 - nemlig 11 tilfælde; og kun 5 af hændelserne havde relationer til kernekraft. Resten vedrørte forsvundne radioaktive kilder.

5 Barsebäck-anlægget og andre svenske kernekraftværker

I Sverige findes 11 kernekraftenheder fordelt på fire værker: Barsebäck-værket i Skåne med en enhed (indtil 30/11-99 to enheder) af kogendevandsreaktortypen (BWR), Oscarshamn-værket i Østsmåland med tre enheder af typen (BWR), Ringhals-værket i Västergötaland med en enhed af typen BWR og tre enheder af trykvandsreaktortypen (PWR) og endelig Forsmark-værket nord for Stockholm med tre enheder af typen BWR. Den samlede installerede elektriske effekt for de 11 enheder er 9800 MW. Placeringen af værkerne fremgår af Figur 5.1. De svenske kernekraftværker leverer knap halvdelen af Sveriges elforbrug.



No.	Navn	Ant. enh.	MWe.brt.
1	Ringhals	4	3700
2	Barseback	1	615
3	Oskarshamn	3	2300
4	Forsmark	3	3208
5	Loviisa	2	930
6	Olkiluoto	2	1470

Figur 5.1. Kernekraftværker i Sverige og Finland.

Kogendevandsreaktorerne er alle leveret af ABB Atom (tidligere Asea Atom), mens trykvandsreaktorerne er leveret af det amerikanske firma Westinghouse.

5.1 Barsebäck-værket

Barsebäck-værket, der ligger ca. 25 km øst for København, bestod oprindelig af to BWR enheder, hver på 615 MWe, som blev taget i brug i henholdsvis 1975 og 1977. I slutningen af 1999 blev driften af enhed 1 standset med baggrund i en regeringsbeslutning fra februar 1998. Trods værkets forsøg på at få omstødt afgørelsen stod beslutningen ved magt og enhed 1 blev lukket den 30/11-1999. Siden hen har Ringhals AB overtaget ejerskabet af Barsebäck-værket, således at Barsebäck Kraft nu er et datterselskab af Ringhals AB.

I henhold til den energipolitiske aftale mellem Socialdemokratiet, Centerpartiet og Venstrepartiet fra 1997 skulle driften af enhed 2 standses senest den 1/7-2001. I den svenske rigsdags indstilling om standsning af Barsebäck-2 hedder det, at der skal kompenseres med el-besparelser og øget anvendelse af miljøacceptabel el-produktion, af en størrelse svarende til Barsebäck 2's produktion.

Med baggrund i flere undersøgelser fra konsulentfirmaer vedrørende det forsvarlige i at lukke enheden pr. 1/7-2001 har den svenske regering besluttet at vilkårene for en lukning ikke er opfyldt. Regeringen bedømmer, at tidligst med udgangen af 2003 vil dette være tilfældet. Den svenske rigsdag vil tage spørgsmålet op til afstemning i efteråret 2001.

Driften af enhed-2 har været stabil med kun få afbrydelser året igennem. Enkelte af disse driftsstop har haft sikkerhedsmæssig betydning herunder følgende:

- I begyndelsen af perioden konstaterede man skader på et brændselselement - disse skader blev dog ikke forværret gennem året.
- Ved periodisk afprøvning af sikkerhedssystemet lukkede en ventil i en af dampledningerne utilsigtet. Hændelsen havde til følge, at reaktoreffekten automatisk blev reguleret ned.
- Et nyt udstyr til aktivitetsmåling i skorstenen var siden 1999 blevet afprøvet på en fejlagtig måde. Hændelsen blev klassificeret til 1 på INES-skalaen. Klassificeringen skyldes, at afvigelserne fra driftsvilkårene ikke er blevet fanget af kvalitetskontrolsystemet.

I perioden 12/5-1/8 - 2000 var driften af reaktoren standset p.g.a lavt effektbehov og rigelig tilgang af vand til de svenske vandkraftværker. Man kunne dog ikke nå at lave om på starten af den årlige vedligeholdelses- eller revisionsperiode, som var planlagt til 24/8-2000.

Statens Kärnkraftinspektion (SKI) har besøgt værket adskillige gange i år 2000. En stor del af besøgene har haft til formål at interviewe de ansatte med fokus på, hvorledes de oplever situationen med en nedlukket reaktor, samtidig med at den tilbageværende reaktor trues af lukning. Resultatet af interviewene har fået SKI til i samarbejde med værket at iværksætte en undersøgelse af sikkerhedskulturen på anlægget. Undersøgelsen blev foretaget af et internationalt hold på 20 personer i november 2000.

I konklusionen fra undersøgelsen hedder det, at Barsebäck er et robust og sikkert anlæg, men der findes områder, som kræver ledelsens opmærksomhed og som kan forbedres. Her peges bl.a. på følgende områder:

- Vedtagne regler, som ikke overholdes, uden konsekvenser for de involverede
- Man er ikke god til at følge op på trufne beslutninger og forholdsregler
- Værket er ikke god til at anvende de regler og værktøjer, som findes
- Værket bør i større grad tage ved lære af egne og andres erfaringer
- Værket ikke selv sikrer sig, at medarbejderne har tilstrækkeligt kendskab til nye krav og rutiner
- Mangler i systemet til kalibrering af måleudstyr

Generelt er værket præget af en organisation, som har været udsat for et stort politisk pres gennem lang tid. Værkets ledelse har efter offentliggørelsen af undersøgelsen givet udtryk for, at en forbedring af sikkerhedskulturen bliver en hovedopgave i de nærmeste år. Antallet af ansatte er i løbet af 2000 reduceret fra 425 til 365.

5.2 Forsmark-værket

Forsmark-værket ligger ca. 100 km nord for Stockholm og består af tre BWR-enheder. Enhed-1 og -2, begge på 1000 MWe, blev taget i brug i 1981, mens enhed-3 på 1200 MWe blev sat i drift i 1985.

Forsmark-1 har kørt planmæssigt hele året uden nævneværdige problemer. I maj, juni og juli kørte enheden ved ca. 40% effekt p.g.a. lavt effektbehov og store vandreserver i de svenske elve. Den årlige revision blev indledt den 7/8-2000 og varede kun tre uger, da der ikke var planlagt store reparationsarbejder.

Forsmark-2 har ligeledes haft en normal drift, kun afbrudt af reduceret effektbehov. Den årlige revision begyndte d. 2/7-2000, og omfattede store, planlagte reparations- og udskiftningsarbejder. Moderatortanken blev udskiftet og top- og bundgitteret, imellem hvilke brændselselementerne er placeret, blev også fornyet. Årsagen til udskiftningen af disse komponenter var en begyndende skørhed af materialet som følge af kraftig neutronstråling på det sted, hvor komponenterne er placeret. Endelig blev et stort antal svejsninger i reaktortankstudse forbedret gennem anvendelse af nyt svejsemateriale. Sammenlagt betød disse arbejder, at revisionen kom til at vare 8 uger.

Enhed-3 har kørt stabilt gennem hele året med en planlagt revision på 3 uger, hvor kun de normale eftersyn, afprøvninger og kontroller blev foretaget.

5.3 Oskarshamn-værket

Oskarshamn-værket ligger ca. 50 km nord for Kalmar. Dets 3 BWR-enheder på 465 MWe, 630 MWe og 1205 MWe blev taget i brug i henholdsvis 1972, 1975 og 1985.

Enhed-1, som er Sveriges ældste kernekraftværk, har kørt stabilt året igennem, kun afbrudt af tvungen effektreduktion p.g.a. lavt effektbehov, som tilfældet har været for de øvrige svenske kernekraftværker. Der har tidligere været problemer med gasturbinerne, som skal levere reservekraft i tilfælde af bortfald af det ydre net. Disse skulle

nu være løst med udskiftning af en lang række komponenter i systemet. Den årlige revision blev indledt den 25. august 2000 uden store planlagte arbejder.

Enhed-2, søsterenhed til Barsebäck-2, har kørt med en mindre brændselsskade, som blev konstateret allerede ved året start. Værket vurderede, at det ville være forsvarligt at forsætte driften frem til revisionen i midten af maj. Under revisionen blev der konstateret sprækker i nogle ophæng til kernens sprinklersystem, som er en del af nødkølesystemet. Efter yderligere undersøgelser af sprækkernes omfang, gav SKI tilladelse til at starte igen frem til næste revision, forudsat at der foretages regelmæssig kontrol af sprækkernes udvikling. Ved revisionen 2001 skal ophængningssystemet udskiftes.

Under driften af enhed-3 indtraf i begyndelsen af januar en hændelse som førte til "snabbstop", d.v.s. nedlukning af reaktoren inden for 5 sekunder. Årsagen var, at reaktoren i forbindelse med et vedligeholdelsesarbejde var ved at komme uden for sit tilladte driftsområde, hvorfor reaktoroperatøren valgte at udløse manuelt "snabbstop". Ved opstart efter revisionen i midten af august indtraf yderligere et "snabbstop" i forbindelse med, at man afprøvede en ventil i trykaflastningssystemet. Tre dage efter var fejlen udbedret, og enheden leverede igen strøm til det svenske el-net.

5.4 Ringhals-værket

Ringhals-værket ligger ca. 60 km syd for Göteborg og ca. 65 km øst for Læsø. Enhed-1, en BWR på 825 MWe, blev taget i brug i 1976, enhed-2, en PWR på 915 MWe, blev taget i brug i 1975, mens de 2 sidste PWR enheder, hver på 960 MWe, blev taget i brug i henholdsvis 1981 og 1983.

Ringhals-1 har kørt stabilt frem til starten på den årlige revision, der indledtes midt i juli. Under revisionen skulle der udføres store arbejder. Bl.a. skulle hele ophængningssystemet til kernens sprinklersystem inspiceres og der skulle skiftes rotor på en af generatorerne. Endelig skulle skader på mellemoverhederne udbedres. Der blev imidlertid fundet så mange nye sprækker i svejsningerne til ophænget af sprinklersystemet, at revisionen kom til at vare 4 måneder. På den baggrund besluttede værket, at hele sprinklersystemet og tilhørende ophæng skal skiftes ved revisionen i 2001.

På enhed-2 indtraf i marts måned en hændelse, som førte til "snabbstop". Under afisning af kølevandsindtaget fik man et overslag i spændingsforsyningen, som førte til at to af de primære kølevandspumper faldt ud, hvorved reaktoren automatisk blev hurtignedlukket. Fire timer senere var enheden igen i drift. Under revisionen, som startede den 5. maj, blev hele systemet for indtag af kølevand fra havet, det såkaldte "ställverk", fornyet. Den 17. juni var enheden igen koblet til el-nettet, men lavt effektbehov gjorde, at effekten blev reduceret til 40% resten af sommeren.

Ringhals-3 har kørt stabilt gennem hele året, kun afbrudt af en revisionsperiode på fire uger. Denne enhed har kørt ved reduceret effekt af samme årsag som de øvrige svenske kernekraftværker.

Enhed-4 har kørt stabilt frem til 24/8-2000, hvor revisionen blev indledt. Den var planlagt til at vare fem uger og omfattede bl.a. reparationer i dampgeneratorerne. Der blev imidlertid fundet aksiale revner i fire svejsninger i det primære kølesystem, hvis udbedring og efterfølgende myndighedsbehandling bevirkede, at revisionen først var afsluttet i slutningen af november 2000.

6 Udviklingen i Østeuropa med hensyn til reaktorsikkerhed

6.1 RBMK-reaktorer

Den russiske forkortelse RBMK står for "Reaktor Bolshoj Moshnost'i Kanal'nogo", hvilket oversat betyder "Reaktor stor effekt og kanaltype". Det er betegnelsen for den grafitmodererede, kogendevandskølede kanaltypereaktor, som i årene efter 2. verdenskrig blev udviklet i Sovjetunionen. Inspirationen til denne reaktortype kom fra bygning af produktionsreaktorer til fremstilling af våbenplutonium. Men det skal bemærkes, at RBMK-typen kun benyttes til kraftproduktion og ikke til plutoniumproduktion, da de russiske oparbejdningsanlæg ikke kan modtage det udbrændte brændsel fra RBMK-reaktorer. Det udbrændte brændsel hensættes i lagre ved reaktorerne.

RBMK-typen blev, måske p.g.a. dens militære oprindelse, kun bygget inden for Sovjetunionens grænser. Men efter opløsningen af Sovjetunionen lå Tjernobyl-værket i Ukraine og Ignalina-værket i Litauen. De fire resterende RBMK-værker ligger i Rusland som angivet i Tabel 6.1. Det skal dog bemærkes, at Bilibino-værkets enheder har en meget beskeden effekt. Den sidste igangværende enhed på Tjernobyl-værket blev efter pres fra vestlig side lukket i december 2000 og er derfor ikke medtaget i Tabel 6.1.

Tabel 6.1. RBMK-værker.

Værk	Antal enheder	Land	Afstand til Danmark	El-effekt pr. enhed
Leningrad	4	Rusland	1050 km	925 MWe
Kursk	4	Rusland	1450 km	925 MWe
Smolensk	3	Rusland	1100 km	925 MWe
Bilibino	4	Rusland	5900 km	11 MWe
Ignalina	2	Litauen	700 km	1185 MWe

Efter Tjernobyl-ulykken i 1986 var interessen for fortsat bygning af denne reaktortype begrænset. Der var et antal under opførelse, men byggeriet blev indstillet. En bidragende faktor var Ruslands dårlige økonomi. Det er dog blevet besluttet at færdiggøre Kursk-5, der var meget nær ved at være færdigbygget. Det forventes, at Kursk-5 bliver sat i drift inden for de næste tre år. Der har været tale om at bygge en mere avanceret RBMK-type, MKER800, der lever op til vestlige sikkerhedskrav, men indtil nu er der ikke taget konkrete skridt til realisering af dette projekt.

Svaghederne ved RBMK-typen er,

- at de tidligste reaktorer af denne type slet ikke havde nogen reaktorindeslutning og at de senere reaktorer havde en indeslutning, der kun kunne klare små uheld. Selvom der ved nogle af RBMK-værkerne er lavet ændringer af indeslutningssystemet,

således at det kan klare noget større uheld, lever systemet stadig ikke op til vestlig standard. Det er p.g.a. reaktorens størrelse meget dyrt og på eksisterende RBMK-enheder næppe muligt at lave en acceptabel indeslutning.
- at reaktorerne under visse driftsomstændigheder bliver ustabil, og kan få kædeprocessen til at løbe løbsk p.g.a. den såkaldte positive dampkoefficient. Denne risiko er efter Tjernobyl-ulykken blevet reduceret ved brug af brændsel med højere berigning.
- at kontrolstavssystemet oprindelig var meget uheldigt udformet. Denne risiko er blevet fjernet ved ændring af kontrolsystemet.
- at den anvendte grafit er brændbar. Brand i grafitmoderatoren var sammen med den manglende reaktorindeslutning årsag til, at det radioaktive udslip fra reaktoren efter Tjernobyl-ulykken varede i godt en uge, d.v.s. indtil grafitten var brændt, og fik så stort et omfang.

Disse fire forhold bidrog væsentligt til Tjernobyl-ulykken. Det har som ovenfor nævnt været muligt at gøre noget ved to af forholdene, men ikke for alvor ved den utilstrækkelige reaktorindeslutning og den brændbare grafit. Det bør nævnes, at personalets utilstrækkelige uddannelse og viden om anlægget også bidrog væsentligt til ulykken.

6.2 VVER-reaktorer

I Rusland har trykvandsreaktoren ligesom i vesten spillet en vigtig rolle for kernekraftens udvikling. Den russiske trykvandsreaktortype betegnes VVER, hvilket står for Vand (moderator) Vand (kølemiddel) Energi Reaktor. Den er bygget i to effektstørrelser, VVER-440 med en nominel effekt på 440 MWe og VVER-1000 med en nominel effekt på 1000 MWe. Begge udgaver er opført såvel i Sovjetunionen som i andre lande. Tabel 6.2 giver antallet af idriftværende VVER-enheder. VVER-440 udgaven findes i to varianter, VVER-440/230 og VVER-440/213, som omtalt nedenfor.

Tabel 6.2. VVER-værker.

Land	Antal VVER-440/230-enheder	Antal VVER-440/213-enheder	Antal VVER-1000-enheder
Rusland	4	2	7
Ukraine	0	2	11
Armenien	1	0	0
Bulgarien	4	0	2
Slovakiet	2	4	0
Tjekkiet	0	4	1
Ungarn	0	4	0
Finland	0	2	0

Der er adskillige VVER-enheder under bygning: En VVER-1000 enhed i Tjekkiet, en VVER-1000 enhed i Iran, to VVER-1000 enheder i Rusland, to VVER-440 enheder i Slovakiet og to VVER-1000 enheder i Ukraine. Der er endvidere indgået kontrakt om bygning af to VVER-1000 enheder i Kina og der forhandles om bygning af en i Indi-

en. På grund af de økonomiske problemer i Øst- og Centraleuropa er det dog tvivlsomt, om alle disse projekter gennemføres.

VVER-reaktorerne er designet i Rusland, men de bygges også af det tjekkiske firma Skoda.

VVER-440

VVER-440-typen er blevet bygget i to udgaver. Den første betegnes VVER-440/230, den nyere VVER-440/213. Forskellen mellem de to udgaver er først og fremmest, at der i VVER-440/213 er indført en række sikkerhedsforbedringer.

VVER-440/230 har ikke en reaktorindeslutning i vestlig forstand. Den bygning, der omgiver reaktoren og det primære kølekredsløb, er ganske vist solid, men den har et beskedent rumfang, og den kan kun klare et overtryk på 1 bar. VVER-440/213 er derimod forsynet med et boblekondensationstårn, hvor damp, der slipper ud af reaktorsystemet ved et uheld, bliver kondenseret, hvorved trykstigningen i bygningen begrænses. Der har været tvivl om kondensationstårnets effektivitet, og der er derfor lavet forsøg med konstruktionen. Disse har vist, at tårnet fungerer som forventet. Forsøgene blev afsluttet sidst i 1999 og foregik ved en forsøgsopstilling i Elektrogorsk nær Moskva. Forsøgene blev gennemført med vestlig deltagelse og finansiering.

VVER-440/230 har ikke et egentligt nødkølesystem, der leverer nyt kølevand, såfremt reaktorvand under et uheld lækker ud af reaktorsystemet. Den har derimod seks pumper i to grupper, der hver kan levere 10-15 liter borholdigt vand pr. sekund ved et tryk på 125 bar. VVER-440/213 har tre højtryks- og tre lavtrykspumper til nødkøling. Dertil kommer fire tryksatte (60 bar) lagertanke med borholdigt vand. Denne nødkølekapacitet er tilstrækkelig til at klare et fuldt rørbrud på primærkredsens rør (diameter: 500 mm).

Et problem ved VVER-440-reaktorerne, der har været meget diskuteret, er, at tryktankens væg med svejsesømme sidder tæt ved reaktorkernen, og at tanken derfor udsættes for en betydelig bestråling med hurtige neutroner, som gradvis gør stålet skørt. Denne omdannelse kan modvirkes ved med mellemrum at foretage en udglødning af den mest udsatte del af tanken. Bestrålingen af tankvæggen kan også mindskes ved, at de yderste brændselselementer i kernen erstattes af stålelementer. Undersøgelser synes at vise, at skørhedsproblemet ikke er så stort som oprindelig antaget.

Nogle VVER-440-enheder har ikke tilstrækkelig rumlig adskillelse af sikkerheds- og andre systemer, således at et uheld i et system kan påvirke et andet. Endvidere er der ikke altid den nødvendige dublering af sikkerhedsrelevante systemer.

Sammenlignet med vestlige trykvandsreaktorer har VVER-440-typen dog også visse fordele. Den har seks parallelle kølekredsløb, hvor vestlige reaktorer sædvanligvis har to eller tre. Herved bliver diameteren af rørene i det enkelte kredsløb mindre og lækagen ved rørbrud også mindre. VVER-reaktorerne indeholder større mængder vand, hvilket betyder, at der går længere tid efter starten af en læk, før tilførsel af nyt kølevand er nødvendig. Tab af kølemiddel-uheld (”Loss of coolant accident”, LOCA) med VVER-enheder har demonstreret, at dette faktisk er tilfældet. Endelig belastes brændselsstavene ikke så meget, og trykket i tanken er også lavere sammenlignet med vestlige trykvandsreaktorer.

I forbindelse med opførelsen af det finske Loviisa-værk, der består af to VVER-440-enheder blev der på finsk forlangende indført en lang række ændringer, således at værket er fuldt på højde med vestlig sikkerhedsstandard. De erfaringer, der hermed blev gjort med VVER-440-typen, er blevet benyttet til af forbedre sikkerheden på senere VVER-enheder.

VVER-1000

VVER-1000-typen minder meget om de vestlige trykvandsreaktorer. Reaktoren er forsynet med fire parallelle kølekredsløb med hver sin dampgenerator. Hver enhed er forsynet med en enkelt 1000 MWe turbogenerator. VVER-1000 er forsynet med en regulær reaktorindeslutningsbygning, der kan klare et overtryk på 4 bar. Typen er ligeledes designet til at kunne klare et brud på det største rør i kølekredsene og samtidigt tab af ekstern strømforsyning. Det er derfor den generelle opfattelse, at VVER-1000-enheder med begrænsede forbedringer vil nå op på vestlig sikkerhedsstandard.

Andre VVER-udgaver

Forskellige andre varianter af VVER-typen har været under udvikling i Rusland, f. eks. VVER-91 og VVER-640. På grund af de vanskelige økonomiske forhold i Rusland er der dog langt til realisering af disse projekter.

Organisationen af vesteuropæiske reaktorsikkerhedsmyndigheder, Western European Nuclear Regulators Association (WENRA), har lavet en undersøgelse af sikkerheden af alle kernekraftenheder i Central- og Østeuropa (Bulgarien, Litauen, Rumænien, Slovakiet, Slovenien, Tjekkiet og Ungarn). Resultatet af denne undersøgelse er, at alle værker med to undtagelser lever op til vestlig sikkerhedsstandard. De to undtagelser er Ignalina-værket i Litauen samt Kozloduy-1- til -4-enhederne i Bulgarien. WENRA finder ikke, at det er muligt at forbedre disse enheder, så de når op på vestlig sikkerhedsstandard, og det er derfor, at man fra EU's side prøver at overtale de to landes regeringer til at lukke disse enheder. Ved nogle af de øvrige enheder ønskes mindre ændringer gennemført.

6.3 Skibsreaktorer

Skibsreaktorer benyttes især til fremdrift af militære fartøjer. Fordelen ved reaktordrevne skibe er, at de kun med meget lange mellemrum behøver nyt brændsel. Der har endda været talt om at konstruere ubådsreaktorer, der ikke behøver nyt brændsel i hele deres levetid. Hertil kommer, at man med reaktorer kan bygge undervandsbåde, der kan sejle neddykkede i måneder. Det er i virkeligheden først med nukleare ubåde, at man har kunnet bygge egentlige undervandsbåde. Tidligere tiders ubåde var overfladefartøjer, der for en kortere periode kunne dykke ned under havoverfladen.

Inden for den civile søfart har det vist sig, at brug af reaktorer ikke kan konkurrere med dampturbiner og dieselmotorer, så det er kun til ganske specielle anvendelser, at reaktorer anvendes. I Rusland anvendes reaktorer til fremdrift af isbrydere og isbrydende skibe oppe i ishavet, hvor mulighederne for at få brændstof er meget begrænsede.

USA har 83 nukleart drevne fartøjer, 9 hangarskibe og 74 ubåde med ca. 100 reaktorer, i drift. Rusland har 59 nukleart drevne fartøjer, 2 krydsere, 51 ubåde og 6 isbrydere, med godt 100 reaktorer, i drift. Storbritannien har 16 ubåde med 16 reaktorer i drift. Frankrig har 10 ubåde med 10 reaktorer i drift. Kina har 6 ubåde i drift.

Det er hensigten at gøre den russiske isbryder NS Lenin, som nu er taget ud af drift, til et museum i Murmansk.

I 2000 indtraf der en alvorlig ulykke i den russiske Nordflåde, idet en reaktordreven ubåd, Kursk, sank i Barentshavet ca. 150 km nordøst for Murmansk, og alle 118 ombordværende omkom. Selvom reaktoren ikke var involveret i ulykken, kan der alligevel være grund til at gennemgå forløbet af denne på basis af foreliggende oplysninger.



Figur 6.1. Den russiske ubåd Kursk.

Kursk var en krydsemissil-ubåd af Oscar-II-klassen. Denne betegnelse er den af NATO anvendte. I Rusland betegnes klassen Projekt 949A eller Anteiy. Kursk var en af Ruslands nyeste ubåde. Den blev taget i drift i 1995. Oscar-II-klassen er meget store ubåde, idet de i neddykket tilstand har et deplacement på 18.000 t. De har en længde på 154 m, en bredde på 18 m og en højde (eksklusive tårnet) på 9 m. De er forsynet med to reaktorer, hver på 190 MWt, og deres maksimale hastighed er i neddykket tilstand 28 knob. De er som de fleste russiske ubåde forsynet med et dobbeltskrog, et ydre skrog og et indre trykskrog. Klassens maksimale neddykningsdybde er 500 m. Oscar-II-ubådes vigtigste våben er krydsemissiler af Shipwreck-typen, der har en rækkevidde på 450 km. Missilerne er anbragt mellem ydre skrog og trykskrog. Derudover er de bevæbnede med torpedoer.

