RISØ

Risø-R-1547(DA)

Kernekraft og nuklear sikkerhed 2005

Redigeret af B. Lauritzen og P.L. Ølgaard



Forskningscenter Risø
Roskilde
Danmark
Marts 2006

Risø-R Report

Forfatter: B. Lauritzen og P.L. Ølgaard (eds.), D. Kampman, B. Majborn, E. Nonbøl, og P.E. Nystrup
Titel: Kernekraft og Nuklear sikkerhed 2005
Afdeling: NUK

Risø-R-1547(DA)
Marts 2006

Resume (max. 2000 char.):

Rapporten er den tredje rapport i en serie af årlige rapporter om kernekraft og nuklear sikkerhed. Rapporten er udarbejdet af medarbejdere ved Forskningscenter Risø og Beredskabsstyrelsen og omhandler den internationale udvikling inden for kernekraft med særlig vægt på sikkerhedsmæssige forhold og nukleart beredskab. Rapporten for 2005 dækker følgende emner: Status for kernekraftens el-produktion, regionale tendenser, udvikling af nye reaktorer og beredskabssystemer, sikkerhedsrelaterede hændelser ved kernekraft samt internationale forhold og konflikter.

ISSN 0106-2840
ISSN 1603-9408
ISSN 1604-4177
ISBN 87-550-3505-1

Kontrakt nr.:

Gruppens reg. nr.:

PSP 10008-04

Sponsorship:

Forside :

Billede af Barsebäck-værket i Sverige, taget den 31. maj 2005.
Kilde: Barsebäck-værket.

Sider: 43
Tabeller: 3
Referencer:

Forskningscenter Risø
Afdelingen for Informationsservice
Postboks 49
DK-4000 Roskilde
Danmark
Telefon +45 46774004
bibl@risoe.dk
Fax +45 46774013
www.risoe.dk

Indhold

Forord 4

1 International kernekraftstatus 5
1.1 Kernekraftens el-produktion 5
1.2 Regionale tendenser 5

2 Udvikling af reaktorer og sikkerhed 22
2.1 Reaktorudviklingen 22
2.2 Udvikling af beredskabssystemer 28

3 Nuklear sikkerhed 31
3.1 Sikkerhedsrelaterede hændelser ved kernekraft 31
3.2 Internationale forhold og konflikter 33

APPENDIKS A: INES, den internationale skala for uheld på nukleare anlæg 36

APPENDIKS B: Internationale organisationer 38

APPENDIKS C: Anvendte forkortelser 41

Forord

”Kernekraft og nuklear sikkerhed 2005” er den tredje rapport i en serie af årlige rapporter om kernekraft og nuklear sikkerhed. Rapporten er udarbejdet i samarbejde mellem Forskningscenter Risø og Beredskabsstyrelsen og har til formål at informere myndigheder, medier og offentlighed om den internationale udvikling inden for kernekraft med særlig vægt på sikkerhedsmæssige forhold og nukleart beredskab.

Rapporten for 2005 dækker følgende emner: Status for kernekraftens el-produktion, regionale tendenser, udvikling af reaktorer og beredskabssystemer, sikkerhedsrelaterede hændelser ved kernekraft samt internationale forhold og konflikter.

Følgende medarbejdere fra Risø og Beredskabsstyrelsen (BRS) har bidraget til denne rapport med de afsnit, der er nævnt i parentes efter deres navn:

Dan Kampmann	BRS	(2.2 og 3.1)
Poul Erik Nystrup	BRS	(1.2)
Bent Lauritzen	Risø	(1.1 og 1.2)
Benny Majborn	Risø	(1.2)
Erik Nonbøl	Risø	(1.1, 1.2 og 2.1)
Povl L. Ølgaard	Risø	(1.2 og 3.2)

1 International kernekraftstatus

1.1 Kernekraftens el-produktion

Kernekraften står for ca. 15 % af verdens elproduktion, og den største kernekraftkapacitet findes i den industrialiserede del af verden, specielt i Vesteuropa, Nordamerika og Japan. Ved udgangen af 2005 var den samlede installerede kernekrafteffekt 369 GWe, hvilket er en stigning på ca. 1 % i forhold til 2004. Den producerede elektriske energi fra kernekraft i 2004 var 2620 TWh, en stigning på ca. 3 % fra 2003. Stigningen i den producerede energi skyldes især, at reaktorerne i Canada, Japan og USA havde færre driftsstop i 2004 end i 2003. I Figur 1.1 er udviklingen i den producerede elektriske energi fra kernekraft vist for perioden 1983 til 2004.