D. 10. august indledte den russiske Nordflåde sin sommermanøvre med deltagelse af ca. 30 skibe, heriblandt Kursk, der udover sin sædvanlige besætning også havde fem stabsofficerer fra Nordflåden samt to torpedoeksperter om bord. Om formiddagen d. 12. august affyrede Kursk ved en dybde af 20 m en torpedo. Kort tid efter bad kaptajnen om tilladelse til at affyre endnu en torpedo. Øvelsesledelsen gav kl. 11.30 tilladelse hertil, og ganske kort herefter indtraf der to eksplosioner, den første en kortvarig, men skarp, den anden en voldsom eksplosion, der svarede til sprængning af en til to tons trotyl. Disse eksplosioner blev detekteret såvel fra norsk som fra amerikansk side. Eksplosionen indtraf i ubådens forreste del, hvor torpedorørene er anbragt, og den var så voldsom, at den lavede revner i skroget fra forstavnen og hen til tårnet, hvorfor der skete en hurtig vandindtrængning i ubådens forreste rum. Ubåde et opdelt i et antal rum, der er adskilt af vandtætte skot. Forbindelsen mellem dem sker gennem luger i skottene, der straks lukkes i tilfælde af vandindtrængning, såfremt denne ikke foregår for hurtigt. Oscar-II-ubåde er opdelt i 10 rum, og formentlig er de forreste fire rum hurtigt blevet fyldt med vand. Herved tabte Kursk opdriften, og ubåden bevægede

sig med forstavnen forrest ned mod havbunden, som den ramte. Herefter lagde den sig på havbunden i en dybde af 108 m med en hældning på 60^{o}.

Reaktoranlægget er formentlig automatisk lukket ned af eksplosionen. El-nødforsyningen, der kommer fra akkumulatorbatterier, har formentlig befundet sig i den forreste del af ubåden, og er p.g.a. vandindtrængningen hurtigt sat ud af funktion. I hvert fald blev der hurtigt mørkt i ubåden. P.g.a. eksplosionen, den bratte nedfart mod havbunden og kollisionen mod denne er besætningen blevet kastet rundt, og mange er sandsynligvis kommet til skade. De bageste rum (rum 6, 7, 8, 9 og 10) blev ikke fyldt med vand med det samme, og 23 overlevende besætningsmedlemmer samlede sig i mørke i rum 9, i hvis loft en nødsluse er anbragt. Der hørtes i begyndelsen bankesignaler fra ubåden, men de ophørte efter 2 dage.

Som nævnt ovenfor blev reaktoranlægget, efter hvad der foreligger oplyst, hurtigt lukket ned efter eksplosionen, og herefter er reaktorens eftervarme formentlig blevet fjernet ved naturlig cirkulation, således at reaktorbrændslet næppe er blevet beskadiget. Såfremt der er trængt vand ind i reaktorrummet, vil dette have sikret den nødvendige køling. Endelig har eftervarmen formentlig været begrænset, idet den russiske flåde af økonomiske grunde ikke sejler meget med sine ubåde. Dette stemmer med, at der hverken uden for eller inde i ubåden er målt stråling over baggrundsniveauet.

Der har været nævnt flere mulige årsager til ulykken. Fra russisk side har man hævdet, at der formentlig var tale om en kollision med et NATO-fartøj, sandsynligvis en amerikansk ubåd. Russerne hævder, at buler i Kursk's skrog tyder på kollision. Denne forklaring er ikke sandsynlig. Ganske vist følger NATO-fartøjer russiske flådemanøvrer på samme måde som russiske fartøjer følger NATO-øvelser, og ganske vist kan amerikanske ubåde opføre sig ganske aggressivt. Der har således været flere kollisioner mellem amerikanske og russiske ubåde, men de har aldrig resulteret i, at nogen af ubådene sank. Ubåde er krigsfartøjer, der er bygget til at overleve krigsforhold, f.eks. dybvandsbomber m.v. og er derfor meget robuste i deres konstruktion. Ødelæggelserne på Kursk var så store, at hvis de var blevet forårsaget af en kollision, måtte den have været så voldsom, at der bagefter havde ligget to ubåde på havbunden, ikke kun en.

Langt sandsynligere er det, at der har været en torpedoeksplosion i Kursk i forbindelse med affyringen af den anden torpedo. Det er oplyst, at der ombord på Kursk var to mand fra et torpedo-firma, Dagdiesel, og grunden til disses tilstedeværelse har formentlig været, at en ny torpedotype skulle afprøves. Det kan være en fejlkonstruktion i denne, der gav anledning til eksplosionen. En anden mulighed er, at besætningen p.g.a. manglende rutine ikke har håndteret torpedoen korrekt. De to eksplosioner kan skyldes en første eksplosion i torpedoens fremdrivningssystem, der derefter har detoneret torpedoens sprængladning.

Endelig har det været nævnt, at ulykken kunne skyldes en mine fra 2. verdenskrig, en forklaring, de fleste afviser.

Nordflåden iværksatte med nogen forsinkelse en redningsaktion. Forsinkelsen skyldtes formentlig, at det tog tid at få redningsudstyret klargjort og bragt til ulykkesstedet. Bl.a. blev der nedsænket en dykkerklokke, men p.g.a. ubådens hældning var der vanskeligheder med at fastgøre klokken til redningslugen i ubådens agterende. Fra vestlig side blev der på et tidligt tidspunkt tilbudt hjælp, men denne blev først accepteret d. 16 august, og det vestlige udstyr og personale var fremme d. 20. august. Den følgende dag blev nødlugen over rum 9 åbnet. Ved åbningen kom der betydelige gasmængder op, så der var på det tidspunkt en luftlomme i rum 9, men formentlig var rummene i Kursks bageste del, bortset fra luftlommer, vandfyldte.

I slutningen af oktober påbegyndtes bjærgning af lig fra ubåden. Bjærgningen skete ved at skære huller gennem ubådens to skrog, men der blev kun bjærget 12 lig, hvoraf nogle viste slagskader. To af besætningen havde overlevet længe nok til at skrive afskedsbrev til deres pårørende, og af disse fremgik, at 23 af besætningen i Kursks agterende havde overlevet eksplosionen. Dykkerne var også inde i ubådens kommandorum (rum 4) hvor de bjærgede logbogen samt andre noter. Hvor sent disse er blevet skrevet, er ikke oplyst, heller ikke deres indhold.

Hvad ubådens videre skæbne angår, er der tre muligheder:

1) at lade Kursk blive liggende
2) at hæve Kursk, undersøge den, og sænke den igen, eventuelt et andet sted
3) at hæve Kursk og bringe den til et værft.

Den første mulighed er den billigste, men den vil måske ikke tillade opklaring af årsagen til eksplosionen. Da den russiske flåde stadig har 8 Oscar-II ubåde i drift, vil det være af stor betydning at klarlægge årsagen til ulykken. Dertil kommer, at Kursk ligger i et fiskeriområde, hvilket kan være uheldigt for fiskeriet.

Den anden mulighed forbedrer mulighederne for opklaring af årsagen til ulykken. Den skulle også tillade en løsning af fiskeriproblemet, såfremt ubåden nedsænkes på et mere velegnet sted, og den vil tillade bjærgning af ligene. Men den er dyr.

Den tredie mulighed vil give de bedste muligheder for at opklare ulykkesårsagen og bjærge ligene ligesom den vil også løse et eventuelt fiskeriproblem. Men den er dyr, og den rejser spørgsmålet om, hvad man bagefter gør med ubåden og dens reaktor. Selve bjærgningen er ikke uden problemer, som ikke er blevet mindre af, at der er blevet lavet huller i Kursk's skrog. Det risikeres, at ubåden brækker over under bjærgningen. Det skete f.eks. under et amerikansk forsøg på at bjærge en sovjetisk dieselubåd i Stillehavet. Kun en del af ubåden kom op. Hvis Kursk brækker under bjærgningen, kan det give anledning til aktivitetsudslip.

De senest foreliggende oplysninger fra den russiske regerings side går ud på, at man vil søge at bjærge Kursk i sommeren 2001.

Det skal nævnes, at Kursk-ulykken ikke er enestående. Ulykken er heller ikke den, der har krævet de fleste dødsofre. Der ligger i dag på grund af uheld seks nukleare ubåde (inklusive Kursk) på havets bund, to amerikanske og fire russiske:

1) D. 9. april 1963 sank den amerikanske ubåd Thresher under en prøvesejlads i Atlanterhavet, ca. 500 km øst for Boston. Ulykken indtraf efter ni måneders vedligeholdelse på et skibsværft og skyldtes formentlig, at der pludselig opstod en større læk p.g.a. dårlig udført vedligeholdelse. 129 mand omkom.
2) D. 22. maj 1968 sank den amerikanske ubåd Scorpion 650 km sydvest for Azorerne p.g.a. en torpedoeksplosion. 99 mand omkom.
3) D. 11 april 1970 sank en sovjettisk ubåd af November-klassen 480 km nordøst for Nordspanien efter en brand. 52 omkom.
4) D. 3. oktober 1986 sank en sovjettisk missil-ubåd af Yankee-klassen efter en missileksplosion. 4 mand omkom.
5) D. 7. april 1989 sank den sovjettiske ubåd Komsomolets 180 km sydvest for Bjørneøen i Norskehavet efter en brand. 42 mand omkom.
6) D. 12. august 2000 sank den russiske krydsemissilubåd Kursk i Barentshavet 150 km nordøst for Murmansk efter en torpedoeksplosion. 118 mand omkom.

Det skal bemærkes, at reaktoranlægget i intet af de oven for anførte tilfælde har været involveret i ulykkerne. Men p.g.a. reaktorernes indhold af radioaktive stoffer kan et senere, radioaktivt udslip til det omgivende havområde ikke udelukkes. Der er for alle de sunkne ubåde lavet undersøgelser af, om der er sket udslip af radioaktivt materiale til omgivelserne. Målingerne har vist, at der har været helt ubetydelige udslip, og at de ikke udgør nogen risiko for omgivelserne.

6.4 Det danske øststøtteprogram

ARGOS

I 1993 startede udviklingen af ARGOS NT (Accident Reporting and Guiding Operational System) som et samarbejde mellem Prolog Development Center A/S (PDC) og Beredskabsstyrelsen. I slutningen af 1980'erne havde Forskningscenter Risø udviklet et UNIX-baseret ARGOS system til præsentation af måleresultater fra landmobile målehold, men med fremkomsten af Windows NT blev det besluttet at overlade programmeringen til PDC og lade forskerne koncentrere sig om udviklingen af modeller for atmosfærisk spredning, radioøkologi etc. I 1998 blev der indgået en samarbejdsaftale med det europæiske RODOS system om udveksling/udvikling af modeller, og som følge af dette samarbejde er flere nye modeller på vej ind i ARGOS-systemet.

Baggrund

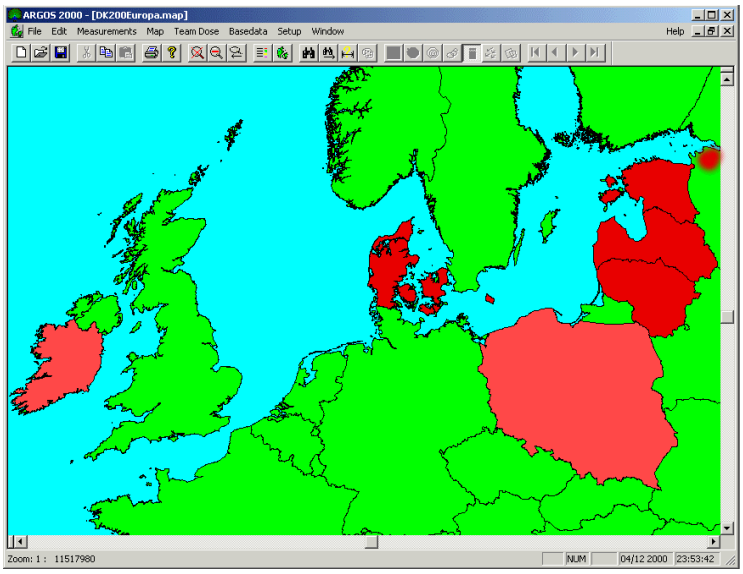
Som det er bekendt har Danmark ikke kernekraft, men inden for en radius af ca. 200 km fra grænserne ligger 10 kraftreaktorer, hvoraf den nærmeste kun ligger 20 km fra København, og ser man på noget større afstande, ligger der flere hundrede sikre og mindre sikre kernekraftenheder. Ud fra et beredskabsmæssigt synspunkt er der derfor ikke væsentlige forskelle på lande med og uden kernekraft, hvilket Tjernobyl-ulykken i 1986 tydeligt viste.

ARGOS-systemet er i dag integreret i det danske atomberedskab. Endvidere er ARGOS installeret i Estland, Letland, Litauen, Polen og omkring Leningradkraftværket ved Sosnovy Bor i Rusland som del af det danske støtteprogram for Østersø-regionen. Integrationen af ARGOS i de enkelte landes beredskaber varierer. ARGOS er også under installation i Irland, og systemet er under afprøvning i andre vestlige lande.

Som en del af støtten til de baltiske lande er der installeret 40 avancerede γ-målestationer (beskrevet i rapporten for 1999), og sammen med mobile målesystemer i biler giver de et meget fint input til ARGOS-systemet.

Deltagelse i international dataudveksling er vigtig, og de baltiske og de nordiske lande har i praksis en dataudvekslingsaftale, således at data i enkelte landes ARGOS-system let kan udveksles med andre lande.

ARGOS systemet har brug for numeriske vejrudsigter til sine spredningsmodeller, og som en del af øststøtteprogrammet er der indgået aftale med Danmarks Meteorologiske Institut (DMI) om levering af disse data. To gange om dagen kan de baltiske lande således hente data hos DMI. Senere i 2001 kan de baltiske lande få produceret langdistance prognoser til brug i ARGOS.



Figur 6.2. Lande, hvor ARGOS-systemet er implementeret.

Systembeskrivelse

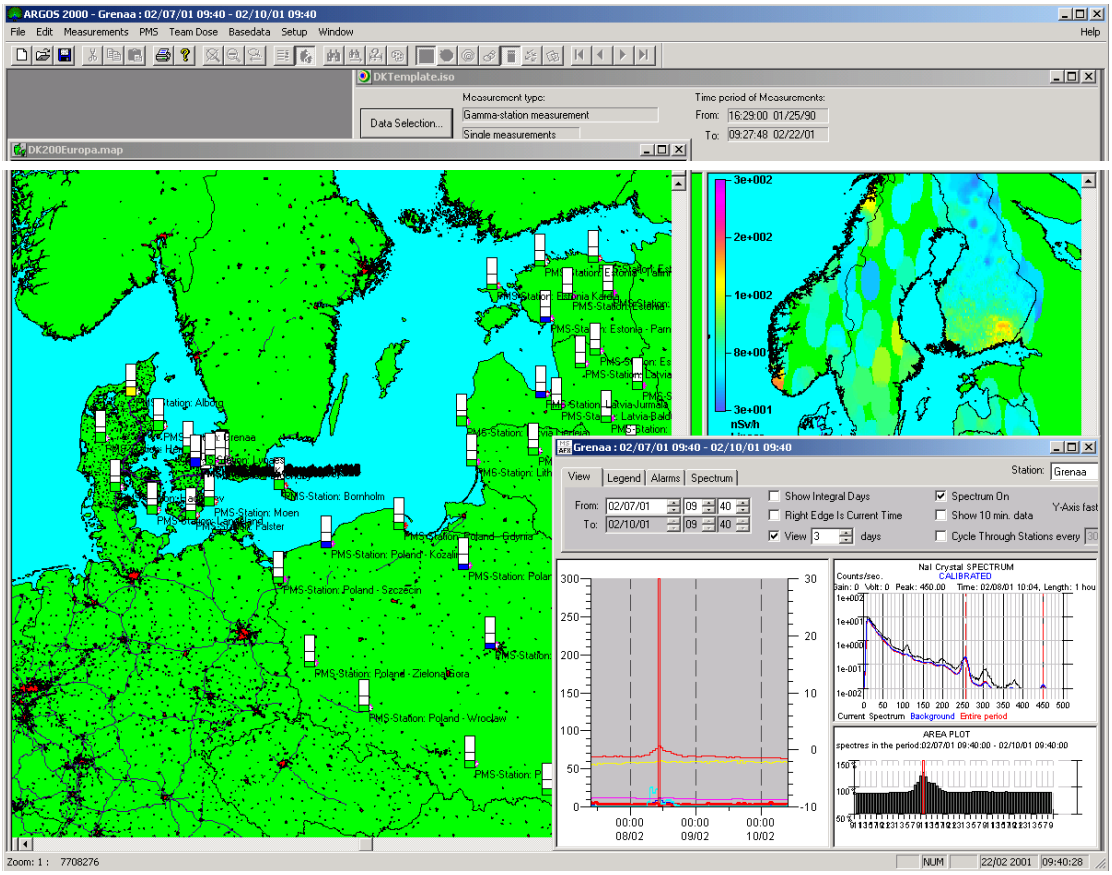
ARGOS 2000 er et klient-server baseret program, hvor alle data er samlet i en central SQL-database. Data kan indsættes manuelt i systemet og centralt placerede eksperter skal godkende de manuelt indtastede data. De radiologiske data inkluderer:

- γ-dosishastigheder og spektre fra on-line målestationer
- γ- dosishastigheder fra europæiske lande (EURDEP-data)
- γ-dosishastigheder fra mobile enheder
- Luftkoncentrationer fra mobile enheder
- Isotopkoncentrationer i miljøprøver
- γ-dosishastigheder målt fra helikoptere
- Overfladekoncentrationer af forskellige isotoper, målt med helikoptere (rumlig opløsning: ca. 200 m).

De målte data præsenteres i ARGOS systemets specielt udviklede kortmodul. Dette modul er meget hurtigt, og der kan zoomes fra global skala ned til meterstørrelse. De radiologiske data præsenteres på kort som farvede bitmap og/eller som isokurver. Data fra målestationer præsenteres som søjler med angivelse af status (alarm, regn etc.) og de opdateres dynamisk på kortene.

Modeller i ARGOS

I selve ARGOS-systemet udføres der ingen modellering, idet denne foregår i eksterne moduler, som vekselvirker med og styres af ARGOS. Data til brug for modulerne er lagret i den centrale SQL database og leveres af ARGOS til modulerne. Fordelen ved dette koncept er en klar adskillelse mellem ansvaret for det centrale ARGOS-program og modeludviklingen. Nye modeller kan derfor udvikles selvstændigt uden for ARGOS-programmet og meteorologer, radioøkologer m.fl. kan koncentrere sig om selve modeludviklingen.

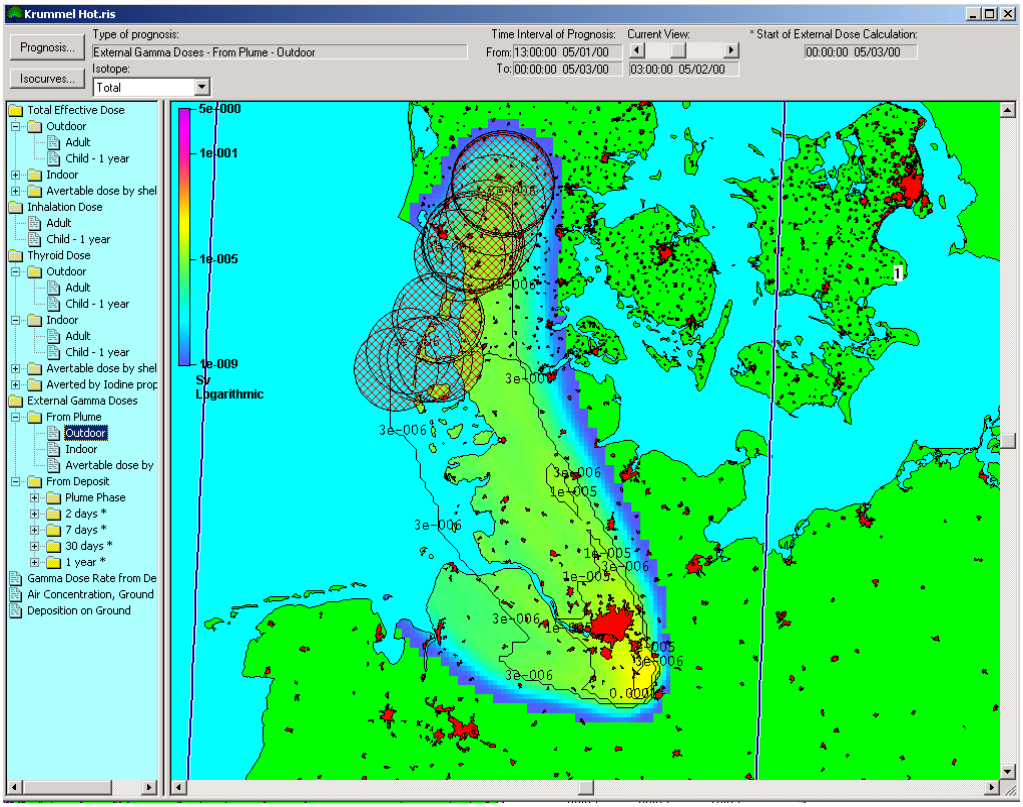


Figur 6.3. Målestationer (til venstre) og data fra EU-målestationer (til højre).

For øjeblikket er den atmosfæriske spredningsmodel LSMC (Local Scale Model Chain), udviklet af Forskningscenter Risø, bygget ind i ARGOS. I den LSMC version, der bruges i ARGOS 2000, kan et radioaktivt udslip spredes op gennem blandingslaget. I versionen tages der blandt andet hensyn til forskellige vindretninger og hastigheder i forskellige højder over jordoverfladen, og til forskellige ruheder af jordoverfladen ved deponering.

For tiden er en radioøkologisk dosis model (ARGOS-FDMT) under indbygning i ARGOS. Modellen blev oprindelig udviklet af GSF (Forschungszentrum für Umwelt und Gesundheit) for RODOS-systemet og i 2000 videreudviklet til brug for ARGOS-systemets måledata. I den oprindelige version kunne modellen kun anvende inputdata fra meteorologiske modeller, men med udviklingen af et specielt modul kan modellen nu anvende data fra deponeringsmålinger foretaget med avancerede luftbårne og landbårne γ-målesystemer. Med den nye udvikling vil det være muligt at forudsige potentielle fremtidige doser for en lang række fødevarer efter en radioaktiv forurening.

For at få data til ARGOS-FDMT-modellen vil Risø i samarbejde med de baltiske lande indsamle radiøkologiske data og justere modelparametrene for de enkelte lande.



Figur 6.4. Hypotetisk udslip fra Krümmel kraftværket den 1. maj 2000 (Data fra DMI)

Fremtiden

ARGOS-systemet har nu fungeret i en årrække i de baltiske lande. Beredskabsstyrelsen har årligt afholdt kurser i programmet, og disse vil fortsætte de kommende år. For at ARGOS-systemet kan udnyttes fuldt ud, kræves der en stor indsats af de involverede lande side. Implementeringsprocessen har klart sat fokus på problemer i flere landes beredskabs-organisationer. Specielt har ansvarsfordelingen mellem forskellige myndigheder givet problemer.

Efter ønske fra Litauen er der påbegyndt et projekt omkring et hydrologisk modul i ARGOS. For at øge brugervenligheden udvikles den næste version (ARGOS 2001) med web-faciliteter, hvor der f. eks. indføres et nyt kortmodul, og hvor resultaterne fra ARGOS kan vises på internettet.

7 Udviklingstendenser i andre lande

7.1 Frankrig, Storbritannien, Tyskland

Frankrig

Frankrig har 20 kernekraftværker med i alt 59 reaktorer i drift. Det er en reaktor mere end i 1999, idet Civaux-2 blev taget i drift i marts 2000. Den samlede installerede kapacitet er på 63.100 MWe og Frankrig har dermed den største kernekraftproduktion i Vesteuropa. I 1999 var den gennemsnitlige belastningsfaktor på 79% og kernekraft udgjorde 76% af el-produktionen i Frankrig. Placeringen af de franske kernekraftværker er vist i Figur 7.1.

Bortset fra hurtigreaktoren Phenix, som er Frankrigs ældste kraftreaktor i drift, består alle andre enheder af trykvandsreaktorer (PWR). De nyere reaktorer er overvejende af fransk konstuktion. Civaux-2 er den fjerde og sidste i serien af de store, rent fransk-designede N4-reaktorer på 1450 MWe. Fremtidig udbygning af kernekraft i Frankrig planlægges at ske ved brug af trykvandsreaktoren EPR (European PWR), som er resultatet af et fransk-tysk samarbejde. Beslutning om evt. opførelse af den første EPR prototype er udskudt på ubestemt tid og vil formentlig først blive taget efter præsidentvalget i 2002.

Delvist som følge af liberaliseringen af energisektoren i Europa blev den franske nukleare industri omstruktureret med dannelsen af et holdingselskab, Topco, med den franske stat som hovedaktionær. Topcos nukleare gren består af COGEMA (100% ejet) og Framatome ANP (Advanced Nuclear Power). Sidstnævnte er et nydannet Joint Venture-selskab mellem Topco (66%) og Siemens (34%). Det statsejede Electricité de France (EdF) er fortsat operatør af de franske kernekraftværker.