Ved starten af 2006 var der 443 kernekraftenheder i drift. To enheder blev lukket i 2005: Barsebäck-2 i Sverige på 600 MWe og Obrigheim i Tyskland på 350 MWe, mens fire nye enheder blev sat i drift: Higashidori-1, en BWR-enhed på 1070 MWe, og Shika-2, en ABWR-enhed på 1300 MWe, begge beliggende i Japan, Terapur-4 i Indien, en PHWR-enhed på 500 MWe, og Ulchin-6 i Sydkorea, en PWR-enhed på 1000 MWe. Desuden blev Pickering-1 i Canada, en CANDU enhed på 520 MWe, genstartet efter at have været ude af drift siden slutningen af 1997. Hovedparten af kernekraftenhederne er forsynet med letvandsreaktorer: Ud af de 443 reaktorer er der 269 trykvandsreaktorer og 91 kogendevandsreaktorer. Tungtvands-reaktorerne udgør 41 enheder, de gaskølede 23, den russiske RBMK 16 og hurtigreaktorerne 3.

I 2005 blev byggeriet af tre nye enheder påbegyndt, Chasnupp-2 i Pakistan, en PWR-enhed på 300 MWe, Lingao-3 i Kina, en PWR-enhed på 1000 MWe, og Olkiluoto-3 i Finland, en PWR-enhed på 1600 MWe. Dermed er der i alt 24 kraftreaktorer under bygning verden over.

Tabel 1.1 viser den regionale fordeling af kernekraftenhederne samt den installerede kernekrafteffekt, og i Tabel 1.2 er fordelingen på de enkelte lande vist. Den installerede effekt er beregnet pr. 1/1 2006. Endvidere er vist kernekraftens el-produktion i 2004 og dens procentvise andel af den totale el-produktion.

Globalt set tegner der sig et billede af, at kernekraften vil blive kraftigt udbygget i de kommende år. Kina og Indien planlægger begge store udvidelser af kernekraftkapaciteten, Kina regner således med at øge kapaciteten til 40.000 MWe inden 2020, og Indien planlægger en forøgelse på 20.000 MWe eller mere, også inden år 2020. Rusland ønsker at fordoble sin kernekraftkapacitet inden 2020.

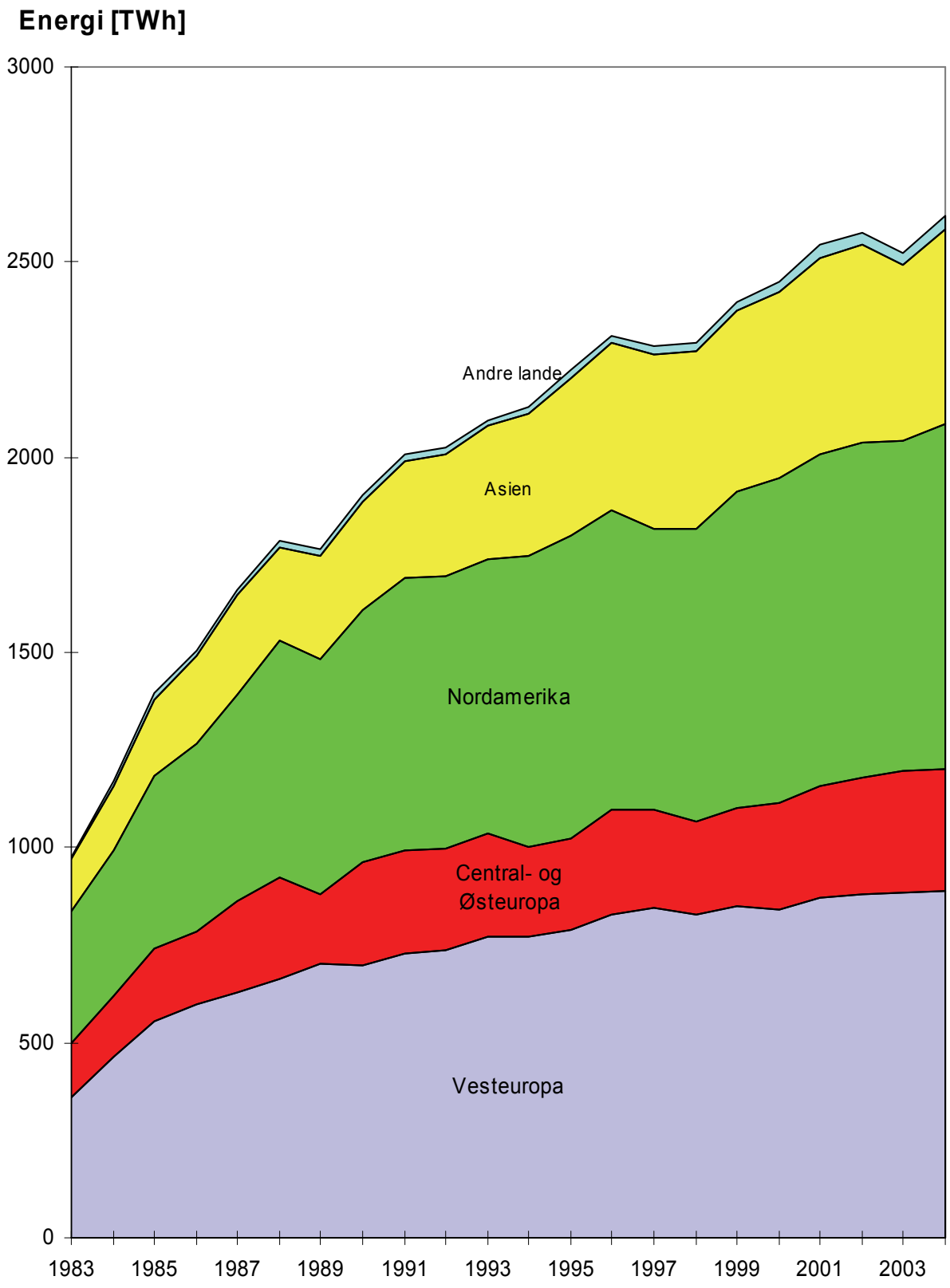
Tabel 1.1. Antal kernekraftenheder, installeret effekt og produceret elektrisk energi samt kernekraftens andel af el-produktionen i forskellige regioner i verden.