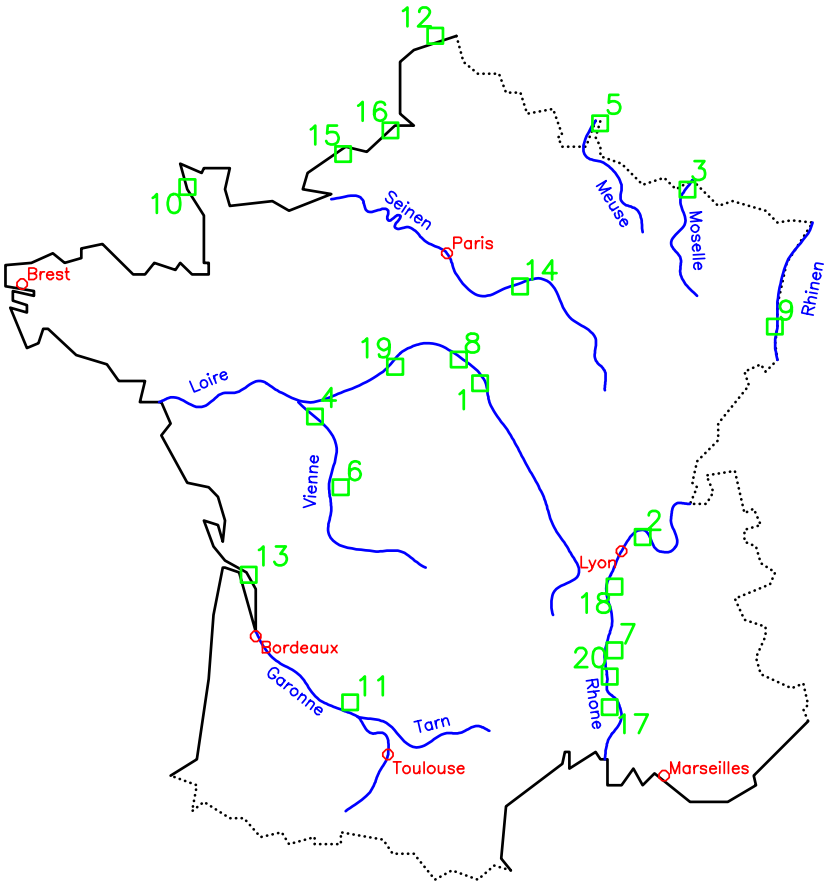
Franske reaktorer har ikke en på forhånd fastlagt levetidsbegrænsning, men undergår inspektioner hvert tiende år. El-selskabet EdF har afsat 1,5 mia. Euro til den påbegyndte tiårlige inspektionsrunde af de 34 reaktorer i 900 MWe serien. I 1300 MWe serien er Belleville-1 blevet godkendt for yderligere 10 års drift.

Frankrig har med COGEMA's anlæg i La Hague en betydelig oparbejdning af brugt brændsel, både fra egne og fra udenlandske reaktorer. I brændselsfabrikkerne Cadarache og Melox de Marcule fremstilles MOX-brændsel (Mixed OXid fuel) ud fra genindvundet uran og plutonium, fortrinsvis til brug for franske og tyske kernekraftværker. Anlægget i Cadarache har været kritiseret for placering i et seismisk aktivt område, hvilket har ført til krav fra myndighederne om lukning af anlægget snarest muligt.

En politisk strid med Tyskland er opstået over Tysklands manglende accept af modtagelse af radioaktivt affald fra oparbejdningen af tysk brændsel ved anlæggene i La Hague. Sidst på året har Tyskland accepteret at modtage noget af det radioaktive affald, mens et fransk forbud mod import af tysk brændsel til oparbejdning stadig er i kraft.

Til behandling af højaktivt radioaktivt affald arbejder Frankrig med tre forskellige modeller: Separation/transmutation af brugt brændsel, lang-tids oplagring i depot samt geologisk slutdeponering af højaktivt affald. I 1999 blev det besluttet at placere det første af to testdeponier for geologisk slutdeponering ved Bure i Meuse regionen, mens placeringen af det andet testdeponi endnu ikke er fastlagt

Den forhøjede vandstand, der forårsagede nedlukning af Blayais kraftværket i slutningen af 1999, har ført til beslutning om at forhøje digerne omkring værket med 2,3 meter.



No.	Navn	Ant. enh.	MWe.brt.
1	Belleville	2	2726
2	Bugey	4	3864
3	Cattenom	4	5448
4	Chinon	4	3778
5	Chooz	2	3032
6	Civeaux	2	3032
7	Cruas	4	3754
8	Dampierre	4	3748
9	Fessenheim	2	1840
10	Flamanville	2	2764
11	Golfech	2	2726
12	Gravelines	6	5718
13	le Blayais	4	3804
14	Nogent	2	2726
15	Paluel	4	5528
16	Penly	2	2764
17	Phenix	1	250
18	St. Alban	2	2762
19	St. Laurent	2	1842
20	Tricastin	4	3820

Figur 7.1. Kernekraftværker i Frankrig.

Storbritannien

Storbritannien har 12 kernekraftværker med i alt 33 reaktorer i drift. Det er to færre end i 1999, idet Hinkley Point A med to reaktorer efter længere tids nedlukning blev taget endeligt ud af drift i maj 2000. Den samlede installerede kapacitet er på 12.500 MWe, og i 1999 udgjorde kernekraft 29% af el-produktionen i Storbritannien. Placeringen af kernekraftværkerne er vist i Figur 7.2.

De ældste britiske reaktorer er af Magnox-typen, også kaldet GCR (Gas Cooled Reactor), som har sit navn efter den magnesiumlegering, som er brugt til indkapsling af brændselsstavene. Fra sidst i tresserne blev Magnox-typen afløst af AGR-reaktorerne (Advanced Gas-cooled Reactor), som kun er bygget i Storbritannien. Fremtidig udbygning af kernekraft vil finde sted med en britisk udgave af trykvandsreaktoren , og den første, Sizewell-B på 1190 MWe, blev sat i drift i 1995.

Magnox-reaktorerne drives af det statsejede British Nuclear Fuels Limited (BNFL) og tegner sig i dag kun for ca. 7% af den britiske el-produktion. Det privatiserede selskab, British Energy, driver de nyere kernekraftreaktorer, AGR-reaktorerne samt Sizewell-B, og er Storbritanniens største producent af elektricitet.

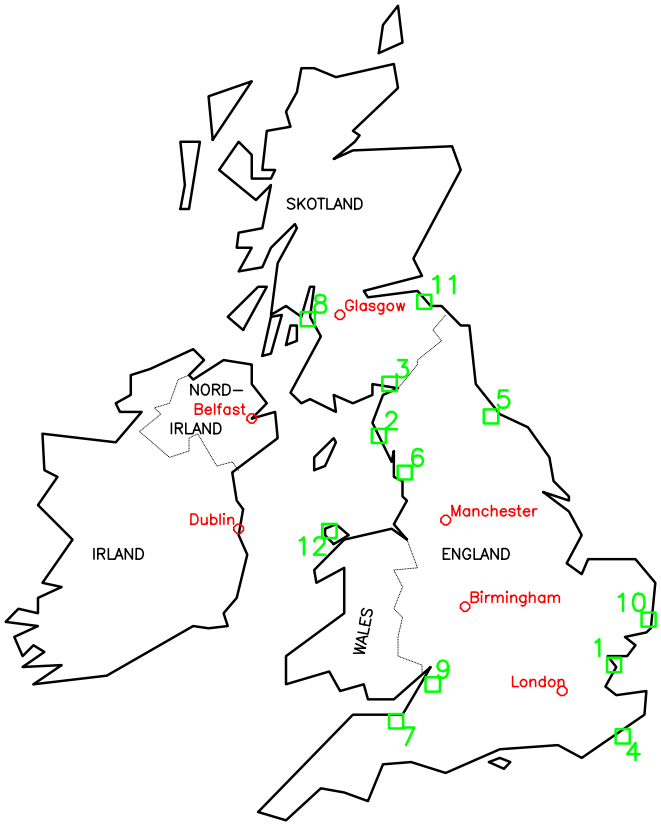
Magnox- og AGR-reaktorerne er gaskølede og grafitmodererede. De ældste, Magnox-reaktorerne, anvender naturligt uran som brændsel og er forholdsvis små, i størrelsen 50 – 500 MWe. Enkelte af reaktorerne anvender dog let beriget uran (< 1% ^{235}U) for at kompensere for reaktivitetstab som følge af borteroderet grafit. AGR-typen anvender 3% beriget uran og opererer ved højere temperatur og tryk, hvilket giver en bedre termisk virkningsgrad.

En løbende udfasning af Magnox-reaktorerne finder sted, senest med lukningen af Hinkley Point A, og efter 2010 vil kun de største Magnox-reaktorer ved Oldbury og Wylfa være i drift. I forbindelse hermed ventes Magnox-oparbejdningsanlægget ved Sellafield at blive nedlagt omkring år 2012, hvilket vil medføre en kraftig reduktion i udledningen af radioaktive stoffer til Det Irske Hav. Oparbejdningen af brugt brændsel fra AGR-reaktorerne og fra udenlandske kunder fortsætter i andre anlæg ved Sellafield.

Manglende kvalitetskontrol og forfalskning af data ved BNFL's MOX (Mixed OXide) Demonstration Facility (MDF) ved Sellafield førte sidst i 1999 til voldsom national og international kritik af BNFL. Japan og Tyskland stoppede import af MOX-brændsel fra Sellafield, og Schweiz forbød eksport af brugt brændsel til Sellafield. I forlængelse heraf er MDF midlertidigt lukket, og produktionen af MOX-brændsel ved Sellafield vil blive overført til det nyopførte Sellafield MOX Plant.

I Europaparlamentet faldt et forslag stillet af De Grønne om generelt stop for oparbejdning af brugt brændsel og produktion af MOX-brændsel.

United Kingdom Atomic Energy Authority (UKAEA) har forelagt en plan for dekommisionering af Dounreay-forsøgsanlægget. Planen betyder, at ca. 50 mia. kr skal bruges over de næste 50 – 60 år på oprensning af anlæggene ved Dounreay. Planen tager ikke endeligt stilling til behandlingen af plutonium-holdigt brændsel fra hurtigreaktoren PFR i Dounreay, som blev lukket i 1994.



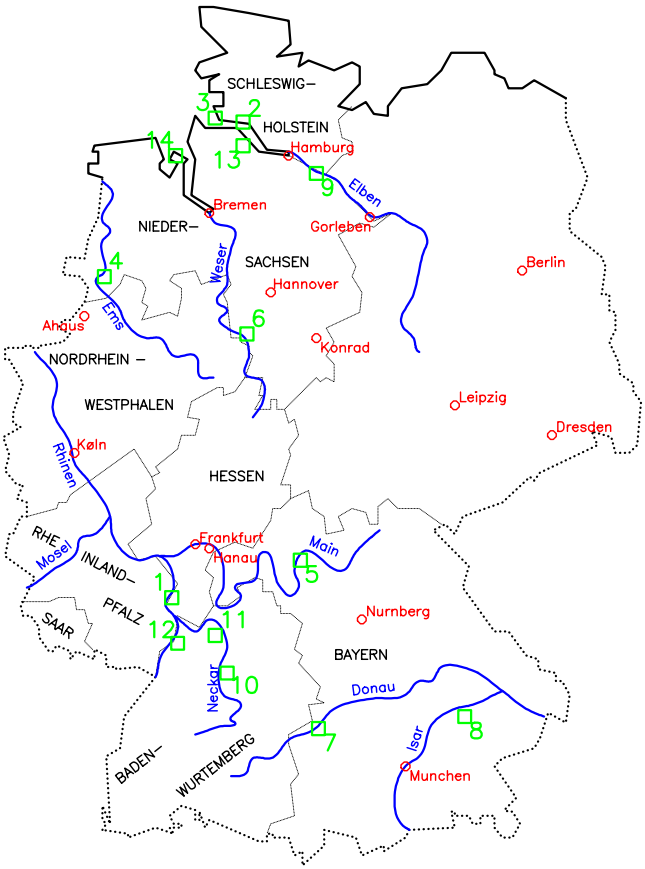
No.	Navn	Ant. enh.	MWe.brt.
1	Bradwell	2	258
2	Calder Hall	4	244
3	Chapelcross	4	240
4	Dungeness	4	1716
5	Hartlepool	2	1320
6	Heysham	4	2580
7	Hinkley Point	2	1318
8	Hunterston	2	1320
9	Oldbury	2	450
10	Sizewell	3	1758
11	Torness	2	1364
12	Wylfa	2	1100

Figur 7.2. Kernekraftværker i Storbritannien.

Tyskland

Tyskland har 19 kernekraftreaktorer i drift, fordelt på 14 kraftværker. Den installerede kapacitet på de 19 enheder er i alt 21.100 MWe. I 1999 var den gennemsnitlige belastningsfaktor på 90,3% og kernekraft bidrog med 35% til Tysklands el-produktion. De 19 enheder består af 13 trykvandsreaktorer og 6 kogendevandsreaktorer, alle leveret af Siemens/KWU.

Kernekraftværkerne drives af private selskaber, ofte med kommunale partnere. Som følge af liberaliseringen af energisektoren i EU er en del selskaber fusioneret til større enheder. Ved fusion mellem de to el-producenter Veba og Viag dannedes i 2000 et nyt selskab, E.ON. Energie, som med helt eller delvist ejerskab af 12 af landets kernekraftenheder er Tysklands største privatejede elektricitetsselskab. RWE, Tysklands næststørste kraftselskab med fem kernekraftværker fusionerede i 2000 med det mindre VEW.



No.	Navn	Ant. enh.	MWe.brt.
1	Biblis	2	2504
2	Brokdorf	1	1365
3	Brunsbuttel	1	806
4	Emsland	1	1314
5	Grafenrheinfeld	1	1320
6	Grohnde	1	1394
7	Gundremmingen	2	2652
8	Isar	2	2117
9	Krummel	1	1316
10	Neckar	2	2205
11	Obrigheim	1	357
12	Philippsburg	2	2249
13	Stade	1	672
14	Unterweser	1	1300

Figur 7.3. Kernekraftværker i Tyskland.

Politisk er Tyskland delt mellem på den ene side et kernekraftpositivt CDU og på den anden side regeringspartierne SPD og De Grønne, som begge har afvikling af kernekraft som erklæret mål. Efter næsten to års forhandlinger indgik Forbundsregeringen og de store el-producenter, EnBW, RWE, Veba og Viag, en aftale om gradvis afvikling af tysk kernekraft. I aftalen sættes der et loft på den totale produktion fra kernekraftværkerne: Produktionen begrænses til 2.623 TWh (terawatt timer) i værkernes restlevetid, regnet fra den 1. januar 2000. Derimod sættes der ikke dato på lukning af de enkelte kraftværker.

Aftalen betyder, at reaktorerne i gennemsnit får begrænset deres samlede driftstid til ca. 32 år. Med en gradvis nedlukning af reaktorerne vil de sidste reaktorer være i drift til midt i 2020'erne. Aftalen forpligter regeringen til at respektere kraftværkernes fortsatte drift inden for de afstukne rammer, og at afstå fra politisk motiverede indgreb over for reaktordrift og behandling af radioaktivt affald.

Med aftalen løstes en langvarig konflikt mellem RWE og delstatsregeringen i Rheinland-Pfalz over den tidlige lukning af Mülheim-Kärlich kraftværket i 1988 efter kun et års drift. Desuden indebar aftalen, at et tysk forbud mod transport af brugt brændsel til oparbejdning blev hævet senere på året.

Grundet overkapacitet og faldende el-priser har E.ON. besluttet at lukke kernekraftværket Stade i 2003. Tilsvarende har RWE og EnBW annonceret kommende nedskæringer i produktionskapaciteten.

7.2 Øvrige vesteuropæiske lande

Belgien

Belgien har 2 kernekraftværker med i alt 7 trykvandsreaktorer i drift. Den samlede kapacitet er på 5.700 MWe. I 1999 var den gennemsnitlige belastningsfaktor 97,3% og kernekraft udgjorde 58,3% af el-produktionen i Belgien.

Det belgiske selskab Belgonucleaire er en af de største producenter af MOX-brændsel (Mixed OXide fuel), og den eneste producent af MOX-brændsel til kogendevandsreaktorer. MOX-brændslet anvender genindvundet uran og plutonium fra oparbejdning af brugt brændsel. Belgonucleaire bidrager desuden til design af MOX-anlæg i USA og Rusland, hvor plutonium fra dekommissionerede kernevåben skal anvendes til produktionen af MOX-brændsel.

Belgien begyndte i 2000 at modtage radioaktivt affald fra oparbejdning af brugt brændsel ved anlægget i La Hague. Affaldet vil blive lagret ved Dessel nær Antwerpen, hvor det skal ligge i 50 år indtil endelig slutdeponering. De første to ud af i alt 15 transporter fra La Hague til Dessel blev gennemført i årets løb.

Den belgiske koalitionsregering bekræftede i 1999 et moratorium for bygning af nye kraftværker og oparbejdningsanlæg og besluttede, at eksisterende kraftværker skal afvikles efter 40 års levetid. Dette betyder, at de belgiske kernekraftværker lukkes i perioden 2014-25.

Finland

Finland har to kernekraftværker i drift, Olkiluoto og Loviisa, med hver to reaktorer. Den samlede installerede kapacitet er på 2650 MWe. De fire reaktorer havde i 1999 en belastningsfaktor på 94,4% og kernekraft udgjorde 28,3% af den finske elproduktion. Som følge af en stigende efterspørgsel havde Finland i 1999 en nettoimport af elektricitet på 14,3%. De to enheder ved Olkiluoto er kogendevandsreakto-

rer (BWR), mens de to enheder på Loviisa værket er af typen VVER, som er en russisk udgave af trykvandsreaktoren (PWR).

El-selskabet TVO ansøgte sidst på året om tilladelse til at bygge landets femte reaktor. Reaktortypen er ikke fastlagt, men kan være en BWR eller PWR i størrelsen 1000-1600 MWe. For at opnå tilladelse til byggeriet skal regeringen først give en principiel tilladelse, som derefter skal godkendes i parlamentet.

Den finske regering har støttet en ansøgning fra det finske selskab for behandling af radioaktivt affald, Posiva, om at tillade konstruktionen af et slutdeponi for brugt reaktorbrændsel ved Olkiluoto. Tilladelsen, som skal ratificeres i parlamentet, baner vej for bygning af et forsøgsdeponi i grundfjeldet ved Olkiluoto. Konstruktionen af det egentlige slutlager vil kunne starte i 2010 og tages i brug omkring 2020. Finland kan med denne beslutning blive det første land i verden, der får et slutdeponi for brugt reaktorbrændsel.

Holland

Holland har en enkelt kraftreaktor i drift, Borssele, med en kapacitet på 450 MWe. Reaktoren er en trykvandsreaktor af Siemens-design. Borsseleværkets belastningfaktor var i 1999 på 91,6% og kernekraftens andel af elproduktionen i Holland udgjorde i 1999 ca. 6%.

Det hollandske parlament besluttede i december 1994 at lukke Borssele PWR ved udgangen af 2003. Efterfølgende indgik regeringen en aftale med værkets daværende ejere, SEP, hvorved SEP fik en kompensation på ca. 200 mio. kr, og regeringen begrænsede driftstilladelsen for værket til udløb pr. 31. december 2003. En højesteretsdom fastslog i begyndelsen af 2000, at denne begrænsning er ugyldig, og driften af Borsseleværket ventes derfor at fortsætte også efter 2003.

Schweiz

Schweiz har 4 kernekraftværker med i alt 5 reaktorer. To af enhederne er kogendevandsreaktorer, mens de tre andre er trykvandsreaktorer. Den samlede kapacitet er på 3.170 MWe. I 1999 var den gennemsnitlige belastningsfaktor på 86,5%, lidt lavere end i 1998, og kernekraft bidrog med 35,3% af Schweiz' el-produktion.

Den schweiziske regering har fremlagt et forslag til en ny nuklear lov, som ventes vedtaget i 2001. Hovedelementer i lovforslaget er et stop for oparbejdning af brugt brændsel (og eksport af brændsel til oparbejdning), samt en anbefaling af dyb geologisk deponering af højaktivt affald, hvor muligheden for at hente affaldet op igen skal bevares. Lovpakken indeholder ikke noget forslag om levetidsbegrænsning af eksisterende eller nye reaktorer. Dette betyder, at kernereaktorerne kan fortsætte driften, så længe sikkerheden er tilfredsstillende, og driften er økonomisk og miljømæssig forsvarlig.

Ved en folkeafstemning i kantonen Bern faldt et forslag om at lukke kernekraftværket Mühleberg i 2002. 64% stemte for at fortsætte driften af værket. På nationalt plan faldt ved en folkeafstemning tre forslag om energiskatter på ikke-vedvarende energiproduktion, herunder kernekraft.

Spanien

Spanien har 9 kraftreaktorer i drift fordelt på 7 kraftværker. Den samlede kapacitet er på 7.460 MWe. I 1999 havde de 9 reaktorer i gennemsnit en belastningsfaktor på 87,4% og kernekraft udgjorde 28,3% af den spanske el-produktion.

De 9 enheder består af 7 trykvandsreaktorer (PWR) og 2 kogende-vandsreaktorer (BWR). Reaktorerne er løbende blevet opgraderet, så kapaciteten er øget med ca. 4% i løbet af de sidste 5 år. Værkerne har tidligere opereret på 2-års driftstilladelser, men senest har Almaraz-1 og -2 samt Vandellós-2 opnået 10-års driftstilladelser.

En domstol i Tarragona har 11 år efter turbinebranden ved Vandellós-kernekraftværket frikendt ansatte ved værket og ved de spanske tilsynsmyndigheder, CSN, for forsømmelighed i forbindelse med branden. Branden forårsagede lukningen af den 480 MWe Vandellós-1 enhed, der var forsynet med en gaskølet, grafitmodereret reaktor.

Politisk er Spanien delt i to dele. På den ene side står Socialistpartiet, PSOE, og venstrefløjspartiet IU, som begge går ind for tidlig nedlukning af de spanske kernekraftværker. På den anden side står det konservative parti, PP, som støtter fortsat drift af de eksisterende kernekraftværker. Parlamentsvalget i marts 2000 blev vundet af regeringspartiet PP, som nu har absolut flertal i parlamentet.

7.3 Central- og østeuropæiske lande

Bulgarien

Bulgarien har et kernekraftværk med seks kernekraftenheder i drift, fire VVER-440/230-enheder og to VVER-1000-enheder. Værket ligger ved Kozloduy ved Donau, og det har en samlet netto-effekt på 3538 MWe. Kernekraften dækker ca. 45% af Bulgariens el-forbrug. Kozloduy-værket var tidligere ejet af el-selskabet Nationalna Elektricheska Kompania (NEK), men værket er blevet udskilt som et selvstændigt, statsejet firma.

I februar blev Kozloduy-1 startet op igen efter en seks måneder lang nedlukningsperiode, under hvilken der blev udskiftet brændsel, foretaget reparationer og lavet undersøgelser af reaktortanken.

Bulgarien fik i april et lån på 212 mio. Euro fra EU til modernisering af Kozloduy-5 og -6, begge VVER-1000-enheder. Arbejdet vil blive udført af Siemens, Framatome og Atomenergoexport. Lånet forudsætter, at Kozloduy-1 og -2 senest lukkes i 2003 og at Kozloduy-3 og -4 lukkes senere, efter EU's opfattelse senest i 2006. Bulgarien har accepteret, at Kozloduy-1 lukkes i 2002 og Kozloduy-2 i 2003. Dette har medført, at et planlagt moderniseringsprogram for disse to enheder ikke vil blive gennemført. Derimod vil en modernisering af Kozloduy-3 og -4 blive foretaget. Disse to enheder kan i dag klare et brud på et 250 mm rør i primærkredsen. Moderniseringerne sigter bl.a. mod at reducere trykket i reaktorbygningen under et større uheld. Bulgarien planlægger at fortsætte driften med disse to enheder til henholdsvis 2008 og 2010.

Under brændselsudskiftning på Kozloduy-3 fik en af arbejderne en svag strålingsdosis, en halvtredsindstyvendedel af den årligt tilladelige. Denne begivenhed, der blev bedømt som tilhørende klasse 1 på INES-skalaen, gav anledning til en del omtale i medierne.

Litauen

Litauen har ét kernekraftværk, Ignalina-værket, i drift. Det består af to 1185 MWe RBMK-enheder. Værket ligger i Litauens nordøstlige hjørne nær grænsen til Letland og Hviderusland. Dets samlede netto-effekt er 2370 MWe. Kernekraften dækker ca. 75% af landets el-forbrug.

I lighed med andre østlande har Ignalinaværket problemer med at få forbrugerne til at betale for leveringen af elektricitet. Bl.a. skylder Hviderusland værket knap 100 mio. $ for el-leverancer, og disse er derfor blevet indstillet. Som følge heraf har værket haft svært ved at betale lønninger samt vedligeholdelse, og af samme grund er dets kreditværdighed ringe.

EU har sammen med andre lande lovet at oprette en dekommissioneringsfond, som skal hjælpe Litauen med at finansiere dekommissioneringen af Ignalina-værket. Fonden vil blive administreret af den europæiske udviklingsbank (EBRD) og ventes at råde over 500 mio. Euro. Indtil nu er der givet tilsagn om 214 mio. Euro. Danmark har givet tilsagn om et bidrag på 100 mio. kr. Litauen har oprettet en dekommissioneringsfond, som ved årets udgang var på ca. 40 mio. $. EU skønner, at dekommissionering af Ignalina-værket vil koste 1 mia. Euro. I dette beløb er ikke inkluderet omkostningerne ved at komme af med det brugte brændsel. Der skal bygges en facilitet til foreløbig opbevaring af brugt brændsel til 68 mio. Euro. Faciliteter til opbevaring af radioaktivt affald vil koste ca. 50 mio. Euro.

Litauen har forpligtet sig til at lukke Ignalina-1 i 2005 som et led i betingelserne for optagelse i EU. EU presser på for at få lukket Ignalina-2 i 2009, men Litauen vil ikke tage stilling til lukning af denne enhed før i 2004. Til at forberede lukningen af Ignalina-1 behøves ca. 200 mio. Euro.

Rumænien

Rumænien har et kernekraftværk med én enhed, Cernavoda-1, i drift. Det består af en CANDU-enhed med en netto-effekt på 650 MWe. Værket ligger ved Donau, 170 km øst for Bukarest. Desuden er der endnu en CANDU-enhed på 650 MWe under bygning, Cernavoda-2. Landet dækker ca. 10% af sit el-forbrug med kernekraft. Værket ejedes tidligere af det nationale el-selskab RENEL, men dette blev i 2000 delt i to selskaber, det statslige el-selskab Societatea Nationala Nuclearelectrica S.A. (SNN), som ejer Cernavoda, og CONEL, som har overtaget RENEL's ikke-nukleare el-værker.

Bevillinger fra regeringen samt skattelettelser synes at muliggøre færdiggørelsen af Cernavoda-2 ved udgangen af 2006. Det vil dog også være nødvendigt at opnå lån i udlandet. Rumænien producerer selv det tunge vand til Cernavoda-2 og naturligt uran til reaktorbrændslet. De rumænske reaktorsikkerhedsmyndigheder har af sikkerhedsgrunde ønsket uranminerne lukket, men det har regeringen ikke villet acceptere, fordi det vil medføre, at 20.000 bliver arbejdsløse. Det har været foreslået at lave minerne om til et internationalt deponi for radioaktivt affald efter lukning.

Der har været ulovlige strejker på værket med krav om højere løn.

Slovakiet

Slovakiet har to kernekraftværker, Bohunice og Mochovce, i drift. Bohunice-værket består af to VVER-440/230 og to VVER-440/213-enheder, mens Mochovce-værket består af to VVER-440/213-enheder. Den samlede netto-effekt af værkerne er 2408 MWe. Begge værker ligger i den sydvestlige del af landet. Kernekraften dækker ca.

45% af Slovakiets el-forbrug. Værkerne ejes af el-selskabet Slovenské Elektrárne (SE).

Kernekraftenheden Mochovce-2, der kom i forsøgsdrift i 1999, startede kommerciel drift i marts 2000. Reaktorsikkerhedsorganisationer fra Frankrig, Tyskland, Spanien og Italien har udtalt, at Mochovce-værket svarer til vestlig sikkerhedsstandard. Udover de to igangværende Mochovce-enheder er der yderligere to under bygning, Mochovce-3- og -4. Den slovakiske regering har afslået at finansiere færdiggørelsen af disse enheder p.g.a. mangel på kapital. Den finder, at enhederne i stedet skal lægges i mølpose. Regeringen vil dog ikke modsætte sig, at andre investorer færdiggør enhederne, blot uden statsgaranti. Der forhandles med Rusland, Frankrig og Tjekkiet om færdiggørelsen af de to enheder og finansiering af denne.

EU har i forbindelse med forhandlingerne om Slovakiets medlemskab i EU stillet krav om, at Bohunice-1 og -2 skal lukkes i henholdsvis 2006 og 2008. Fra slovakisk side er man af den opfattelse, at de to kernekraftenheder kan køre frem til 2020, hvorfor en tidligere lukning vil medføre et tab, som man vil stille krav om at få dækket af EU.

Ved Bohunice har man indledt bygning af et anlæg til behandling af radioaktivt affald. Anlægget skal behandle affald fra dekommissioneringen af Bohunice A-1-enheden (en gaskølet tungtvandsreaktor, der blev lukket ned i 1979), samt affald fra Bohunice-1 og -2 og andre virksomheder, der producerer radioaktivt affald, f.eks. hospitaler. Efter behandlingen vil affaldet blive slutdeponeret ved Mochovce-deponiet.

Slovenien

Slovenien har et kernekraftværk i drift. Værket består af én kernekraftenhed med en trykvandsreaktor. Enheden er leveret af det amerikanske firma Westinghouse og den har en netto-effekt på 632 MWe. Værket ligger ved Krsko øst for Ljubljana. Kernekraften dækker ca. 35% af landets el-forbrug.

Efter at have haft besøg af en delegation fra IAEA overvejes det at indføre en ny lov, der skal styre landets kerneenergiprogram og stramme op omkring de nukleare inspektionsprocedurer.

Tjekkiet

Tjekkiet har to kernekraftværker, Dukovany og Temelin. Mens Dukovany-værket har været i drift siden midten af firserne, er Temelin-værket først ved at blive sat i drift. Dukonany-værket består af fire VVER-440/213-enheder, mens Temelin har to VVER-1000 enheder, hvoraf den ene er under opstart, mens den anden stadig er under bygning. Den samlede netto-effekt af de tjekkiske værker (inklusive Temelin-1, men eksklusive Temelin-2) er 2560 MWe. Dukovany-værket ligger vest for Brno, mens Temelin-værket ligger i Sydbøhmen. Kernekraften dækker ca. 20% af landets el-forbrug. Værkerne ejes af det tjekkiske el-selskab CEZ, hvor staten har to trediedel af aktierne, men som overvejes privatiseret. Det tjekkiske parlament har vedtaget at liberalisere el-forsyningen i perioden 2002 til 2006.

Tjekkiets tre deponier for radioaktivt affald, der tidligere har været drevet af private firmaer, er blevet overtaget af et statsligt firma. Deponiet ved Dukovany er et overfladedeponi, mens de to andre er deponier i gamle miner.

Det tjekkiske parlament har vedtaget en lov, der forbyder levering af et tjekkisk bygget ventilationssystem til den iranske Bushehr-reaktor, som Rusland er ved at fuldføre. Baggrunden for loven er et amerikansk pres og frygt for, at levering af komponenter til Bushehr-anlægget, selv om der ikke er tale om "følsomme" leverancer, vil kunne medføre sanktioner mod Tjekkiet. Firmaet, der skulle levere ventilationssystemet

vil ikke få økonomisk kompensation, selv om den indgåede kontrakt var fuldt lovlig på underskrivelsestidspunktet.

Dukovany-værket
Efter en international udbudsrunde har et konsortium bestående af Skoda, Framatome og Schneider Electric fået kontrakten om renovering af instrumenterings- og kontrolsystemerne på alle fire Dukovany-enheder. Renoveringen vil være afsluttet i 2009. Værket hører i følge WANO, World Association of Nuclear Operators, til blandt den bedst drevne fjerdedel af verdens kernekraftværker.

Temelin-værket
Ladning af brændsel i den første enhed af det nye kernekraftværk Temelins to VVER-1000-enheder blev gennemført i juli måned. I september afsluttedes højtemperaturafprøvningen og d. 11. oktober blev reaktoren for første gang kritisk. D. 21 december blev enheden for første gang koblet til el-nettet. De tjekkiske sikkerhedsmyndigheder har godkendt drift med enheden på op til 45% af fuld effekt.

Temelin-2-enheden forventes færdig omkring årsskiftet 2002/2003.

Værket, som har været under bygning siden 1987, har givet anledning til betydelig debat, ikke blot i Tjekkiet, men også i nabolandene Østrig og Tyskland. Specielt har den østrigske regering, som er meget kernekraftfjendtlig, truet med at blokere for Tjekkiets optagelse i EU, såfremt Temelin-værket startes. Fra østrisk side har man krævet, at Temelin skal opfylde "EU's sikkerhedsnormer", men sådanne findes ikke for kernekraftværker. For at berolige den østrigske regering er der etableret en "varm telefonlinie" mellem den tjekkiske og den østrigske regering. Desuden har den tjekkiske regering lovet, at der vil blive lavet yderligere undersøgelser af miljøpåvirkningen af Temelin-værket, før dette sættes i kommerciel drift. Starten af Temelin-1 har også givet anledning til en del demonstrationer, ikke mindst fra østrigsk side. Disse har bl.a. omfattet blokering af alle grænseovergange mellem Østrig og Tjekkiet i 13 timer.



Figur 7.4. Temelin-værket.

Efter anmodning fra tysk side er der blevet nedsat en tysk-tjekkisk komite, der ser på sikkerhedsrelevante spørgsmål. Det tyske Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsi-

cherheit (GRS) var oprindelig betænkelig ved kapaciteten af nødstrømsbatterier, afprøvningen af sikkerhedsventilerne på dampgeneratorer og rørføringen af dampledning og fødevandsledning mellem dampgenerator og turbine. GRS's betænkeligheder er senere blevet begrænset til det sidste punkt. I VVER-1000-designet ligger damp- og fødevandsledning tæt ved hinanden. For at undgå, at et rørbrud på dampledningen, som kan give voldsomme bevægelser af dampledningen (piskeeffekt), skal forårsage brud på fødevandsledningen, er der indført bindinger på dampledningen, som hindrer bevægelse af denne ved et rørbrud. En sådan konstruktion accepteres ikke i Tyskland, men er derimod almindelig i USA.

På initiativ af de grønne og østrigske medlemmer har Europaparlamentet vedtaget en resolution, der kræver gennemførelse af en vurdering af virkning på miljøet (VVM), før værket startes. Resolutionen er væsentlig mere afdæmpet, end en tilsvarende i 1999. Fra tjekkisk side er det blevet oplyst, at en VVM er gennemført, og at den snart forventes offentliggjort.

Den tjekkiske regering har afvist et krav om afholdelse af en folkeafstemning om starten af enheden, og den tjekkiske reaktorsikkerhedsmyndighed SUJB har tilbagevist kritik af sikkerheden på Temelin-anlægget. Efter opstarten af Temelin viste en oppinionsundersøgelse, at 71% af tjekkerne er tilhængere af opstarten, mens 16% er imod.

Ungarn

Ungarn har ét kernekraftværk, Paks-værket, i drift, Det består af fire VVER-440/213-enheder med en samlet effekt på 1729 MWe. Værket ligger ved byen Paks nær Donau syd for Budapest. Kernekraften dækker ca. 35% af landets el-forbrug.

De ungarnske reaktorsikkerhedsmyndigheder har forlænget driftstilladelsen for Paks-3 og -4 med 10 år.

Ved Paks-værket er man igang med at øge effekten af de enkelte enheder. Dette arbejde startede i 1998 med Paks-4 og ventes afsluttet i 2003 med Paks-1. Arbejdet omfatter ombygning af turbiner og udskiftning af kondensatorer. Forøgelsen opnås alene gennem forøgelse af turbinens virkningsgrad.

7.4 SNG-lande

Armenien

Armenien har én kernekraftenhed med en effekt på 408 MWe i drift. Den ligger ved Metsamor i nærheden af hovedstaden Jerevan og er af typen VVER-440/230. Oprindelig bestod Metsamor-værket af to enheder, men efter det store jordskælv i 1989, blev de begge lukket ned, fordi de ikke var tilstrækkeligt sikrede over for jordskælv. P.g.a. Armeniens meget vanskelige energisituation, som i det væsentlige skyldes Nagorno-Karabach-konflikten med Azerbaijan, der tidligere forsynede Armenien med olie og gas, blev den nyeste enhed, Metsamor-2, genåbnet i 1995 med russisk hjælp. Netto-effekten er 374 MWe. Kernekraften dækker ca. 35% af landets el-forbrug.

Framatome har leveret en enhed til tør opbevaring af udbrændt brændsel. Denne enhed blev sat i drift i august måned. Frankrig har også på andre måder hjulpet med at forbedre sikkerheden på værket.

Der er indgået en aftale mellem EU og Armenien om, at Metsamor-2 lukkes ned i 2004, forudsat at elforsyningen kan sikres på anden måde, en forudsætning, som det vil være svært at opfylde. Den russiske minister for kerneenergi udtalte under et besøg i Armenien, at enheden kan fortsætte driften til 2010 eller længere.

Fra slutningen af juli til slutningen af november havde Metsamor-2 en nedlukningsperiode, hvorunder man udover almindelig vedligeholdelse indførte forskellige sikkerhedsforbedringer. Bl.a. forbedredes beskyttelsen mod jordskælv, en yderst relevant foranstaltning i Armenien.

Kazakhstan

Det canadiske mineselskab CAMECO har sammen med Kazakhstan's statsejede elselskab KazAtomProm dannet joint venture selskabet Inkai (JVI) til udnyttelse af en uranforekomst ved Inkai i den sydlige del af det centrale Kazakhstan.

Rusland

Rusland har ni kernekraftværker med 29 kernekraftenheder i drift:

Balakovo-værket med fire VVER-1000 enheder
Beloyarsky-værket med en hurtigreaktorenhed, BN-600
Bilibino-værket med fire (små) RBMK enheder
Kalinin-værket med to VVER-1000 enheder
Kola-værket med fire VVER-440 enheder (to 230 og to 213)
Kursk-værket med fire RBMK-1000 enheder
Leningradværket med fire RBMK-1000 enheder
Novovoronezh-værket med to VVER-440/230- og en VVER-1000-enhed
Smolensk-værket med tre RBMK-1000 enheder

Ialt er der seks VVER-440 enheder, syv VVER-1000 enheder, 11 RBMK-1000-enheder, fire RBMK-12 enheder og en hurtig formeringsreaktor i drift. Den samlede nettoeffekt af disse værker er 19.843 MWe. Kernekraften dækker knap 15% af landets el-forbrug. Det skal dog bemærkes, at kernekraften dækker en større procentdel af elforbruget i den europæiske del af Rusland og en mindre del i Sibirien.

Rosenergoatom (REA), et datterselskab under det russiske ministerium for kerneenergi, (MINATOM), vil i løbet af de næste tre år færdiggøre tre kernekraftværker, der længe har været under bygning, men som ikke er blevet færdiggjort p.g.a. mangel på kapital. Det drejer sig om Rostov-1, en VVER-1000 enhed, Kursk-5, en RBMK-1000-enhed og Kalinin-3, en VVER-1000 enhed. REA søger at skaffe kapital til færdiggørelsen fra det russiske naturgasselskab, Gazprom. Endvidere bygges der på Rostov-2 og Balakovo-5, begge VVER-1000 enheder. Den russiske regering planlægger, at den russiske kernekrafteffekt skal øges til mellem 30 og 33 GWe i 2010 og til mellem 33 og 48 GWe i 2020.

Der er planer om opførelse af en 800 MWe hurtigreaktorenhed ved Beloyarsk, BN-800, baseret på køling med flydende natrium. Men i Rusland arbejder man også med udvikling af en bly-vismut-kølet reaktor, Brest-300, og det planlægges at bygge en prototype i Beloyarsk. Brug af bly-vismut-køling blev oprindelig udviklet til brug i ubåde. Derimod er det fra russisk side blevet angivet, at man ikke mere er interesseret i den grafit-modererede, gaskølede højtemperatur reaktor.

MINATOM's videnskabelige råd har godkendt designet af et lille kernekraftværk, der skal anbringes på et skib og bruges til el-forsyning af byer ved den nordsibiriske kyst. Byen Pevek i Østsibirien har været nævnt som en mulig placering.

Den russiske regering har godkendt, at man levetidsforlænger 12 af landets første-generations-reaktorer, da den økonomiske situation ikke tillader bygning af nye værker til erstatning for de gamle.

De ni russiske kernekraftværker er økonomisk set uafhængige enheder, men otte af værkerne drives af Rosenergoatom, mens det niende, Leningrad-værket, også er uafhængigt med hensyn til driften. Det planlægges at lægge alle ni værker ind under ét selskab for herigennem at sikre de nødvendige, fremtidige investeringer. Det planlægges ligeledes at samle alle Ruslands kernebrændselsfirmaer under ét moderselskab. MINATOM ønsker også at få lagt den russiske reaktorsikkerhedsorganisation, Gosatomnadzor (GAN) ind under sig. GAN modsætter sig kraftigt en sådan omlægning, idet GAN frygter, at det vil mindske sikkerheden.

Generelle problemer for den russiske el-industri er forsinket betaling af lønninger, for dårlig udnyttelse af værkerne og usikre leverancer af nyt brændsel. Problemerne er ikke uafhængige af hinanden, men hovedårsagen til problemerne er for sen betaling af el-regninger. Det overvejes at øge el-prisen. Der ser dog ud til at være en bedring på vej, idet det russiske netselskab, RAO EES, i visse situationer har fået tilladelse til at lukke for el-forsyningen til ikke-betalende kunder, og selskabet har lovet at forbedre betalingen til Rosenergoatom. For yderligere at lægge pres på RAO EES begyndte MINATOM i efteråret at reducere på effekten på sine kernekraftenheder og dermed leverancerne til nettet. RAO EES beklager sig over, at dette kan give forsyningsvanskeligheder i Nordvestrusland, som er den del af Rusland, der får den største procentdel af sit el-forbrug dækket med kernekraft.

Rusland har i de senere år haft en stigende nuklear eksport, primært af uran og reaktorbrændsel til udlandet. Der er eksporteret kraftreaktorbrændsel til Ukraine, Litauen, Armenien, Bulgarien, Tjekkiet, Slovakiet, Finland og Ungarn. Eksporten beløb sig i 1999 til 1,9 mia. $, heraf 0,55 mia. $ for salg af nedblandet våbenuran til USA, 0,44 mia. $ for salg af brændselselementer, 0,1 mia. $ fra kernekraftprojekter og 0,1 mia. $ for salg af el. Eksporten varetages af MINATOMs organisation for udlandshandel, Techsnabexport (TENEX).

Ruslands eneste igangværende uranmine ligger ved Krasnokamensk i Østsibirien. Her udvindes der årligt 2000 t uran. Ved Khiagdinskoe i den autonome republik Buryat er man ved at igangsætte en ny mine, der kan producere uran til den halve pris. Den forventes at få en årlig produktion på 1500 t uran.

Rusland overvejer at åbne for import af udbrændt brændsel fra andre lande for herigennem at forbedre landets økonomi. Et lovforslag herom er blevet fremlagt i Duma'en og ved førstebehandlingen umiddelbart før jul blev forslaget godkendt med stort flertal. Et forslag om udlejning af nyt brændsel og tilbagetagning af det brugte brændsel er også under overvejelse. I første omgang vil det brugte brændsel blive oplagret, men for at kunne gøre dette i større omfang må lagerfaciliteterne udvides. Senere kan der blive tale om at oparbejde brændslet og at udnytte det indeholdte uran og plutonium til energiproduktion.

Hidtil har man i Rusland anvendt våd opbevaring af udbrændt brændsel, d.v.s. opbevaring i vandbassiner. Men man overvejer at gå over til tør opbevaring, d.v.s. opbevaring i luft, idet driftudgifterne ved sådanne lagre er væsentlig mindre end ved våde lagre. Ruslands lagre for radioaktivt affald er ved at være fulde, og man undersøger muligheden af at oprette et slutdeponi på Novaya Zemlya i et permafrostområde.

Rusland og Kina har en aftale om samarbejde om bygning af en eksperimentel 60 MW hurtigreaktor i Kina. Rusland og Kina har i forvejen samarbejde om et kernekraftværk ved Liangjungang og et centrifugeberigningsanlæg. Rusland har ligeledes

indgået en aftale med Armenien om samarbejde om den fredelige udnyttelse af kerneenergien.

Taiwan har haft forhandlinger med Rusland om mulig deponering i Rusland af radioaktivt affald fra Taiwan's kernekraftværker.

USA og Rusland har indgået en aftale om, at de to lande hver skaffer sig af med 34 t våbenplutonium, men et alvorligt problem for Rusland er finansieringen af dette program. Rusland ønsker at bruge næsten alt sit plutonium i kraftreaktorer. Udgiften til programmet skønnes for Ruslands vedkommende at beløbe sig til to mia. $ eller mere. Der er etableret et samarbejde med Frankrig og Tyskland om hjælp til Rusland med at brænde våbenplutoniumet i form af MOX-brændsel i kraftreaktorer. Projektet omfatter bygning af et anlæg, Chemox, ved Mayak, som vil konvertere det metalliske plutonium til standard dioxydpulver. Ved brug af dette pulver produceres der MOX-brændsel i et andet anlæg, Demox. Her er det tanken at udnytte udstyr fra det aldrig igangsatte MOX-anlæg i Hanau, Tyskland. Fire VVER-1000-enheder modificeres således, at de kan benytte MOX-brændsel. Også den hurtige formeringsreaktor BN-600 modificeres til brug af MOX-brændsel.

USA har fortsat sine bestræbelser på at få Rusland til ikke at levere kernekraftværker til Iran og Indien, idet USA mener, at disse kan bruges til fremstilling af kernevåben. Fra russisk side afviser man det amerikanske pres, idet man finder, at det alene er politisk og ikke sagligt motiveret. Rusland vil ikke alene færdiggøre Bushehr-kernekraftenheden, som Siemens startede med at bygge, men forhandler om bygning af yderligere en eller flere enheder i Iran. I Rusland er man igang med at designe en VVER-1000-enhed til Kudankulam i Indien. Fra russisk side vil man levere design, komponenter og brændsel, mens inderne vil stå for selve opførelsen. Rusland håber på flere indiske ordrer, men samtidig opfordrer Rusland Indien til at underskrive ikke-spredningsaftalen (NPT). Hvis Rusland gør dette til en betingelse for leveringerne, bliver Kudankulam-projektet formentlig ikke til noget.

Rusland har også afvist pres fra amerikansk side om at indstille kemisk oparbejdning af brugt brændsel. Oparbejdning af udenlandsk brændsel vil kunne blive en betydelig indtægtskilde for Rusland.

Generelt må det siges, at man i Rusland har mange planer, men hvor mange af disse, der realiseres, vil helt afhænge af den økonomiske udvikling i landet.

Bilibino-værket
Bilibino-værkets fire RBMK-enheder, hver på 11 MWe, forventes nedlukket i perioden 2004 til 2006.

Kola-værket
Der er gennemført en probabilistisk sikkerhedsanalyse for Kola-4 enheden (VVER-440/213). De første resultater viser, at sikkerheden er sammenlignelig med vestlige reaktorers.

Enhederne Kola-1 og -2 planlægges lukket ned i henholdsvis 2003 og 2004.

Kursk-værket
Kursk-værket består af fire igangværende RBMK-1000 enheder. Kursk-1 forventes nedlukket i 2006.

Leningrad-værket
Omkring 700 brændselskanaler, knap halvdelen, forventes udskiftet på Leningrad-4 i løbet af året. De resterende kanaler forventes ikke udskiftet. Også på Leningrad-3 er der foretaget en delvis udskiftning af kanalerne. Alle fire Leningrad-enheder er af RBMK-1000-typen.

Novovoronezh-værket
Det planlægges, at Novovoronezh-3 og -4, der begge er VVER-440/230-enheder vil blive lukket ned i 2002.

Rostov-1
Rostov-1-enheden, en VVER-1000-enhed var forventet sat i drift i 2000, men økonomiske problemer har forsinket enheden. I midten af oktober påbegyndtes højtemperaturafprøvningen af Rostov-1.

Ukraine

Ukraine har efter lukningen af den sidste enhed på Tjernobyl-værket fire kernekraftværker i drift:

1. Khmelnitski-værket med én VVER-1000-enhed
2. Rovno-værket med to VVER-440/213-enheder og en VVER-1000 enhed
3. Sydukraine-værket med tre VVER-1000-enheder
4. Zaporozhe-værket med 6 VVER-1000-enheder.

Ukraine har altså 11 VVER-1000-enheder og to VVER-440-enheder i drift. Den samlede netto-effekt af de ukrainske kernekraftværker er 11.190 MWe. Kernekraften dækker ca. 45% af Ukraines el-forbrug.

Årets vigtigste begivenhed var den endelige nedlukning af Tjernobyl-3, den sidste igangværende RBMK-enhed i Ukraine. Kravet om lukning af alle Tjernobyl-værkets enheder har været rejst, siden reaktorulykken på Tjernobyl-4 i 1986. Denne gav anledning til et meget stort radioaktivt udslip på grund af reaktorens konstruktion, ikke mindst dens helt utilstrækkelige reaktorindeslutning og dens brændbare moderator.

I december 1995 indgik Ukraine et "Memorandum of Understanding" (MoU) med G7-landene om, at den sidste igangværende enhed på Tjernobyl-værket, Tjernobyl-3, skulle lukkes endeligt ned inden udgangen af 2000. Til gengæld skulle G7-landene hjælpe Ukraine med økonomisk støtte til sikring af den ødelagte Tjernobyl-4-enhed og lån til færdiggørelse af kernekraftværkerne Rovno-4 og Khmelnitsky-2, der begge er VVER-1000-anlæg. Der har fra nogle vestlige lande været gjort forsøg på at tilbyde hjælp til fossile værker i stedet for færdiggørelsen af kernekraftenhederne, men dette har man fra ukrainsk side afvist. Sidst i oktober underskrev Ukraine en foreløbig kontrakt med et Framatome-ledet konsortium vedrørende færdiggørelsen de to enheder. Kontrakten skal sikre, at sikkerheden af de to enheder vil leve op til vestlig standard. I begyndelsen af december kom bevillingen af et længe ventet lån fra den europæiske udviklingsbank (EBRD) til Ukraines kernekraftselskab, Energoatom. Lånet er en forudsætning for færdiggørelsen af Rovno-4 og Khmelnitsky-2. Finansieringen af færdiggørelsen, som er budgetteret til at koste 1,48 mia. $, er baseret på følgende lån: Euratom: 585 mio. $, EBRD: 215 mio. $, eksportkreditinstutitioner: 348 mio $, Rusland: 124 mio. $, Energoatom: 159 mio. $ og Ukraine: 50 mio. $

Ukraine har foreslået, at der oprettes en international fond til finansiering af dekommissioneringen af Tjernobyl-værket i lighed med Tjernobyl-sarkofagfonden.

Trods forsinkelser i levering af nyt brændsel p.g.a. pengemangel, som skyldes ikke-betalte el-regninger, steg el-produktionen på Ukraines kernekraftværker. Landet vil iøvrigt fremover få reaktorbrændslet leveret direkte fra den russiske producent, TVEL, og ikke som tidligere gennem tredie mand. Til gengæld skal brændslet betales med penge og ikke med varer. Der har også været problemer med rettidig udbetaling af lønninger m.v.

Den ukrainske regering har besluttet at oprette en ny myndighed for tilsyn med nukleare anlæg. Denne myndighed skal være uafhængig af alle andre statsinstitutioner.

I 1999 bøjede Ukraine sig for et amerikansk pres og gav afkald på en kontrakt til det ukrainske firma Turboatom om levering af to 1000 MWe turbogeneratorer til Bushehr-kernekraftværket i Iran. Efterfølgende har det vist sig, at en række ansatte i Ukraines kernekraftindustri har taget ansættelse hos russiske firmaer, og at en del - der tales om 200 - er rejst til Iran. Efter lukning af Tjernobyl-værket må det forventes, at en del af de ansatte rejser til udlandet, herunder til Iran.

Tjernobyl-værket

Den sidste enhed på Tjernobyl-værket, Tjernobyl-3, blev lukket endeligt ned d. 15. december 2000. Forud for lukningen af enheden var det planen, at der skulle bygges en varmecentral til at sikre opvarmning af værket under dekommissioneringsarbejdet. Færdiggørelsen af varmecentralen, der finansieres af USA (22,5 mio. $) og Ukraine (ca. 7 mio. $), er blevet forsinket. Det samme gælder et planlagt lager til tør opbevaring af brugt brændsel, som skulle være færdig i 2003, og som skal finansieres af EBRD (61 mio. $) og den ukrainske regering (2,9 mio. $). Bygningen af dette lager blev indledt i 2000. I februar blev der bedt om tilbud på et anlæg til behandling af fast radioaktivt affald, som fremkommer under dekommissioneringen. Anlægget finansieres af EU. Der er skrevet kontrakt om anlæg til behandling af flydende affald og til opbevaring af udbrændte brændselselementer

Tjernobyl-sarkofagfonden, som skal sikre langtidsholdbarheden af sarkofagen omkring den ulykkesramte Tjernobyl-4-enhed, er kommet op på 715 mio. $, næsten det planlagte beløb på 768 mio. $. Programmet omfatter tre hovedpunkter: Stabilisering af den eksisterende sarkofag, sikring af indeslutningen og udarbejdelse af en strategi for håndteringen af de 120 t brændsel i enheden, der for en stor dels vedkommende har form af en størknet "lava" af smeltet brændsel m.v. I begyndelsen af 2000 blev stabiliseringen af de to bjælker, der bærer sarkofagens tag, færdiggjort. I juli måned frigav EBRD 275 mio. $ til gennemførelsen af anden fase af sarkofagforbedringsprogrammet.

I slutningen af januar var Tjernobyl-3-enheden lukket ned p.g.a. en defekt i en af hovedsikkerhedsventilerne. Den blev igen startet op i slutningen af februar. I juli medførte et voldsomt regnvejr, at rummet med Tjernobyl-3-enhedens nødgeneratorer blev oversvømmet, hvorfor reaktoren blev lukket ned. Den var tilbage på fuld effekt efter to ugers forløb. Der har generelt været flere driftsproblemer med Tjernobyl-3-enheden end med Ukraines andre kernekraftenheder p.g.a. nedslidning.

Det er blevet foreslået at tage brændslet ud af Tjernobyl-3, fjerne radioaktivt affald, dekontaminere kredsløbene og herefter komme reaktoren i "mølpose" for de næste 30 til 100 år for at tillade de radioaktive stoffer at henfalde.

7.5 Nord- og Sydamerika

Argentina

Argentina har to kernekraftenheder i drift. Begge enheder er tungtvandsreaktorer, den ene, Embalse, er en canadiskbygget trykrørsreaktor af CANDU-typen, den anden, Atucha, er en tyskbygget tryktanksreaktor. Tilsammen har de to enheder en nettoeffekt på 935 MWe og de dækker ca. 10% af Argentinas el-produktion.

Efter et regeringsskifte er der nu mulighed for, at byggeriet af enheden Atucha-2, som har været indstillet i en årrække, genoptages. Atucha-2 er ca. 80% færdiggjort.

Brasilien

Brasilien har to kernekraftenheder i drift. Begge er trykvandsreaktorer med en samlet nettoeffekt på 1855 MWe. Den første enhed, Angra-1, blev leveret af Westinghouse i 1985, og den anden, Angra-2, der er leveret af Siemens, blev første gang kritisk og koblet til nettet i 2000. Når Angra-2 kommer i kommerciel drift, dækker de to enheder ca. 3% af Brasiliens elektricitetsbehov.

Efter Angra-2 er der tale om, at søsterenheden Angra-3 skal bygges færdig. Arbejdet på denne enhed har ligget stille i knap 10 år.

Canada

Canada har 22 kernekraftenheder, der alle er af CANDU-typen. Heraf er de 8 indtil videre lagt op. De 14 enheder, der er i drift, har en samlet installeret effekt på godt 10.000 MWe, og de står for ca. 13% af Canadas elproduktion.

Ontario Power Generation (OPG), der er produktionsdelen af det tidligere Ontario Hydro, ejer 20 af Canadas kernekraftenheder og har hidtil været dominerende i Ontario. Som et led i liberaliseringen af elektricitetsmarkedet i Canada skal OPG over en årrække afgive kontrollen med hovedparten af sin produktionskapacitet. Et første skridt blev taget i 2000, da OPG lejede de 8 kernekraftenheder i Bruce-A- og Bruce-B-værkerne ud til Bruce Power Partnership (BPP), foreløbig til 2018, men med mulighed for forlængelse. BPP er et datterselskab af British Energy (BE). De fire enheder i Bruce-A er lagt op, medens de fire i Bruce-B er i drift. BPP mener, at der er en reel mulighed for at få i hvert fald to af enhederne i Bruce-A i gang igen. Det ventes, at de canadiske myndigheder i 2001 vil godkende BPP's overtagelse af driften af Bruce.

Den canadiske lovgivning, der regulerer såvel kernekraft som anvendelsen af ioniserende stråling i industri og på sygehuse, er blevet ført à jour i 2000. Den hidtidige lov var over 50 år gammel. Det nye øverste organ, Canadian Nuclear Safety Commission (CNSC) har stærkere beføjelser end dets forgænger, og samtidig med, at de lovgivningsmæssige rammer er blevet mere moderne, er en del af de eksisterende regler blevet strammet.

Atomic Energy of Canada Ltd. (AECL) har bygget to nye forsøgsreaktorer af det såkaldte "Maple" design. Reaktorerne står i AECL's forskningscenter Chalk River. De har hver en termisk effekt på 10 MW, og deres hovedformål er produktion af radioisotoper til medicinsk brug. Reaktorerne ejes af firmaet MDS Nordion, som er verdens førende leverandør af medicinske radioisotoper. De to nye Maple-reaktorer skal især producere molybdæn-99, hvis henfaldsprodukt technetium-99 anvendes til diagnostiske formål. Der vil også blive produceret xenon-133, jod-131 og jod-125.

CANDU-reaktorerne skal måske anvendes til at forbrænde plutonium fra kernevåben, der skal skrottes som følge af nedrustningsaftalerne. En blanding af 97% urandioxid og 3% plutoniumdioxid (MOX – Mixed OXides) kommes i et brændselselement, der passer til CANDU-reaktorer. Metoden skal først afprøves, og det sker i NRU-forskningsreaktoren i AECL's forskningscenter ved Chalk River. Prøver fra USA og fra Rusland skal bestråles i 3 år, før man kan afgøre, om fremgangsmåden er god.

Mexico

Mexico har to kernekraftenheder, Laguna Verde-1 og -2, der begge er kogendevands-reaktorer leveret af General Electric. Den samlede nettoeffekt er 1308 MWe, og kernekraften står for ca. 5% af landets el-produktion.

USA

USA har 104 kernekraftenheder. 69 er forsynet med en trykvandsreaktor og 35 med en kogendevandsreaktor. Værkernes samlede nettokapacitet er godt 98.000 MWe, og de står for ca. 20% af USA's el-produktion

Den forbedring af udnyttelsen af de amerikanske kernekraftværker, der er set i de senere år, er fortsat. Hvor belastningsfaktoren steg fra 79% til 86% i 1999, steg den yderligere til 90% i 2000. Belastningsfaktoren er forholdet mellem den faktisk producerede elektriske energi og den produktion, værket ville have ydet, hvis det havde kørt ved fuld effekt hele året rundt. På grund af brændselsskifte, vedligehold, uundgåelige standsninger o.s.v. er belastningsfaktorer normalt noget under 100%.

Medvirkende til fremgangen er dels, at fem kernekraftenheder, der havde ligget stille i nogle år, er begyndt at producere igen i 1999 og 2000, dels en målrettet indsats på de allerede kørende kernekraftenheder for at øge produktionen. Blandt de metoder, der anvendes, er omhyggelig planlægning af brændselsskifteperioderne, så de kan holdes så korte som muligt, længere driftsperioder mellem brændselsskiftene, forebyggende vedligehold, så risikoen for uventede standsninger mindskes, samt forbedrede dampgeneratorer og/eller turbiner, så varmen fra kerneprocesserne kan udnyttes bedre.

Det fri elmarked, som i USA er ved at afløse det tidligere system med koncessioner, har medført, at elselskaberne konsoliderer sig. Selskabernes mest almindelige reaktioner er:

- sammenlægninger,
- omorganiseringer, så produktion og distribution skilles ad,
- køb og salg af elværker, herunder kernekraftværker, og
- samarbejde om driften af mindre selskabers enheder.

Blandt sammenlægningerne kan nævnes dannelsen af Exelon, som med 10 kernekraftenheder fra Unicom (Commonwealth Edison) i Illinois, fire enheder fra PECO i Pennsylvania og interesser i yderligere et par enheder har den største nukleare flåde i USA. En anden stor sammenlægning består af Entergy og Florida Power and Light Co., som bidrager med henholdsvis seks og fire kernekraftenheder samt to, som Entergy er ved at købe. Selv om det nye selskab har sin base i Sydstaterne, sker dets opkøb i de nordøstlige stater, og det er nu Nordamerikas største elproducent.

Konkurrencen om køb af kernekraftenheder er blevet hård i løbet af 2000. Der er nu fire selskaber, som er gået aktivt ind som købere. Det har medført stigende priser i årets løb; den højeste pris var ca. 600 $ pr. installeret kWe. En direkte sammenligning af priserne kan dog være tvivlsom, fordi der i handelen kan indgå aftaler om langtidslevering af el, betaling for nyt eller delvis brugt brændsel samt ejendomsretten til de

fonde, der er lagt til side til betaling for nedrivning af værket efter lukning (dekommissioneringsfonde). Hvordan fondene beskattes, spiller også ind. Et udslag af de stigende priser har også været, at i to handler, der blev indgået omkring årsskiftet 1999/2000, har mindretalsaktionærer formået at standse den ene; værket blev senere solgt til en langt højere pris på en auktion. Den anden har tiltrukket konkurrerende, højere tilbud, efter at myndighederne havde blandet sig i sagen.

I 2000 fik Calvert Cliffs-værkets to reaktorer og Oconee-værkets tre reaktorer godkendelser til 20 års drift ud over den nuværende 40-års periode. Det er første gang, USA's reaktorsikkerhedsmyndighed, NRC, udsteder den slags godkendelser, og der er flere ansøgninger på vej. Ansøgningerne indsendes normalt i god tid; begge de nævnte værker har mere end ti år tilbage af de nugældende driftsgodkendelser. En forlængelse har stor økonomisk betydning for ejerne af en kernekraftenhed, fordi enheden er afskrevet over de første 40 år. Der er også længere tid til at opbygge dekommissioneringsfondene - og de trækker renter i længere tid. På den miljømæssige side vil den emissionsfri elektricitet fra et værk som Calvert Cliffs give ejerne bedre kort på hånden næste gang, der bliver lovgivet om røgrensning eller kuldioxid.

Af de kernesprængladninger, der skal destrueres som følge af nedrustningsaftalerne mellem USA og Rusland, består nogle af højt beriget uran (HEU) og resten af plutonium. De uranbaserede ladninger er teknisk set lettest at håndtere. Som et led i aftalen skal russerne over en årrække fortynde 500 tons HEU med naturligt eller forarmet uran, så uranblandingen på ca. 15.000 tons får en berigning på 3-4%, der kan anvendes i kernekraftværker. Blandingen sælges til US Enrichment Corporation (USEC), et privatiseret selskab, der foretager al berigning af kommercielt uranbrændsel i USA. De tidligere sprænghoveder bliver således til kraftreaktorbrændsel. Programmet skal løbe i 20 år, og de første 100 tons HEU er allerede omdannet, heraf 30 tons i 2000.

Destruktionen af plutoniumbaserede sprængladninger er både teknisk set og politisk set mindre enkel. En aftale indgået i 2000 mellem Rusland og USA indebærer, at hvert land skal skaffe sig af med 34 tons våbenplutonium. Russerne vil konvertere deres plutonium til MOX-brændsel, og amerikanerne vil gøre det samme med det meste af deres. Brændslet skal afprøves i en canadisk tungtvandsreaktor (jf. afsnittet om Canada).

Når det russiske HEU omdannes, bliver der produceret 15.000 tons uranbrændsel, en meget betydelig mængde. I hele verden forbruges ca. 9500 tons uranbrændsel årligt, så selv om det omdannede HEU kommer på markedet over en årrække, vil det påvirke både mineselskaber og berigningsvirksomheder, inclusive USEC selv. I forvejen er der hård konkurrence mellem de virksomheder, der beriger uran, så USEC har besluttet at lukke det ene af sine to berigningsanlæg. Begge disse er gasdiffusionsanlæg, men samtidig vil USEC udvikle en ny gascentrifuge til berigning på grundlag af udviklingsarbejde foretaget i 1980-erne. USEC mener, at udskiftning af de noget aldrende diffusionsanlæg med centrifuger vil styrke firmaet i konkurrencen med russerne og det europæiske URENCO (der anvender centrifuger) og Eurodif, bl.a. fordi centrifugeanlæg kræver langt mindre energi end diffusionsanlæg.

Spørgsmålet om, hvad elværkerne skal stille op med det brugte uranbrændsel, bliver stadig mere påtrængende. Alle kernekraftværker har bassiner og måske også tør opbevaringsplads til det brugte brændsel de første år, efter at det er taget ud af reaktoren, men før eller senere skal det sendes væk. I USA bliver brugt brændsel ikke oparbejdet men skal deponeres i en egnet geologisk struktur. Ifølge en lov fra begyndelsen af 1980-erne skal der for hver kWh, der er produceret på kernekraftværker, indbetales 0,1 cent til en fond, som Department of Energy (DoE) bestyrer. Fonden, som med renter er på 17 mia. dollars, skal dække udgifterne ved bortskaffelse af det brugte brændsel. Ifølge samme lov og kontrakter med hvert enkelt el-selskab skulle DoE have haft

et anlæg klar, så brugt brændsel kunne modtages fra 31. januar 1998. Anlægget vil blive placeret i Yucca Mountain i det gamle prøvesprængningsområde i Nevada, men det er foreløbig tre år forsinket, og konstruktionen er end ikke påbegyndt. En studie af miljøeffekterne, udført af DoE, peger på, at det brugte brændsel kan deponeres forsvarligt i Yucca Mountain. En beslutning ventes taget i 2001, og anlægget kan tidligst være færdigt i 2010.

Imens er der foreløbig oplagret 40.000 tons brugt brændsel ved mere end 70 kernekraftværker i USA, og mængden forøges med 2000 tons årligt. Hvis ikke nogle af kernekraftværkerne skal indstille produktionen, må der indrettes midlertidige faciliteter. Et forslag vedtaget af kongressen om et midlertidigt lager ved siden af Yucca Mountain blev standset af et veto fra præsident Clinton. I stedet er en gruppe af elværker ved at få en aftale om midlertidig oplagring med en indianerstamme i et reservat i Utah, mens andre elværker udvider de eksisterende lagre ved værkerne. Uanset hvilken løsning, der vælges, bliver det dyrt for el-værkerne, og de første retssager mod DoE er da også i gang. En af de første domme går bl.a. ud på, at DoE ikke blot var forsinket, som DoE selv mente, men ligefrem havde gjort sig skyldig i kontraktbrud.

Staten South Carolina har hidtil modtaget store mængder lavaktivt affald fra en stor del af USA's delstater. Amerikansk lovgivning åbner mulighed for, at en stat kan slutte sig sammen med andre stater i en såkaldt compact om deponering af lavaktivt affald og derefter afvise lavaktivt affald fra stater, der ikke er medlemmer. South Carolina er i 2000 blevet medlem af en compact, og derfor er flere af de andre compacts, som har været inaktive i nogen tid, igen begyndt at overveje, hvordan de skal løse deres affaldsproblem.

7.6 Afrika, Asien og Australien

I Afrika, Asien og Australien har Indien, Japan, Kina, Pakistan, Sydafrika, Sydkorea og Taiwan kernekraftværker i drift.

Indien

Ved udgangen af 1999 havde Indien 11 kraftreaktorer i drift med en samlet kapacitet på 2060 MWe. Den gennemsnitlige belastningsfaktor var 79% og kernekraften tegnede sig for 2,7% af el-produktionen i 1999. I 2000 blev yderligere 3 reaktorer idriftsat, så Indien nu har 14 kraftreaktorer i drift med en samlet kapacitet på 2720 MWe. De tre nytilkomne er Kaiga-1, Rajasthan-3 og Rajasthan-4, som alle er reaktorer af CANDU-typen med en installeret effekt på 220 MWe.

De eksisterende kraftreaktorer har alle en forholdsvis lille enhedsstørrelse, men større reaktorer er på vej. Ved Tarapur nær Bombay er to indisk-designede 500 MWe tungtvandsreaktorer af CANDU-typen under opførelse, og det forventes at opførelsen af to russisk-designede 1000 MWe VVER reaktorer vil blive påbegyndt i Kudankulam i den sydlige delstat Tamil Nadu i 2001.

På grund af sin kernevåbenpolitik er Indien underlagt internationale restriktioner, men landet har opbygget sin egen civile kernekraftindustri støttet af et betydeligt forsknings- og udviklingsprogram. En 40 MWt hurtigreaktor (FBR) er i prøvedrift, og man forventer at have en 500 MWe FBR i drift i 2010. Indien behersker alle led i brændselskredsløbet undtagen uranberigning. Indien har nogle af verdens største thoriumreserver, så man arbejder også med udvikling af thorium-baseret brændsel.

Der planlægges med en udbygning af kernekraften, så Indien skulle opnå en installeret effekt på 20.000 MWe i 2020 med en milepæl på 8.000 MWe i 2010.

Japan

Japan har 53 kraftreaktorer i drift med en samlet installeret effekt på 43700 MWe. I 1999 var den gennemsnitlige belastningsfaktor 80%, og kernekraftens andel af elproduktionen var 35%. Reaktorerne er alle letvandreaktorer med lidt flere kogendevandsreaktorer (BWR) end trykvandsreaktorer (PWR). Fire reaktorer er under opførelse, to avancerede kogendevandsreaktorer (ABWR) på hver 1380 MWe, en BWR på 1100 MWe og en BWR på 825 MWe.

Kritikalitetsulykken i Tokaimura i september 1999 har resulteret i organisatoriske ændringer med henblik på at styrke sikkerhedsmyndighederne og forbedre sikkerhedskulturen i Japans nukleare industri. Ulykken har resulteret i forsinkelser i den planlagte videre udbygning med kernekraft, men der er dog startet ansøgningsprocedurer for yderligere ni enheder.

Japans nukleare forsknings- og udviklingsprogram omfatter fortsat hurtige formeringsreaktorer. Prototypen Monju på 280 MWe har ligget stille siden et uheld i 1995, hvorved flydende natrium lækkede ud fra et sekundært kølekredsløb. Nu er der imidlertid taget skridt til at genstarte reaktoren om et par år efter gennemførelse af en ny sikkerhedsvurdering og godkendelsesprocedure.

Et anlæg for opbevaring af brugt reaktorbrændsel ved Rokkasho på Nord-Honshu blev godkendt til idriftsættelse i december 1999. Anlægget forventes at kunne rumme op til 1600 tons uran i 2005, hvor opførelsen af et oparbejdsningsanlæg på samme sted forventes at være afsluttet. Efter 2005 er det planen, at dette anlæg skal overtage en del af den brændselsoparbejdning, som hidtil er foregået i England og Frankrig.

Kina

Kina har tre kraftreaktorer i drift, en 300 MWe PWR af kinesisk konstruktion og to franskbyggede 900 MWe PWR. I 1999 var den gennemsnitlige belastningsfaktor 75%, og kernekraften tegnede sig for 1,1% af elproduktionen.

Yderligere otte reaktorer er under opførelse. Det drejer sig om to 600 MWe PWR af kinesisk konstruktion, to 985 MWe PWR af fransk konstruktion, to 700 MWe CANDU-reaktorer og to VVER-1000 reaktorer af russisk konstruktion. Kina importerer således kernekraftteknologi fra forskellige lande som et led i en teknologioverførsel til Kinas egen kernekraftindustri. For nylig er der også indgået aftale med USA, som åbner for samarbejde om kernekraftteknologi, efter ophævelse af tidligere restriktioner fra USA's side. Der forudses en betydelig udbygning af el-forsyningen i Kina, primært baseret på vandkraft og fossile brændsler, men også med et bidrag fra kernekraft.

Kina har egne uranreserver og stiler mod at beherske hele brændselskredsløbet. Forskningsprogrammet omfatter både formerings- og højtemperaturreaktorer. En eksperimentel 10 MW gaskølet højtemperaturreaktor blev igangsat i december 2000 ved Instituttet for Nuklear Energiteknologi ved Tsinghua universitet i Beijing.

Pakistan

Ved udgangen af 1999 havde Pakistan en kraftrektor i drift, Kanupp NPP, som er en 125 MWe CANDU-reaktor fra 1972. Den havde været nedlukket det meste af året på grund af en fejl i den elektriske generator. Reparationen tog lang tid, da reservedele måtte fremstilles lokalt, fordi Pakistan er underlagt internationale restriktioner på grund af sin kernevåbenpolitik.

I 2000 blev yderligere en kraftreaktor idriftsat, Chasma NPP, som er en 300 MWe trykvandsreaktor af kinesisk design.

Sydafrika

Sydafrika har to PWR-enheder i drift på kernekraftværket i Koeberg med en samlet effekt på 1.840 MWe. I 1999 var den gennemsnitlige belastningsfaktor 80% og kernekraften tegnede sig for 6% af elproduktionen.

Det statsejede kraftværksselskab Eskom er i gang med at udvikle en 100 MWe gaskølet højtemperaturreaktor med kugleformede brændselselementer (pebble bed reactor). I 2000 har det britiske selskab BNFL og det amerikanske PECO investeret i det sydafrikanske projekt. Opførelsen af den første reaktor af denne type påbegyndes formentlig i 2001 med henblik på prøvekørsel i 2004.

Sydkorea

Sydkorea har 16 kraftreaktorer i drift med en samlet installeret effekt på 13.700 MWe. I 1999 var den gennemsnitlige belastningsfaktor 88%, og kernekraften tegnede sig for 43% af el-produktionen. Sydkorea er dermed det asiatiske land, der har den højeste nukleare dækningsgrad.

Yderligere 4 reaktorer er under opførelse, alle 1000 MWe trykvandsreaktorer af koreansk design. De eksisterende 16 reaktorer er 12 PWR og 4 CANDU-reaktorer. Næste generation af koreanske kraftreaktorer er under udvikling og forventes at blive trykvandsreaktorer på 1400 MWe. Sydkorea er stort set selvforsynende med hensyn til kernekraftteknologi. Dog udelukker en samarbejdsaftale med USA selvstændig uranberigning og oparbejdning af brugt brændsel.

Taiwan

Taiwan har tre kernekraftværker i drift med seks letvandsreaktorer på i alt 5.150 MWe. I 1999 var den gennemsnitlige belastningsfaktor 85%, og kernekraften tegnede sig for 25% af el-produktionen. Et fjerde kernekraftværk er under opførelse ved Lungmen med to 1350 MWe ABWR-enheder leveret af General Electric og japanske partnere.

I oktober 2000 meddelte Taiwans præsident, at opførelsen af Lungmen-værket stoppes. Præsidenten og regeringen kommer fra det antinukleare Democratic Progressive Party, som kom til magten tidligere på året, og annonceringen af standsningen af Lungmen-projektet skete i forbindelse med stridigheder med parlamentet om budgettet for 2001. I parlamentet er der et pro-nukleart flertal, som har godkendt Lungmen-projektet. Sagen er politisk kompliceret og ligger nu hos Taiwans højesteret. Da Lungmen-projektet blev stoppet, var ca. 34% af byggearbejdet gennemført.

Øvrige lande

Iran har en aftale med Rusland om at færdiggøre en af de to PWR reaktorer ved Bushehr, der blev lagt i mølpose efter revolutionen i 1979. Der var oprindeligt tale om tyske reaktorer, leveret af Siemens, men der installeres nu en russisk VVER-1000 reaktor, der skal være klar i 2003. Fra russisk side forventes det, at man skal levere yderligere en VVER-1000 reaktor til opførelse ved Bushehr.

Nordkorea accepterede i 1994 at standse sit nukleare våbenprogram og underkaste sig IAEA kontrol mod til gengæld at modtage to sydkoreanske 1000 MWe reaktorer finansieret af et USA-ledet internationalt konsortium. En kontrakt om opførelse af de to reaktorer er indgået med det sydkoreanske selskab KEPCO.

Tyrkiet har gennem nogle år haft planer om at opføre et kernekraftværk ved Akkuyu ved Middelhavet. Men i juli 2000 meddelte premierminister Bulent Ecevit, at projektet opgives på ubestemt tid på grund af Tyrkiets alvorlige økonomiske problemer.

Australien har ikke kernekraftværker, men har ligesom en række afrikanske stater (Gabon, Niger og Namibia) en betydelig produktion og eksport af uran. I Australien er en ny forskningsreaktor under bygning. Den forventes klar i 2005 og skal erstatte den gamle "Hifar" reaktor, som blev idriftsat i 1958, og som er af samme type som Risøs DR 3.

8 Udviklingstendenser inden for forskellige reaktortyper

Der foregår til stadighed en udvikling inden for de kendte reaktortyper. Denne består i vidt omfang af indførelse af forbedringer, der er baseret på indvundne driftserfaringer.

8.1 Nye tendenser inden for reaktorudvikling

High performance light water reactor (HPLWR)

I dette projekt studeres en højt-ydende letvandsreaktor, der kører ved overkritisk temperatur og tryk, d.v.s. ved så høje temperaturer og tryk, at der ikke er forskel på vand og damp. Med denne konstruktion kan en termisk virkningsgrad på 44% og høj effekttæthed opnås. Sædvanlige letvandsreaktorer har en termisk virkningsgrad på 33%. P.g.a. kølemidlets lave massefylde ved de høje temperaturer øges neutronernes energi, og der er mulighed for at køre reaktoren under forhold, der ligner en hurtigreaktors.

Konsortiet, som står bag dette projekt, har otte deltagere fra seks lande: Forskningscenter Karlsruhe og Siemens fra Tyskland, CEA og EdF fra Frankrig, det finske forskningscenter VTT, det ungarnske Forskningsinstituttet for Atomenergi (KFKI), Paul Scherrer Instituttet i Schweiz og Tokyos universitet i Japan.

Projektet vil koncentrere sig om reaktorkernens udformning, analyser af neutronfysik og termohydraulik, bestrålingsforsøg, herunder udvikling af nyt brændsel, materiale- og korrosionundersøgelser, sikkerhed og økonomi.

Ved udviklingen af den nødvendige teknologi vil man udnytte den eksisterende ekspertise hos konsortiets to industrielle partnere Siemens og EdF, som står for udformningen af reaktorkernen og anlæggets øvrige vigtige komponenter, f.eks. det primære kredsløb, turbiner, ventiler mm. CEA bidrager med en omfattende viden om hurtige reaktorer. Desuden vil gruppen udnytte den omfattende erfaring, som i løbet af de seneste årtier er blevet opnået i forbindelse med konstruktion af fossile kraftværker, der kører ved overkritisk temperatur og tryk.

HPLWR-typens fordele er, at

- der er mulighed for at opnå en drastisk forbedring af den termiske virkningsgrad fra ca. 33% til 44%. Herved opnås en forbedret økonomi.
- typen kan bygges mere kompakt og simplere end de nuværende letvandsreaktorer. Herved reduceres byggeomkostningerne.
- teknologien for anlæg, der kører ved overkritisk temperatur og tryk, tidligere er undersøgt og fundet gennemførlig.

Konsortiet har indleveret et forslag til udvikling af HPLWR-typen til EUs femte ramme-program.

Levetidsforlængelse

I Japan undersøges mulighederne for at forlænge levetiden af deres kernekraftværker ud over 60 år, helt op til 120 år. Baggrunden for undersøgelsen er landets mangel på naturlige energiressourcer, det begrænsede antal steder, der er egnet til anlæggelse af nye kernekraftværker og endelig fordelene ved levetidsforlængelse fremfor bygning af nye værker.

Det vil være nødvendigt at udskifte de større komponenter. Instrumentering og kontrolsystemer må endda udskiftes flere gange i løbet af levetiden. Selve reaktortankene kan varmebehandles for at forlænge deres levetid.

Der er flere forskellige scenarier for udskiftning:

- Delvis udskiftning af komponenter og bygninger
- Fuldstændig udskiftning af komponenter og bygninger
- Konstruktion af nye kernekraftværker ved siden af de gamle, forudsat, at der er plads hertil.

USA har autoriseret to kernekraftværker til at køre i 60 år. Japan planlægger at gøre det samme og er i gang med at undersøge de tekniske muligheder for en levetidsforlængelse for to kogendevandsreaktorer (Daiichi-1 og Tsuruga-1) og en trykvandsreaktor (Mihama-1).

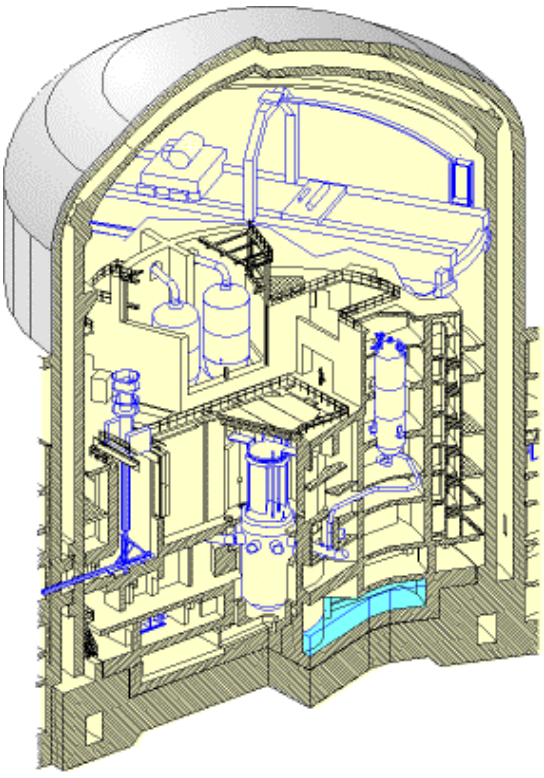
8.2 Trykvandsreaktorer (PWR)

EPR - Den europæiske trykvandsreaktor

Siden 1989 har det franske Framatome og det tyske Siemens sammen udarbejdet en ny udgave af trykvandsreaktoren, den europæiske trykvandsreaktor EPR, som bliver udviklet for at kunne afløse de idriftværende reaktorer i Frankrig og Tyskland. Den vil dog også blive tilbudt andre kunder.

Ifølge den franske regering er det dog endnu for tidligt at træffe beslutning om bestilling af den første EPR-enhed. Beslutningen ventes ikke truffet før efter det franske præsidentvalg i 2002.

I Figur 8.1 er vist en tegning af EPRs reaktorbygning. Reaktoren er omgivet af to indeslutninger: Den indre indeslutning, der er konstrueret til at modstå tryk- og temperaturbelastninger som følge af reaktoruheld, og den ydre indeslutning, der skal beskytte



Figur 8.1. EPR-reaktorbygning.

reaktoren mod ydre påvirkninger, f.eks. jordskælv og flystyrt. Mellemrummet mellem de to indeslutninger benyttes til at opsamle potentielle lækager fra den indre indeslutning, således at der ikke sker udslip til omgivelserne. Desuden ses det primære kredsløb (reaktortryktanken, dampgeneratorer og hovedkølepumperne).

KNSP – Koreansk standard kraftreaktor

Der findes i alt seks enheder af KNSP-typen idrift og under byning: To er i drift (Ulchin-3 og -4) og fire er under bygning (Yonggwang-5 og -6 samt Ulchin-5 og -6). Yonggwang-5 og -6 skal være færdige i 2002, og Ulchin-5 og -6 ventes startet op i henholdsvis 2004 og 2005.

Sydkoreas regering har besluttet, at de næste to kernekraftreaktorer, der skal bygges som en del af landets igangværende nukleare udviklingsprogram, skal være trykvandsreaktorer af KNSP-typen. De kommer til at hedde New Kori-1 og -2 og forventes hver at blive på 1000 MWe. Midlerne til opførelsen af disse to enheder er bevilliget, og værket forventes færdigt i 2009.

KNSP-modellen er en trykvandsreaktor udviklet af Korea Electric Power Corporation (KEPCO). Konstruktionen er baseret på Combustion Engineerings System 80 PWR-design. Der er tre enheder af denne type i drift i USA. Den elektriske effekt af System 80 designet er 1300 MWe, men KNSP er blevet reduceret til 1000 MWe for at opretholde de termiske sikkerhedsmarginer i forbindelse med forskellige designændringer.

I det langsigtede udviklingsprogram planlægges bygning af seks nye reaktorer frem til 2015. Fire af disse forventes at blive af den nye type: Korean Next Generation nuclear Power plant (KNGP). Dette udgave er den planlagte efterfølger til KNSP, og forventes at få en effekt på 1400 MWe.

Westinghouse AP600

Den amerikanske Nuclear Regulatory Commission (NRC) har certificeret Westinghouse's design af den avancerede trykvandsreaktor, AP600. Denne certificering giver mulighed for at lade AP-600-reaktoren indgå i nye kernekraftværker. AP600-reaktoren kan opføres af modulære komponenter og er forsynet med passive sikkerhedssystemer. Levetiden er 60 år.

8.3 Kogendevandsreaktorer (BWR)

Siemens SWR-1000

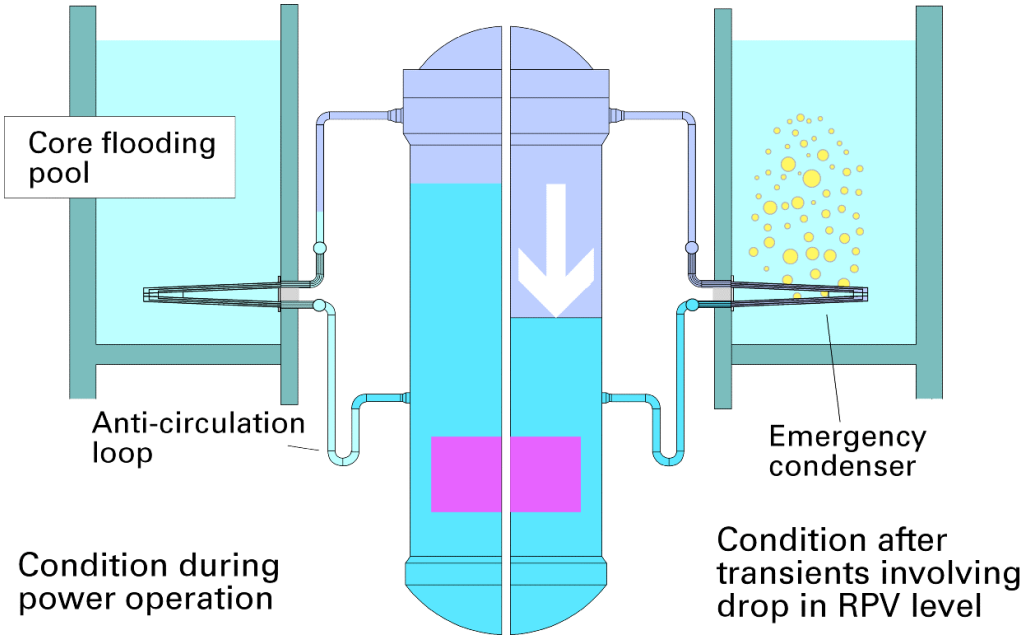
Det grundlæggende koncept for såvel komponentudvikling som for driftsforhold er baseret på den omfattende erfaring fra de idriftværende kogendevandsreaktorer. I forhold til de eksisterende BWR-anlæg er der i SWR-1000-designet foretaget simplificeringer og optimering af systemerne. Der er lavet et nyt sikkerhedskoncept med nedenstående fire elementer i det passive sikkerhedssystem:

Tabel 8.1. Designdata for SWR-1000

Generelt for enheden:	
Termisk effekt	2778 MWt
Elektrisk effekt	1013 MWe
Virkningsgrad	35,2%
Reaktorkernen:	
Antal brændselselementer	568 Atrium 13
Total uranvægt	121 t
Kernens aktive højde	2,8 m
Gennemsnitlig effekttæthed	47 kW/l
Udbrænding ved udtagning	65 GWd/t
Gennemsnitlig berigning	5,45%
Kølevandsflow	12000 kg/s
Reaktortryktanken:	
Indvendig højde	22,55 m
Indvendig diameter	7 m
Designtryk	88 bar
Antal recirkulationspumper	6
Turbine:	
Hastighed	3000 min^{-1}
Indløbsflow	1483 kg/s
Indløbstryk	67 bar
Drift af anlægget:	
Lagerkapacitet for brugt brændsel	10 år
Anlæggets forventede levetid	60 år

- *Nødkondensatorer*

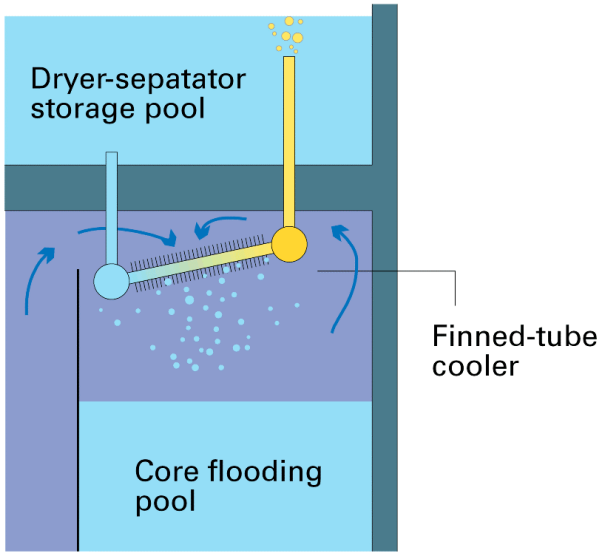
Princippet for nødkondensatorerne er vist i Figur 8.2. Nødkondensatorerne skal fjerne eftervarmen fra reaktoren, når vandniveauet i reaktortanken falder. Nødkondensatorens kølerør befinder sig i tanken med vand til overskylning af kernen (core flooding pool). Under normal drift og normalt vandniveau i reaktortanken er disse rør fyldt med vand (venstre side af tegningen). Hvis vandniveauet i reaktortanken falder (højre side af tegningen), strømmer vandet fra kølerørene ned i reaktortanken. Damp fra reaktorens top kan nu strømme ned til kølerørene, hvor den kondenseres, og kondensatet ledes tilbage til tryktanken. Dette forløb igangsættes automatisk uden behov for elektricitet og uden, at det er nødvendigt at åbne ventiler eller lignende.



Figur 8.2. Nødkondensatorer. Til venstre normal drift, til højre nødkøling. RPV er reaktortryktanken (Reactor Pressure Vessel).

- *Kondensatorer til køling af indeslutningen*

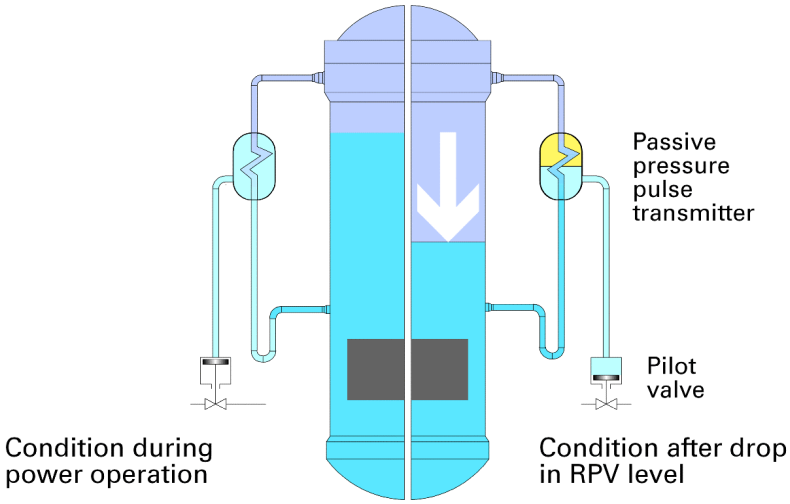
Figur 8.3 viser princippet i køling af indeslutningen. Ved dampdannelse i indeslutningen vil et kondenseringssystem anbragt i toppen af indeslutningen omdanne dampen til vand. Kondensationsvarmen vil bringe vandet på kondensatorens sekundærside i kog, og dampen ledes ved naturlig cirkulation til en anden tank (dryer-separator storage pool), som er anbragt uden for indeslutningen. Heller ikke dette system kræver elektricitet eller indgreb for at virke.



Figur 8.3. Kondensatorer til køling af indeslutningen.

- *Passive trykpulstransmittere*

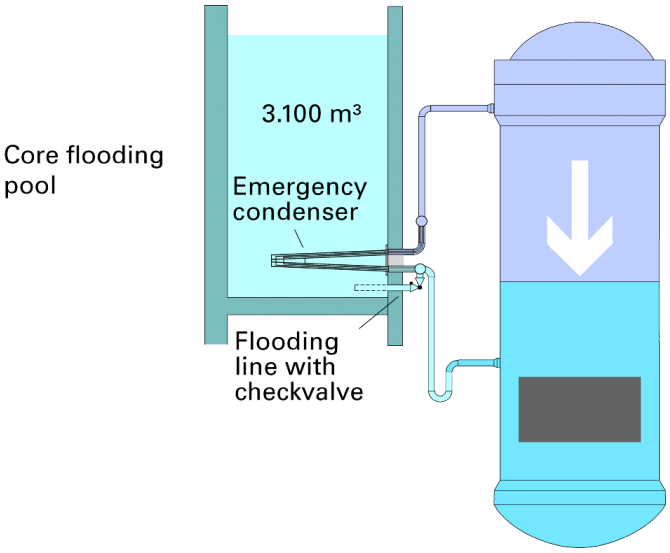
De passive trykpulstransmittere er vist i Figur 8.4. De virker efter samme princip som nødkondensatorerne. Når vandstanden i tanken falder, drænes vandet på trykpulstransmitternes primærside, damp fra reaktortanken strømmer til, kondenseres og opvarmer sekundærsiden, hvorved trykket i denne stiger (højre side af tegningen). Dette tryk aktiverer en ventil (pilot valve), der igen aktiverer en række sikkerhedssystemer (indføring af kontrolstave, trykaflastning af reaktortanken og lukning af hoveddampledningerne). Systemet kræver hverken elektricitet eller signaler fra instrumenteringen for at fungere.



Figur 8.4. Passive trykpulstransmittere. Til venstre normal drift, til højre nødkøling

- *Tyngdekraftdrevet system til overskylning af reaktorkernen*

Princippet er vist i Figur 8.5. Når trykket i reaktortanken falder, åbnes en ventil (check valve), og vandet fra "core flooding pool" vil ved hjælp af tyngdekraften oversvømme reaktorkernen. Systemet fungerer helt af sig selv.



Figur 8.5. Tyngdekraftdrevet system til overskylning af reaktorkernen.

8.4 Tungtvandsreaktorer

Tungt vand (D_2O) er vand, hvor brintatomkernerne består af en proton og en neutron. D_2O er et effektivt moderatormateriale med ringe tilbøjelighed til at indfange neutroner. Dette gør, at tungtvandsmodererede reaktorer dels kan drives med naturligt (uberiget) uran, dels kan udnytte uranet mere effektivt - producere mere energi fra det naturligt uran end letvandsreaktorer. Det er især Canada, der har udviklet og fastholdt tungtvandslinien.

Den canadiske reaktor, CANDU (CANadian Deuterium Uranium), er både kølet og modereret med D_2O og er udformet som en trykrørsreaktorkonstruktion. Reaktoren består af en vandret liggende cylinder, kalandriatanken, i hvilken de langsgående kalandriarør er monteret. Tanken indeholder moderatoren, D_2O, som ikke er under tryk, da temperaturen er for lav til kogning. Trykrørene, hvori brændselselementerne ligger, er anbragt inden i kalandriarørene. Kølemidlet er D_2O under tryk, ca. 100 bar. Brændslet udskiftes under drift, hvilket bidrager til den gode udnyttelse af brændslet og giver kortere nedlukningsperioder. Canada har ikke blot bygget reaktorer til landets eget brug, men også eksporteret dem til Argentina, Sydkorea, Indien, Pakistan og Rumænien. To CANDU-reaktorer er under opførelse i Kina. Den hidtidige eksportmodel, CANDU-6 på 665 MWe, suppleres nu af en mindre, CANDU-3 på 450 MWe, og en større, CANDU-9, på ca. 1000 MWe. CANDU-9 er baseret på reaktorerne i Darlington- og Bruce-B-stationerne. En CANDU-9-reaktor kan yde helt op til 1300 MWe, hvis der bruges lavt beriget uranbrændsel.

Indien har en selvstændig udvikling af tungtvandsreaktorer. Den er baseret på CANDU-typen, men reaktorerne er ret små, 202 MWe. I 2000 har Indien taget tre af disse enheder i brug.

Argentinas ene tungtvandsreaktor (Embalse) er en CANDU-reaktor. Den anden (Atucha-1) er en tysk produceret reaktor, som i modsætning til CANDU ikke er en trykrørsreaktor, men en tryktanksreaktor. I opbygning minder den om en PWR med den forskel, at brændslet kan udskiftes under drift.

Tungtvandsreaktorer er velegnede til at udnytte plutoniumbrændsel. Bl.a. derfor afprøves MOX-brændsel med 3% våbenplutonium fra russiske og amerikanske sprænghoveder i den canadiske NRU-reaktor.

8.5 Gaskølede reaktorer

Storbritannien var det første land, der i større skala begyndte at bygge kernekraftværker, og her satsede man på grafitmodererede CO_2-kølede reaktorer, først på Magnoxreaktorer, senere på de avancerede gaskølede reaktorer (AGR). De fleste andre lande foretrak letvandskølede reaktorer, og også Storbritanniens nyeste kernekraftværk er af denne type.

Grafitmodererede reaktorer har en række fordele, bl.a. af sikkerhedsmæssig art. Derfor blev der såvel i USA som i Tyskland arbejdet med den heliumkølede, grafitmodererede kraftreaktor (HTGR), som kører ved meget høje temperaturer (ca. 775 ^oC). Dette betyder, at heliumgassen først kan sendes gennem en gasturbine og derefter gennem en dampgenerator. Herved opnås en forbedret termisk virkningsgrad. Brændslet i HTGR består af små uran- eller uran- og thoriumholdige partikler, der er omgivet af et tæt lag af grafit. Disse partikler blandes med grafitpulver og presses sammen til kugle- eller cylinderformede brændselslegemer, der omgives af en cylindrisk eller kugleformet moderator/indkapslings-kappe.

Hos Kernforschungsanlage (KFA) ved Jülich i Tyskland arbejdede man med en sådan reaktor, der udnytter kugleformede brændselselementer med en diameter på ca. 6 cm. Reaktoren består af en "silo" med sådanne kugler. Brændselsudskiftning sker ved, at man under drift tager kugler ud for neden i reaktoren, hvorefter deres udbrænding måles. Hvis denne ikke er høj nok sendes de tilbage til toppen af "siloen". Der blev bygget en 300 MWe enhed af denne type, THTR-300 (Thorium High Temperature Reactor), ved Hamm Uentrop i Tyskland. Værket kom i kommerciel drift i 1987, men var kun få år i drift. Reaktortypen fik betegnelsen Pebble-Bed-reaktoren, populært kaldet kartoffelreaktoren.

I de sidste par år er der opstået en fornyet interesse for den gaskølede højtemperaturreaktor, specielt i Pebble-Bed-udgaven. I Sydafrika har el-selskabet ESKOM startet et projekt om bygning af små (110 MWe), moduliserede enheder af denne type, kaldet PBMR eller Pebbel-Bed Modular Reactor. I projektet deltager ikke blot Sydafrika, men også en række andre lande. En fordel ved denne type er, at da den ikke indeholder metaller i sit brændsel, kan den tåle meget høje temperaturer. Dette forhold kombineret med, at brændselskuglernes grafit har en betydelig varmekapacitet, og at reaktoren har en negativ temperaturkoefficient, gør, at risikoen for tab-af-kølemiddeluheld med efterfølgende beskadigelse af brændslet er meget ringe. Da der under drift hele tiden foregår en udskiftning af brændselskuglerne, hvorved reaktoren holdes kritisk, og da denne reaktortype som nævnt har en negativ temperaturkoefficient, skulle kritikalitetsuheld ikke kunne forekomme. Virkningen af den negative temperaturkoefficient er undersøgt ved AVR-reaktoren i Jülich, Tyskland. Bortfald af al køling medførte altid, at reaktoren lukkede sig selv ned.

I Kina startede man i december en lille højtemperaturreaktor af pebble-bed-typen. Reaktoren er opført ved Instituttet for Nuklear Energiteknologi udenfor Beijing. Den har en termisk effekt på 10 MW. I Kina arbejder man med at udnytte den høje temperatur i forbindelse med kemiske anlæg, f. eks. til udvinding af tung brændselsolie og forgasning af kul. Man planlægger at påbegynde opførelsen af en 100 MWe enhed om fem-seks år.

I Holland har man et studieprojekt, Nereus, der også undersøger Pebble-Bed-princippet. Projektet sigter mod bygning af små, yderst sikre reaktormoduler på 20 MWt (8 MWe). I modsætning til PBMR typen skiftes der ikke hele tiden brændselskugler ud. I stedet er indført en brændbar gift i reaktorkernen. Brændbare gifte er stoffer med meget stor tilbøjelighed til at indfange neutroner. Den brændbare gift forbrændes samtidig med, at det fissile materiale i reaktoren forbrændes. Herved holdes reaktoren kritisk. Den opnåede balance mellem fissilt materiale og gift medfører, at reaktoren kan køre i tre år, før et brændselsskift er nødvendigt.

Også i Japan har man en 30 MWt højtemperaturreaktor i drift. Den benytter dog stavformede brændselselementer.

8.6 Hurtigreaktorer

Hurtigreaktorer er reaktorer, hvor kædereaktionen forløber ved hjælp af hurtige neutroner. Derfor skal der i reaktorkernen og som kølemiddel anvendes materialer, der kun i ringe grad nedbremser neutroner. Ved at basere kædereaktionen på hurtige neutroner opnås en øget neutronproduktion, som kan benyttes til at konvertere ikke-spalteligt materiale til spalteligt materiale, f. eks omdannelse af uran-238 til plutonium-239 eller thorium-232 til uran-233. Denne konvertering kan i hurtige reaktorer blive så stor, at de fremstiller mere spalteligt materiale, end de forbruger. Sådanne reaktorer kaldes hurtige formeringsreaktorer.

Som følge heraf kan en hurtig formeringsreaktor starte med en blanding af spalteligt materiale og forarmet uran som brændsel, men senere køre videre på forarmet uran alene. Det betyder, at forarmet uran, hvoraf der findes store lagre fra fremstillingen af beriget uran, udgør et vigtig fremtidigt brændstof, når det anvendes i hurtige reaktorer.

Rusland er det land, der er længst fremme med arbejdet på at udvikle hurtige reaktorer, der kan udnytte verdens uran- og thoriumressourcer fuldt ud. Senest er man i Rusland begyndt at udvikle en ny hurtigreaktor, BREST-300, der anvender en flydende legering af bly og vismut som kølemiddel. Det er tanken at udvikle en prototype, som skal bygges i Beloyarsk ved Ural. Den russiske minister for atomenergi, Adamov, har dog udtalt, at BREST-300 ligger så langt ude i fremtiden, at der først vil blive bygget en serie BN-800-reaktorer, der kan brænde MOX-brændsel. BN-800 er en lidt større udgave af BN-600, der er en "konventionel" hurtigreaktor med natriumkøling.

Den første BN-800 skal bygges i løbet af det næste tiår. Udbygningen med BN-800-reaktorer ser ud til at være noget forsinket i forhold til de oprindelige planer, men dette hænger givetvis sammen med Ruslands vanskelige økonomiske situation.

Rusland er det eneste land, der har en stor hurtig formeringsreaktor, Beloyarsk-3 eller BN-600, på kernekraftværket Beloyarsk i kommerciel drift. Enheden var lukket ned fra midten af marts til midten af maj, sandsynligvis for at udskifte brændsel. Resten af året har enheden kørt med en udnyttelsesfaktor på 97-98%. Beloyarsk er således et af de bedst fungerende kernekraftværker i Rusland.

Det japanske kernekraftværk Monju (280 MWe), som er forsynet med en hurtig reaktor, har været nedlukket siden december 1995 efter en natriumlæk. En domstolsafgørelse fastslog d. 22. marts 2000, at Monju-værket kan beholde sin driftsautorisation. Det er ejernes plan at starte værket igen inden for de næste 4 år.

Den franske hurtigreaktor Phenix har ikke været i drift i det forløbne år på trods af, at det var planlagt, at den skulle benyttes til at gennemføre det forskningsarbejde med omdannelse af transuraner, som skulle have været gennemført på den nu lukkede Superphenix-reaktor.

9 Udviklingstendenser inden for brændselskredsløbet

9.1 Uranproduktion og pris

Produktionsmønsteret for uran har ikke ændret sig meget i det sidste år. Markedet er stadig præget af overskud på forsyningssiden.

Efterspørgslen på uran i USA og Europa forventes i den kommende tid at ligge på samme niveau som i de foregående år. Dette skyldes ikke mindst, at der ikke bliver bygget nye kernekraftværker i USA og Vesteuropa. Tværtimod er der her blevet lukket kernekraftenheder. Anderledes ser det ud i det fjerne Østen. Her planlægges og bygges nye kernekrafværker, hvilket betyder, at efterspørgslen på uran stiger i dette område. Asien er den eneste verdensdel, hvor man forventer en væsentlig stigning i uranforbruget. Stigningen påregnes at blive omkring 50% inden for de næste 10 år.

Canada er stadig den største uranproducent. I 1999 faldt den canadiske produktion for første gang i dette årti, men i 2000 var produktionen tilbage på samme niveau som i 1998, eller sagt med andre ord, på en tredjedel af verdens totale produktion af uran.

Det australske uranproduktion er steget støt siden 1996, og nu dækker Australien en fjerdedel af den totale uran produktion. Den australske uranproduktion ser ud til at fortsætte med at stige i 2001. Honeymoon-uranminen i Sydaustralien har i slutningen af år 2000 søgt om produktions- og eksporttilladelse. Olympic Dam-minen har opskrevet sine ressourcer til over 90.000 t U_3O_8. Det betyder, at der skulle være malm til 50 års drift med den nuværende årsproduktion. Beverley Uranium Mine, Australien, forventes snart at være i fuld produktion.

Canadas uranreserver er på 511.000 t U_3O_8, imedens Australien har 889.000 t U_3O_8 i reserve. De australske reserver ligger på samme niveau som i 1999, mens de canadiske uranreserver er steget. Grunden til stigningen i de canadiske reserver er den uranefterforskning, der blev udført i 1996-1997.

USA har i øjeblikket ni miner i drift. Heraf er der seks åbne miner. Den totale uranproduktion har i USA været for nedadgående i 2000. Dette skyldes ikke mindst øget import fra andre lande. Importen er cirka 80% af forbruget. De to største eksportører til USA er Canada og Australien, som tilsammen dækker over 50% af det amerikanske marked. Der har i det forløbne år været flere retssager i forbindelse med drift, salg og sammenlægninger af uranminer. Retssagerne har været udtryk for den skærpede konkurrence mellem mineselskaberne, ikke mindst i USA. Her har konkurrencen været meget hård p.g.a. importen fra Canada og Australien samt ikke mindst på grund af aftalen mellem Rusland og USA om, at højtberiget uran (HEU) fra russiske kernevåben ved blanding med forarmet eller naturligt uran skal omdannes til lavt beriget uran (LEU), som USA derefter køber.

Khiagdinskoe-uranminen i Rusland blev erklæret kommerciel i 2000. Årsproduktion forventes at blive 1.500 t U_3O_8, og der vil være uran nok til, at minen kan producere de næste 50 år. Kasakhstan har i 2000 øget uranproduktionen med 16% til 1.814 t U_3O_8.

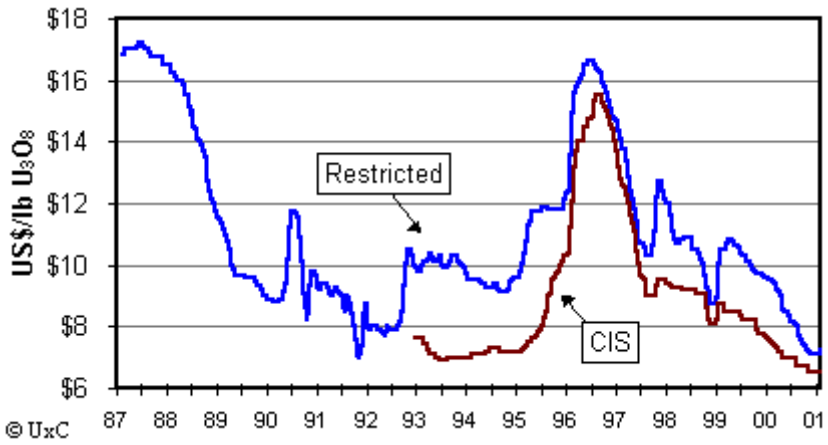
I Indien er der opdaget to nye uranforekomster, en i Andhra Pradesh og en i Kanataka. I følge rapporter fra Indien skulle hver mine indeholde 20.000 t U_3O_8 eller nok til at dække det indiske forbrug de næste 20 år.

I Brasilien har Industrias Nucleares do Brazil (INB) har begyndt uranproduktion. Den forventes blive 400 t U_3O_8/år. Minen dækker et område på 600 km^2. Minen vil dog først kunne udnyttes kommercielt ved en højere pris på U_3O_8.

I 1993 aftalte Rusland og USA, at Rusland skal omdanne 500 t højt beriget uran (HEU) fra det russiske kernevåbenarsenal til lavt beriget uran (LEU). US Enrichment Corporation (USEC) skal videresælge dette lavt berigede uran. Som en følge af denne aftale havde USEC i slutningen af 2000 modtaget 3.243 t lavt beriget uran, produceret ud fra 111 t højt beriget uran, svarende til 4454 sprænghoveder.

Igennem år 2000 har uranprisen været støt faldende på grund af det øgede udbud og den begrænsede efterspørgsel. Øget produktion fra miner i Australien har medvirket til den lavere markedspris. De faldende uranpriser har medført, at nogle miners indtægter ikke har kunnet stå mål med produktionsomkostningerne.

Prisen for U_3O_8 på spotmarkedet var den 31. december 2000 $7,10. Figur 9.1 viser prisudviklingen for U_3O_8 på spotmarkedet.



Figur 9.1. Spotmarkedsprisen for U_3O_8 som funktion af tiden. "Restricted"er uranprisen i USA,"CIS" er prisen på uran fra lande i Sovjetunionens tidligere område.

9.2 Uranberigning

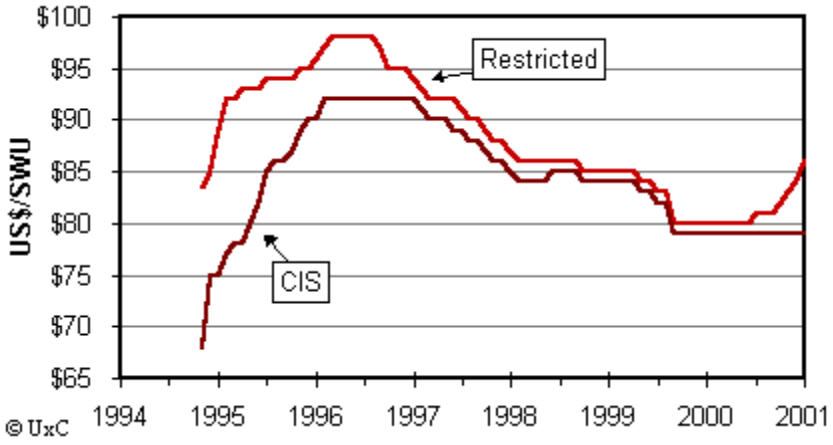
Ligesom i 1999 har markedet i 2000 været præget af stor usikkerhed med hensyn til fremtidig efterspørgsel og kapacitet og dermed pris på uranberigning. Dette har resulteret i en lav berigningspris, som har medført, at lukning af amerikanske anlæg har været overvejet.

USEC, der er et privat firma, dækker cirka trefjerdedele af det amerikanske berigningsbehov og mere end en tredjedel af det globale behov. USEC indgik i begyndelsen af 2000 en 10 års kontrakt med TVA om levering af beriget uran.

I slutningen af 2000 lagde USEC sag an ved Verdenshandelsorganisationen (WTO) med påstanden om, at EURODIF (Frankrig) og URENCO (England, Tyskland og Holland) har dumpet prisen på uranberigning. USEC hævder, at de nævnte lande har subsidieret de to firmaer, hvorved de kunne sælge deres berigede uran til priser, der ligger under fremstillingsprisen. USEC ønsker derfor handelssanktioner indført mod firmaerne. EURODIF og URENCO har hertil bemærket, at USEC tidligere har argumenteret for, at en sådan situation ikke kan medføre handelssanktioner.

SILEX, en laser-baseret uranberigningsmetode, som man har arbejdet med i Australien, har vist gode resultater ved de første afprøvninger. Der er lavet en aftale mellem USEC og Australien om at videreudvikle metoden. USEC vil endvidere fortsætte med at udvikle gas-centrifuger, som også anses for at være en mulig, fremtidig option for USA. DOE vil ikke dekommissionere gasdiffusionsanlægget i Portsmouth, Ohio, når USEC standser driften af dette berigningsanlæg i 2001. I stedet vil anlægget blive rengjort og "lagt i mølpose".

Prisen på uranberigning, der angives i $/SWU (Separative Work Unit = Enhed af separativt arbejde), var ved udgangen af 2000 84 $/SWU. I Figur 9.2 er vist SWU-prisen på spotmarkedet. Af kurven fremgår, at spotmarkedsprisen har været nogenlunde konstant gennem de sidste 3 år. SWU-prisen har været mere konstant end U_3O_8-prisen.



Figur 9.2. Prisen på separativt arbejde som funktion af tiden. "Restricted" står for berigningsprisen i USA "CIS" for berigningsprisen i Rusland.

9.3 Oparbejdning eller direkte deponering af brugt brændsel

USA, Sverige, Finland, Spanien og til dels Tyskland definerer det brugte brændsel som affald, som skal deponeres direkte i geologiske formationer. Denne "once through cycle" er den simplest mulige, men man opnår langt fra den optimale energiproduktion fra verdens uranressurcer. For USA er ikke-spredningsproblematikken den officielle begrundelse for den politiske modstand mod oparbejdning af kraftreaktorbrændsel, men amerikanerne har erfaring med oparbejdning fra deres militære programmer.

Frankrig, England, Rusland og Japan går ind for oparbejdning af kraftreaktorbrændsel, hvorved resturan og plutonium udvindes. Brændslet klippes i stykker, opløses i syre, hvorefter plutonium og uran udvindes. De tilbageblevne fissionsprodukter blandes med tilslagsstoffer og nedsmeltes til glas, som til sidst støbes ud i stålbeholdere. Det udvundne uran og plutonium benyttes til fremstilling af nyt brændsel på særlige brændselselementfabrikker for såkaldt MOX-brændsel (Mixed OXide fuel).

På anmodning af OSPAR (Oslo-Paris Conventionen vedrørende beskyttelse af Nordøst-atlanten) har en ekspertgruppe for OECD-NEA udarbejdet en rapport over strålingsdoser til arbejdere og befolkningen dels ved oparbejdning, dels ved direkte deponering af brugt brændsel. Rapporten konkluderer, at uanset hvilken af metoderne der

benyttes, vil doser ligge lavt sammenlignet med tilladte grænseværdier og med doser fra den naturlige baggrundsstråling. Samtidig konkluderes, at forskellen i modtagne doser i de to tilfælde er overraskende lille, fordi den radiologiske påvirkning ved oparbejdningsoperationerne er af samme størrelsesorden som fra udvinding af den ekstra mængde uran, der behøves, når det brugte brændsel deponeres direkte.

Ved OSPAR's seneste møde forsøgte Danmark sammen med Irland at forhindre fremtidige udledninger fra de engelske og franske oparbejdningsanlæg. Påstand om skadevirkninger fra technetium-udslip fra Sellafield blev imidlertid afvist som grundløst.

Hvis man ikke vil oparbejde og endnu ikke kan slutdeponere, må brændslet oplagres midlertidigt. I 1982 blev det ved lov pålagt US Department of Energy (DOE) senest d. 31. januar 1998 at påbegynde fjernelse af oplagret brugt brændsel fra de kommercielle kernekraftværker i USA. Siden lovens vedtagelse har amerikanske kernekraftværker indbetalt en afgift på 0,1 cents/kWh til en fond til finansiering af sluthåndteringen af brændslet. Fonden er i dag på mere end 17 mia. $. Imidlertid har DOE endnu ikke kunnet leve op til sine forpligtelser og har efter langstrakte forhandlinger måttet gå med til at dække nogle af kraftværkernes udgifter til udvidelse af deres lokale brændselsdepoter. Et slutdepot til brugt brændsel ved Yucca Mountain i Nevada vil tidligst stå færdig i år 2010 (jfr. afsnit 9.5). Den amerikanske regering har hidtil ikke ønsket at støtte oprettelsen af et midlertidigt centrallager nær Yucca Mountain. Amerikanerne lægger vægt på at udvikle og få godkendt afskærmningsbeholdere, der både kan bruges til mellemlagring, transport og den fremtidige slutdeponering.

I Tyskland blev der i juni 2000 indgået en aftale mellem regeringen og el-værkerne om, at de tyske kernekraftværker i alt kan producere yderligere 2620 TWh (svarende til adskillige års drift), før de skal lukke. Ligeledes er det blevet bestemt, at der ikke vil blive sendt mere brugt brændsel til oparbejdning efter juli 2005. Indtil da kan det brugte brændsel sendes til oparbejdning i England eller Frankrig eller til mellemlagrene i Ahaus og evt. Gorleben. De tyske forsendelser har været afbrudt siden maj 1998 p.g.a. fund af lettere kontamination af transportbeholdere. Transportstoppet har også ramt tilbagetransport af højaktivt affaldsglas hidrørende fra oparbejdning af tysk brændsel på det franske oparbejdningsanlæg La Hague. Franskmændene har nægtet at modtage mere tysk brændsel, før de aftalte tilbagetransporter er gennemført.

Fransk oparbejdning har fungeret problemfrit, men den 'grønne' franske miljøminister forsøger at få standset fabrikation på Cogema's MOX-brændselfabrik i Cadarache, med henvisning til, at der er rejst tvivl om anlæggets modstandsdygtighed mod seismiske rystelser. Såfremt anlægget må lukke, kan Cogema få problemer med at opfylde sine forpligtelser over for indgåede kontrakter. Cogema søger, men har endnu ikke fået, licens til øgning af produktionen på deres nyeste MOX-anlæg: Melox.

I England har BNFL, der driver oparbejdningsanlægget Sellafield, måttet benytte 2000 til at genopbygge tilliden hos deres kunder, efter at det i 1999 kom frem, at der var blevet snydt med kvalitetskontrol-data på MOX-brændsel til en kunde i Japan. På trods af at de konstaterede forfalskninger ikke havde sikkerhedsmæssig betydning, har BNFL fyret en række personer i ledende stillinger samt taget aktion på den kritik, som bl.a. de engelske myndigheder har fremført. Mod tilbagetagning af MOX-brændslet med de forfalskede data samt betaling af 40 millioner engelske pund til Kansai Electric i kompensation, har det japanske firma ophævet moratoriet mod nyt MOX-brændsel og nye oparbejdningsaftaler.

Delvis p.g.a. denne restrukturering er den engelske regerings planlagte privatisering af BNFL blevet udskudt.

I de senere år er der sket en vis opblødning i amerikanernes holdning til oparbejdning og især til brugen af MOX. Det hænger sammen med nedrustningsbestræbelserne.

USA og Rusland har indgået en aftale om hver at skille sig af med 34 tons militært plutonium, således at det ikke længere kan benyttes i nukleare våben. USA vil bruge 25,5 tons plutonium som MOX-brændsel i reaktorer og overføre 8,5 tons til slutdeponering på en form, således at det ikke kan benyttes til våbenfabrikation. Rusland vil benytte deres plutonium til fabrikation af MOX-brændsel. Begge lande har behov for anlæg til produktion af MOX-brændsel, og disse forventes taget i brug i 2007. Det vil være et problem at finde reaktorer, der har tilladelse til at bruge MOX-brændslet. Man venter på begge sider at kunne skille sig af med ca. 2 t militært plutonium om året. Som et bidrag til bestræbelserne har canadierne tilbudt at undersøge mulighederne for at benytte MOX-brændsel i deres CANDU-reaktorer.

Rusland vil ligesom England og Frankrig gerne tjene penge på oparbejdningsmarkedet. MINATOM (Ruslands ministerium for nuklear energi) ønsker at kunne importere brugt brændsel for senere at oparbejde det, fabrikere MOX-brændsel og sælge det til udlandet. Det krævede en ændring af russisk lov, som tidligere forbød import af nukleart materiale. Den russiske Duma har accepteret forslaget, men under protester fra miljøorganisationer i Rusland. Rusland har selv i dag ca. 15.000 tons brugt brændsel, mens der ialt i verden findes ca. 200.000 tons. I 2030 forventes der at være 400.000 tons brugt brændsel i verden, hvoraf MINATOM ønsker at kunne importere og oparbejde 20.000 tons svarende til 5% af verdens samlede beholdning.

I modsætning til de engelske og franske oparbejdningsanlæg foreslår MINATOM, at Rusland – mod betaling – påtager sig at bortskaffe det højaktive affald fra oparbejdningen. Hensigten hermed er at skaffe midler til at løse problemerne med deponering af Ruslands eget affald, herunder f.eks. ca. 60.000 brugte brændselselementer fra russiske ubåde.

Der arbejdes i en række lande med transmutation af uran, plutonium og andre tunge grundstoffer samt af langlivede fissionsprodukter. Ved transmutation forstås generelt omdannelse af en atomkerne til en anden atomkerne ved indfangning af neutroner. Specielt fission af langlivede, tunge kerner og dannelse af kortlivede, lettere kerner kan være interessant inden for affaldshåndtering. Transmutation kan kræve en forudgående separation af de relevante isotoper, i praksis en væsentlig mere avanceret oparbejdningsteknik end den nu praktiserede. Teknikken har ikke været demonsteret i større skala, men kan måske blive en mulighed engang i fremtiden.

9.4 Nedlæggelse af nukleare anlæg

Nedlæggelse (dekommissionering) af nukleare anlæg kan have forskellige årsager: Ældre værker kan være teknisk nedslidte, økonomisk urentable, eller sikkerhedsmæssigt uacceptable, men den generelle modstand mod kernekraft som energikilde spiller en væsentlig rolle i en række lande. Anlæg til brændselsproduktion og lignende bliver også ramt af denne tendens. Et eksempel er Tyskland, der er ved at skille sig af med fire anlæg inden for brændselskredsløbet.

Der er allerede gennemført en del forskellige dekommissioneringsprojekter, hvorved værdifuld erfaring er opnået. Markedet for nedlægning af nukleare anlæg er stadigt voksende, fordi tendensen i en række europæiske lande går imod en udfasning af kernekraft, og fordi mange værker, også store kraftreaktorer, i de kommende år vil være udtjente. Derfor vil der fortsat være mange opgaver inden for dette område. De enkelte anlæg er vidt forskellige i omfang og udformning. Derfor må man i hvert enkelt tilfælde afpasse den benyttede strategi til den foreliggende opgave. Både i nationalt og i internationalt regi (EU og OECD) arbejdes der på udvikling af beregningsværktøjer

til vurdering af omkostninger ved dekommissionering. Erfaringen viser, at en af de allervigtigste opgaver er god planlægning af forløbet.

I forbindelse med dekommissionering kan en del materiale deklassificeres, d.v.s. gives fri til genbrug eller bortskaffelse som almindeligt affald. Der eksisterer forskellige kemiske og mekaniske metoder til dekontaminering, hvorved materiale, der kun er overfladekontamineret, kan rengøres med henblik på frigivelse. Omkostningerne ved dekontaminering (arbejdstid, stråledoser, dannelse af sekundæraffald) skal afvejes i forhold til prisen for slutdeponering. Ved dekontaminering er grænseværdierne for frigivelse af materiale til ikke-nukleare formål samt sikkerhed for senere at kunne komme af med det deklassificerede materiale vigtige faktorer. Derudover er myndighedernes håndtering af deklassificeringssager væsentlig. Også i USA er der kritik af, at deklassificiering for tiden bedømmes fra sag til sag.

Efter lukning af nukleare anlæg kan der vælges forskellige strategier: En mulighed er at påbegynde dekommissioneringen hurtigt efter nedlukningen, hvilket giver fordele i forhold til udnyttelse af den viden og erfaring, der er til stede, men samtidig fordyrer processen idet der må benyttes robotter til håndtering af stærkt radioaktivt materiale. En anden mulighed er at fjerne brændselselementerne og derefter vente en årrække, hvorved henfald vil medføre, at dele af materialet er væsentlig mindre radioaktivt, og dermed lettere at håndtere. I Europa er politikken varierende, men tendensen går mod at anbefale dekommissionering ret kort tid efter nedlukning.

Den svenske Barsebäck-1 kraftreaktor blev lukket 30.11.1999. Brændslet er blevet fjernet fra reaktoren, men Barsebäck-2 drives fortsat. Den svenske myndighed SSI anbefaler som generel politik, at dekommissionering skal være afsluttet 30 år efter nedlukning bl.a. ud fra det synspunkt, at den generation, der har haft udbytte af faciliteten, også skal tage ansvar for affaldet. Man vil dog formentlig vente med yderligere dekommissionering af Barsebäck-1 indtil Barsebäck-2 lukkes. I Sverige som i de fleste andre lande med nuklear kraftproduktion er der opbygget en fond gennem produktionsårene til finansiering af udgifterne ved nedlægning og affaldshåndtering.

På grund af usikkerhed om korrosion i reaktortanken blev forskningsreaktor DR 3 på Risø lukket i september 2000 efter 40 års brug. Ansvaret for Risøs nukleare anlæg under nedlægning (DR 2, DR 3 og Hot Cell) samt DR 1 og affaldsbehandlingen er ved at blive overført til en ny statsvirksomhed Dansk Dekommissionering (DD), der skal stå for planlægning og gennemførelse af nedlæggelse af anlæggene.

I England er man langt fremme med dekommissionering af flere anlæg, og der er etableret kontakt mellem Danmark og England med henblik på, at DD kan gøre brug af erfaringer opnået i forbindelse med dekommissionering i Harwell, hvor der er flere nedlukkede reaktorer, der ligner DR 3. Et udestående problem i England, som i de fleste andre lande, er, at man endnu ikke råder over slutdeponeringsfaciliteter til mellemaktivt, langlivet affald.

9.5 Deponering af lav-, mellem- og højaktivt affald

Udformning og brug af eksisterende slutdepoter for lavaktivt affald er beskrevet i årets tema-artikkel (se afsnit 2). Det følgende handler derfor hovedsagelig om udviklingen inden for bortskaffelsen af højaktivt affald og mellemaktivt, langlivet affald.

Højaktivt affald består enten af brugt kraftreaktorbrændsel – nogle lande vælger at betragte brugt brændsel som affald – eller af et lille rumfang højaktivt glas, der produceres på oparbejdningsanlæggene ud fra de fissionsprodukter m.m., der bliver tilbage efter udvinding af resturan og plutonium fra det brugte brændsel.

De fleste fissionsprodukter er kortlivede og omdannes ret hurtigt til stabile stoffer. Andre, med mellemlang halveringstid, forsvinder gradvist over en periode på nogle hundrede til tusinde år. Endelig er der et indhold af egentlig langlivede stoffer, hvoraf de væsentligste er transuranerne neptunium, plutonium og americium, der dannes ved neutronindfangning i uran. De ændres kun langsomt, men vil over geologiske tidsskalaer forvandles til uran. Henfaldet af de radioaktive stoffer producerer varme, men ikke særlig meget. 20 beholdere med 30 t brugt brændsel fra et års drift af en stor reaktor udvikler ca. 10 kW efter 30 års oplagring. Det er imidlertid nok til, at det er varmeudviklingen, der bestemmer udformning af mellemlagre og slutdepoter for højaktivt affald.

Når mellemaktivt affald klassificeres som langlivet skyldes det som oftest et indhold af transuraner. Teknisk søger man på oparbejdningsanlæggene at eliminere denne affaldstype ved at oprense for transuranerne (der slås sammen med det højaktive affald) til et niveau så affaldet kan håndteres og deponeres som lavaktivt. Mellemaktivt langlivet affald er derfor ofte 'historisk affald', produceret før en sådan oprensning var mulig. En del vil være affald fra tidlig oparbejdning i forbindelse med militær plutoniumproduktion.

Blandt teknikere, der arbejder med området (herunder internationale organisationer som IAEA og OECD-NEA), er der almindelig enighed om, at dyb geologisk deponering er en sikker og realisabel metode til bortskaffelse af højaktivt affald, hvad enten der er tale om brugt brændsel eller højaktivt glas. Mange års arbejde med forundersøgelser og koncepter for dyb geologisk deponering – d.v.s. anbringelse i en passende geologisk formation i stor dybde – har givet stadig forbedrede og mere detaljerede metoder til vurdering af sikkerheden ved sådanne systemer.

Verdens første slutdepot for mellemaktivt, langlivet affald, det amerikanske anlæg WIPP, der er anlagt i en saltformation i New Mexico, har nu været i drift i et år og har i september 2000 modtaget sin leverance nr. 100.

Forundersøgelserne til et slutdepot for amerikansk kraftreaktorbrændsel under Yucca Mountain i Nevada fortsætter. Der er f.eks. blevet udviklet en detaljeret 'virtuel' model af bjerget til undersøgelse af langtidseffekter af deponeringen. Det er blevet foreslået at udnytte USA's meget store lagre af forarmet uran (ca. 400 000 t) til fyld mellem deponerede brændselselementer. Herved elimineres en nok i forvejen ret teoretisk risiko for kritikalitets-problemer. Reaktioner på den foreløbige miljøvurdering (Environmental Impact Statement, EIS), der blev udsendt i september 1999, er ved at blive indarbejdet i den endelige version. Mest interessant er det, at forskellige niveauer for tilladt aktivitet i drikkevand fra området er blevet foreslået af de to myndigheder NRC og EPA. Ud over kompetencestridigheder knytter diskussionen an til uafklarede spørgsmål om virkninger af meget små strålingsdoser. Spørgsmålet er ikke nyt, men endnu engang har de store økonomiske konsekvenser af sådanne grænseværdier været diskuteret.

I Japan har man dannet en organisation med ansvar for at finde frem til slutdeponeringsmuligheder.

Frankrig er gået i gang med forundersøgelser til et depot i en lerformation i nærheden af landsbyen Burre i distriktet Meuse. Forsøg på at lokalisere steder til tilsvarende undersøgelser i en granitformation er blevet udsat p.g.a. massive protestdemonstrationer.

England slikker stadig sårene efter afvisningen i 1997 af det foreslåede geologiske slutdepot for langlivet mellemaktivt affald ved Sellafield. Et antal udredninger og vurderinger peger på, at affaldet eksisterer, og at det er nødvendig at gøre noget ved

det. Man er nu klar over, at involvering af offentligheden i beslutningsprocessen er helt nødvendig, men bitterhed over mange års spildte muligheder skjules ikke.

I Tyskland udskyder myndighederne beslutningerne om affaldsdeponeringen. Undersøgelserne i salthorsten Gorleben er midlertidigt sat i bero, og man skal til at lede efter alternative steder, som evt. skulle være bedre.

I Finland og Sverige ser det lovende ud. Finnerne har fået lokalbefolkningens og myndighedernes accept af at påbegynde undersøgelser i kommunen Eurojoki (der også er hjemsted for kraftreaktoranlægget Olkiluoto) med henblik på etablering af et dybt geologisk depot. I december kom principbeslutning fra regeringen og nu afventes rigsdagens godkendelse, der anses for rimelig sikker. Også i Sverige er det lykkedes at finde frem til tre kommuner, der accepterer tilsvarende undersøgelser. Princippet i begge lande har været en vidt dreven involvering af lokale politikere m.m. i projekterne.

Belgien undersøger lerlagene under Mol, som må antages i det lange løb at kunne udvikle sig til et slutdepot på stedet. Belgien har imidlertid også negative erfaringer fra et nu opgivet systematisk forsøg på at lokalisere et teknisk set 'bedste' sted for et overfladenært depot for lavaktivt affald. Man har fået politisk påbud om at koncentrere sig om fire steder, hvor der allerede eksisterer nukleare anlæg.

Pladsvalg går måske lettere i et tyndt befolket land. Australien har i hvert fald udvalgt fem steder til et eventuelt fremtidigt lavaktivt lager.

Også Danmark må, som nævnt i afsnit 2, i gang med at fastlægge udformning og placering af et slutdepot for det affald, der er oplagret på Risø, og det, der kommer fra nedrivning af Risøs nukleare anlæg. Det er en bunden opgave, der går ud på at finde en praktisk mulighed for bortskaffelse af eksisterende radioaktivt affald, men også en opgave, der er af meget mindre omfang end den, de fleste af de ovennævnte lande må finde løsninger på.

APPENDIKS A: INES, den internationale skala for uheld på nukleare anlæg

På foranledning af blandt andet det Internationale Atomenergi Agentur (IAEA) i Wien blev der i 1990 vedtaget en international uheldsskala for uheld på nukleare anlæg som f.eks. kernekraftværker, forskningsreaktorer, nukleare brændselsfabrikker og andre anlæg, hvor der kan opstå uheld, der involverer betydelige mængder radioaktivitet eller kraftige strålingsdoser. Alle uheld på sådanne anlæg opdeles i klasser, der dækker fra klasse 0 til 7. Hændelser, der ikke har haft nogen egentlig sikkerhedsmæssig betydning, rubriceres i klasse 0; meget alvorlige uheld med udslip af store mængder radioaktivitet hører derimod til klasse 7. Havariet på Tjernobyl 4 i 1986 er det eneste uheld i klasse 7.

Alle betydende lande har tilsluttet sig denne opdeling i klasser, som kaldes The International Nuclear Event Scale eller blot INES. Der findes en omfattende beskrivelse af, hvorledes hændelser eller uheld på nukleare anlæg skal indplaceres på skalaen. Sædvanligvis sker der det, at man på det anlæg, hvor hændelsen er sket, til IAEA i Wien indsender en beskrivelse af det skete samt en angivelse af en foreløbig klasse. Sikkerhedsmyndighederne i det pågældende land kan efterfølgende ændre på klassificeringen, hvis man finder en anden klasse mere korrekt. Der sker jævnligt sådanne justeringer, både i opad- og i nedadgående retning. Fra IAEA sendes der snarest oplysning om indberetningerne til alle nukleare sikkerhedsmyndigheder over hele verden. Disse kan så vurdere, om der kan ske tilsvarende hændelser i deres lande, så der bør tages modforholdsregler.

I sammenfattet form dækker de enkelte klasser følgende:

- Klasse 7 [Katastrofe]: Her skal der være sket et udslip omfattende en stor del af en reaktorkernes indhold af radioaktivitet resulterende i en udbredt forurening, der kan give senere helseskader i form af kræft. Desuden dækker klassen udslip med risiko for så store strålingsdoser til mennesker, at strålingssyge kan forekomme. Tjernobylhavariet i 1986 hører til i klasse 7.

- Klasse 6 [Alvorligt uheld eller ulykke] : Her skal der være sket et mellemstort udslip af aktivitet fra en skadet reaktorkerne. Hvis beredskabsforanstaltninger har været indført i tide, har man formentlig kunnet undgå, at et klasse 6 uheld resulterer i strålingssyge i omegnen. Alvorlige nukleare uheld i klasse 6 er aldrig indtruffet.

- Klasse 5 [Uheld eller ulykke med risiko for omgivelserne]: Klassen dækker bl.a. uheld med udslip af mere begrænsede mængder aktivitet, der dog nødvendiggør gennemførelse af dele af en beredskabsplan - f.eks. "Gå inden døre" - og efterfølgende begrænsninger for landbrugsproduktionen. Windscale-branden i 1957 er et eksempel på et klasse 5 uheld. Havariet af reaktor 2 på Tremileøen i Pennsylvanien i 1979 er også et eksempel på klasse 5. Her blev der frigivet betydelige mængder aktivitet inde i den lufttætte bygning om reaktoren. Der var således en vis risiko for, at betydelige mængder aktivitet kunne være sluppet ud.

- Klasse 4 [Uheld med skader, der overvejende berører selve anlægget]: Typisk kan et klasse 4 uheld vedrøre en væsentlig beskadigelse af reaktorkernen. På værket kan en lille del af personalet udsættes for livstruende strålingsdoser. Evt. kan et klasse 4 uheld resultere i lokale begrænsninger for landbrugsproduktionen. I 1980 skete der

ved Saint Laurent i Frankrig et klasse 4 uheld med mindre skader på en reaktorkerne.

- Klasse 3 [Alvorlig hændelse]: Mange forskellige slags hændelser kan rubriceres i klasse 3. Et eksempel kan være udslip til omgivelserne af små mængder aktivitet, der kan give strålingsdoser som dem, der fås ved en flyrejse mellem USA og Europa. Der kan også være tale om svigt af et sikkerhedssystem, som kunne have ført til en alvorlig situation, hvis der også samtidigt var forekommet andre fejl. Klasse 3 omfatter også ulykker med strålingskilder, hvor personer har fået kraftige strålingsdoser. I de senere år er det især ulykker med strålingskilder, der har domineret statistikken. I 1997 skete der således tre steder i verden uheld med kraftige bestrålinger fra strålingskilder.

- Klasse 2 [Hændelse]: Under klasse 2 rubriceres tekniske fejl og forstyrrelser, der ikke direkte har påvirket et anlægs sikkerhed, men som peger på, at udstyr eller rutiner skal ændres, hvis det krævede sikkerhedsniveau skal opretholdes. Som en eksempel på en klasse 2 hændelse fra 1998 kan nævnes anvendelsen af en forkert tegning, da man på det britiske kernekraftværk Sizewell-B skulle afhjælpe nogle mangler i et styresystem. Fejlen betød ikke direkte noget for sikkerheden, man den afslørede en mangel i den administrative kontrol.

- Klasse 1 [Anomali]: Herunder rubriceres hændelser, som ikke udgør nogen sikkerhedsmæssig risiko, men som peger på mangler eller menneskelige fejl, som skal rettes.

- Klasse 0: Det drejer sig om hændelser, der ikke har haft nogen sikkerhedsmæssig betydning - og ikke ville kunne have fået det, fordi alt sikkerhedsudstyr fungerede korrekt. Alligevel rapporteres mange sådanne hændelser. Det kan f.eks. være hændelser, der har været vidt omtalt i nyhedsmedierne, og som der derfor er behov for at give en nærmere teknisk gennemgang af. Som et eksempel fra 1998 kan nævnes, at man i juni 1998 flere steder i det sydlige Europa kunne detektere cæsium-137 i luften. Niveauerne var mere end 10.000 gange under de niveauer, man kunne have haft i årevis uden at overskride nogen tilladelig grænse. Men historien havde mediernes interesse - selv i Danmark. Det viste sig, at et stålværk i det sydlige Spanien havde smeltet en cæsium-137 kilde sammen med noget jernskrot - og cæsium-137 var gået op gennem skorstenen som damp og havde spredt sig ud over Middelhavet og senere var nået op til bl.a. Frankrig og Tyskland.

APPENDIKS B: Anvendte forkortelser

AB	Aktiebolag
ABB	ASEA Brown Boveri, svensk-schweizisk reaktorproducent
ABWR	Advanced Boiling Water Reactor, General Electric's avancerede kogendevandsreaktor
AECL	Atomic Energy of Canada Ltd, det statslige, canadiske selskab for kerneenergiudvikling
AGR	Advanced Gas-cooled Reactor, den engelske, avancerede gaskølede reaktor
ANP	Advanced Nuclear Power
AP-600	Westinghouse's avancerede trykvandsreaktor
ARGOS	Accident Reporting and Guiding Operational System, Beredskabsstyrelsens beslutningsstøtteprogram
AVR	Abeitsgemeinschaft Versuchs-Reaktor, tysk prototype på pebble-bed-reaktoren
bar	Enhed for tryk. 1 atmosfæres tryk lig 1,013 bar
BE	British Energy, det engelske el-selskab, der ejer de fleste britiske kernekraftværker
BN	Bystrokh Nejtronakh, hurtige neutroner. Russisk version af hurtigreaktoren
BNFL	British Nuclear Fuel Ltd., britisk, statsligt kernebrændsels- og reaktorfirma
BPP	Bruce Power Partnership. Datterselskab af British Energy, der har lejet reaktorer af Ontario Power Generation
Bq	Becquerel, aktivitetsenhed (ét henfald pr. sekund)
BREST	Russisk hurtigreaktorprojekt med bly-vismut-køling
BRS	Beredskabsstyrelsen
BWR	Boiling Water Reactor, kogendevandsreaktor
CAMECO	Canadisk mineselskab
CANDU	Canadian Deuterium Uranium, den canadiske tungtvandsreaktor af trykrørstypen
CDU	Christlich-Demokratische Union, tysk politisk parti
CEA	Commissariat a l'Énergie Atomique, den statslige, franske forskningsorganisation for kerneenergi
CEZ	Det tjekkiske el-selskab
Ci	Curie, aktivitetsenhed (=$3{,}7\times10^{10}$ Bq)
CNSC	Canadian Nuclear Safety Commission. Canadas myndighed for reaktorsikkerhed og strålingsbeskyttelse
COGEMA	Compagnie Generale des Matieres Nucleaires, statsligt fransk firma for nukleare materialer
CONEL	Rumænsk el-selskab med ikke-nukleare værker
CO_2	Kuldioxid
CSN	Consejo de Seguridad Nuclear, den spanske reaktorsikkerhedsorganisation
DD	Dansk Dekommissionering
DMI	Danmarks Meteorologiske Institut
DOE	Department of Energy, det amerikanske energiministerium
DR 1	Dansk Reaktor 1, forsøgsreaktor på Risø
DR 2	Dansk Reaktor 2, forsøgsreaktor på Risø

DR 3	Dansk Reaktor 3, forsøgsreaktor på Risø
DTU	Danmarks tekniske Universitet
D_2O	Tungt vand
EBRD	European Bank for Reconstruction and Development, den europæiske udviklingsbank for Central- og Østeuropa
EdF	Electricité de France, det statslige franske el-selskab
EIS	Environmental Inpact Statement, vurdering af miljøpåvirkning
EnBW	Energie Baden-Würtemberg AG, tysk el-selskab
EPA	Environmental Protection Agency, USA's miljøstyrelse
EPR	European Pressurized Reactor, trykvandsreaktor under udvikling i et samarbejde mellem Framatome og Siemens
ESKOM	Sydafrikansk el-selskab
EU	Den Europæiske Union
EURDEP	European Union Radioactivity Data Exchange Platform
EURODIF	Fransk berigningsfirma (diffusionsanlæg)
FBR	Fast Breeder Reactor, hurtig formeringsreaktor
FDMT	Food chain and Dose Module Terrestrial
GAN	Gosatomnadzor, Ruslands reaktorsikkerhedsmyndighed
GAO	General Accounting Office, den amerikanske kongres' kontrolorgan
GCR	Gas Cooled Reactor
GPS	Global Positioning System
GRS	Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit, tysk reaktorsikkerhedsmyndighed
GSF	Forschungszentrum für Umwelt und Gesundheit, tysk forskningscenter
GW	Gigawatt. 1 GW = 1000 MW
GWe	Gigawatt elektrisk
GWd	Gigawatt-dag
GWh	Gigawatt-time
G-7	USA, Japan, Tyskland, Frankrig, UK, Italien, Canada og Rusland
He	Helium
HEU	Highly Enriched Uranium, højt beriget uran, ca. 90% ^{235}U
HPLWR	High Performance Light Water Reactor
HTGR	High Temperature Graphite Reactor
IAEA	International Atomic Energy Agency, FN's kerneenergiorganisation
IFE	Institutt for Energiteknikk, norsk forskningsinstitut
INB	Industrias Nucleares do Brazil, brasiliansk mineselskab
INES	International Nuclear Event Scale, international skala for kerneenergiuheld
IU	Izquierda Unida, spansk politisk parti
JVI	Joint Venture Inkai, canadisk-kazakhstansk mineselskab
KEPCO	Korean Electric Power Company, Sydkorea
KFA	Kernforschungsanstalt, Jülich, Tyskland
KFKI	Forskningsinstitut for kerneenergi i Ungarn
KNGP	Korean Next Generation nuclear Power plant
KNSP	Korean Nuclear Standard Power plant
kWe	kilowatt elektrisk
kWh	kilowatt-time
KWU	Kraftwerkunion, Siemens datterselskab
lb.	Engelsk pund, lig 0,454 kg
LEU	Low Enriched Uranium, lavt beriget uran, 2-5% ^{235}U
LOCA	Loss Of Coolant Accident, tab af kølemiddel-uheld
LSMC	Local Scale Model Chain
LWR	Light Water Reactor, letvandsreaktor

MDF	MOX Demonstration Facility
MDS Nordion	Canadisk producent af radioisotoper til medicinsk brug
MINATOM	Det russiske kerneenergiministerium
MKER	Ny, russisk udgave af RBMK-typen
MoU	Memorandum of Understanding, hensigtserklæring
MOX	Mixed OXide fuel, reaktorbrændsel fremstillet af en blanding af plutonium- og urandioxid
MW	Megawatt 1 MW = 1000 kW
MWe	Megawatt elektrisk
MWt	Megawatt termisk
NEA	Nuclear Energy Agency, OECD's kerneenergiorganisation
NEK	Natsionalna Electricheska Kompania, det bulgarske el-selskab
NOK	Norske kroner
NPP	Nuclear Power Plant, kernekraftværk
NPT	Non Proliferation Treaty
NRC	Nuclear Regulatory Commission, USA's reaktorsikkerhedsmyndighed
NRU	Canadisk 200 MW forskningsreaktor med tungtvandsmoderator
NT	New Technology
OECD	Organisation for Economic Co-operation and Development
OPG	Ontario Power Generation, canadisk el-selskab (alias Genco)
OSPAR	Oslo og Paris konvention til beskyttelse af det marine miljø i Nordøstatlanten med deltagelse af 15 lande.
PBMR	Pebble Bed Modular Reactor, sydafrikansk reaktorprojekt
PECO	Pennsylvania Power and Light, amerikansk el-selskab
PFR	Prototype Fast Reactor, nedlukket hurtigreaktor i Skotland
PP	Partido Popular, spansk politisk parti
PSOE	Partido Socialista Obrero Espanol, spansk politisk parti
PWR	Pressurized Water Reactor, trykvandsreaktor
RAO ESS	Russisk el-netselskab
RBMK	Reaktor-stor-effekt-kanaltype, russisk reaktor med grafit moderator og kogendevandskøling (Tjernobyl-typen)
REA	RosEnergoAtom, russisk kernekraftselskab
RENEL	Det rumænske nationale el-selskab
RODOS	Real time On-line DecisiOn Support system for nuclear emergency management
RPV	Reactor Pressure Vessel, reaktortryktank
RWE	Rheinisch-Westfalisches Elektrizitätswerk, tysk el-selskab
SE	Slovenské Elektrárne, slovakisk el-selskab
SFR	Svensk Förvar for Reaktoravfall, svensk affaldsdeponi
SILEX	Separation of Isotopes by Laser EXitation, australsk forsøg med laserberigning
SKI	Statens kärnkraftinspektion, den svenske reaktorsikkerhedsmyndighed
SNG	Statssamfundet af uafhængige stater, rammeorganisation for de fleste af de stater, der tidligere udgjorde Sovjetunionen
SNN	Societatea Nationala Nuclearelectrica, rumænsk kernekraftselskab
SPD	Sozialdemokratische Partei Deutschlands, tysk politisk parti
SPDS	Safety Parameter Display System, system til hurtig detektering af driftsforstyrrelser
SQL	Structured Query Language
SSI	Statens StrålskyddsInstitut (Sverige)
SUJB	Tjekkisk reaktorsikkerhedsmyndighed
SWR	Simplified Water Reactor, Siemens udgave af kogendevandsreaktoren

SWU	Separative Work Unit, enhed for separativt arbejde ved berigning
TENEX	Russisk uran- og berigningshandelsfirma under MINATOM
THTR	Thorium High Temperature Reactor, tysk, nu nedlukket reaktor
TVA	Tennessee Valley Authority
TVEL	Russisk reaktorbrændselsproducent
TVO	Teollisuuden Voima Oy, finsk el-selskab
TWh	Terawatt-time. 1 TWh = 1 milliard kWh
U	Uran
^{235}U	Uran-235, spaltelig uranisotop
^{238}U	Uran-238, spaltelig uranisotop
UF_6	Uranhexaflurid, "hex"
UK	United Kingdom
UKAEA	United Kingdom Atomic Energy Authority
UNIX	Operativsystem for større computere
U_3O_8	Uranilte, "yellow cake"
URENCO	Engelsk-hollandsk-tysk berigningsfirma (centrifuger)
USEC	United States Enrichment Corporation, amerikansk berigningsfirma (diffusionsanlæg)
VEW	Vereinigte Elektrizitäts-Werke Westfalen AG, tysk el-selskab
VTT	Valtion Teknillinen Tutkimuskeskus, finsk teknologisk forsknings-center
VVER	Vand vand energi reaktor, russisk udgave af trykvandsreaktoren
VVM	Vurdering af Virkninger på Miljøet
WANO	World Association of Nuclear Operators
WENRA	Western European Nuclear Regulators Association
WIPP	Waste Isolation Pilot Plant, amerikansk, geologisk lager for militært, langlivet radioaktivt affald
WPS	Wisconsin Public Services Corp., amerikansk el-selskab

Bibliographic Data Sheet **Risø-R-1248(DA)**

Title and author

International Nuclear Power Status 2000 (in Danish)

Edited by B. Lauritzen, B. Majborn, E. Nonbøl and P.L. Ølgaard

ISBN	ISSN
87-550-2841-1	0106-2840
87-550-2843-8 (Internet)	1395-5101

Department or group	Date
Nuclear Safety Research	March 2001

Groups own reg. number(s)	Project/contract No(s)

Pages	Tables	Illustrations	References
86		26	

Abstract (Max. 2000 characters)

This report is the seventh in a series of annual reports on the international development of nuclear power with special emphasis on reactor safety.
For 2000, the report contains:
- General trends in the development of nuclear power
- Deposition of low-level radioactive waste
- Statistical information on nuclear power production (in 1999)
- An overview of safety-relevant incidents in 2000
- The development in Sweden
- The development in Eastern Europe
- The development in the rest of the world
- Trends in the development of reactor types
- Trends in the development of the nuclear fuel cycle

Descriptors INIS/EDB

AFRICA; ASIA; AUSTRALIA; BWR TYPE REACTORS; EASTERN EUROPE; FAST REACTORS; FUEL CYCLE; GAS COOLED REACTORS; HEAVY WATER MODERATED REACTORS; LOW-LEVEL RADIOACTIVE WASTES; NORTH AMERICA; NUCLEAR POWER PLANTS; NUCLEAR POWER; PWR TYPE REACTORS; RADIOACTIVE WASTE DISPOSAL; REACTOR ACCIDENTS; REACTOR SAFETY; REVIEWS; SOUTH AMERICA; SWEDEN; WESTERN EUROPE

Available on request from Information Service Department, Risø National Laboratory,
(Afdelingen for Informationsservice, Forskningscenter Risø), P.O.Box 49, DK-4000 Roskilde, Denmark.
Telephone +45 46 77 40 04, Telefax +45 46 77 40 13