	Antal enheder (1/1-2006)	Installeret effekt (GWe) (1/1-2006)	Produceret energi 2004 (TWh)	Andel af el-produktion 2004 (%)
Vesteuropa	135	124,2	890,5	31,4
Central- og Østeuropa	69	48,2	310,1	19,0
Nordamerika	124	113,2	884,5	18,3
Asien	109	79,6	500,5	10,5
Andre lande	6	4,6	33,1	-
Globalt	443	369,8	2618,6	15,3

I USA har udbygningen af kernekraft reelt været standset siden ulykken på Three Mile Island i Pennsylvania i 1979, og i Europa siden ulykken på Tjernobyl-værket i Ukraine i 1986. I Europa har flere lande påbegyndt afvikling af kernekraften eller planlægger at gøre dette. Men med det finske byggeri af Olkiluoto-3 og franske planer om at bygge en EPR-enhed ved Flamanville synes denne udvikling vendt, og der tales om en renæssance for kernekraft. I Østeuropa er flere lande, bl.a. Polen, positivt indstillede over for at indføre eller udvide kernekraftproduktionen, og i USA har regeringen i 2005 vedtaget en støttepakke til fordel for firmaer, der ansøger om tilladelse til at bygge nye kernekraftenheder.

Tabel 1.2. Antal kernekraftenheder, installeret effekt og produceret energi samt kernekraftens andel af el-produktionen i de enkelte lande.

	Antal enheder (1/1-2006)	Installeret effekt (GWe) (1/1-2006)	Produceret energi 2004 (TWh)	Andel af el-produktion 2004 (%)
Vesteuropa				
Belgien	7 PWR	5,8	44,8	55,1
Finland	2 BWR, 2 VVER	2,7	21,8	26,6
Frankrig	1 FBR, 58 PWR	63,3	426,8	78,1
Holland	1 BWR	0,5	3,6	3,8
Tyskland	6 BWR, 11 PWR	20,3	158,4	32,1
Schweiz	2 BWR, 3 PWR	3,2	25,4	40,0
Spanien	2 BWR, 7 PWR	7,6	60,9	22,9
Storbritannien	1 PWR, 8 GCR, 14 AGR	11,9	73,7	19,4
Sverige	7 BWR, 3 PWR	8,9	75,0	51,8
Central- og Østeuropa				
Armenien	1 VVER	0,4	2,2	38,8
Bulgarien	4 VVER	2,7	15,6	41,6
Litauen	1 RBMK	1,2	13,9	72,1
Rumænien	1 PHWR	0,7	5,1	10,1
Rusland	15 RBMK, 15 VVER, 1 FBR	21,7	133,0	15,6
Slovakiet	6 VVER	2,4	15,6	55,2
Slovenien	1 PWR	0,7	5,2	38,9
Tjekkiet	6 VVER	3,5	26,3	31,2
Ukraine	15 VVER	13,1	81,8	51,1
Ungarn	4 VVER	1,8	11,2	33,8
Nordamerika				
Canada	18 PHWR	12,6	85,3	15,0
Mexico	2 BWR	1,4	10,6	5,2
USA	69 PWR, 35 BWR	99,2	788,6	20,0
Asien				
Indien	2 BWR, 13 PHWR	3,1	15,0	2,8
Japan	23 PWR, 32 BWR, 1FBR	47,8	273,8	29,3
Kina	7 PWR, 2 PHWR, 1 HTGR	6,6	47,8	2,2
Pakistan	1 PWR, 1 PHWR	0,4	1,9	2,4
Sydkorea	16 PWR, 4 PHWR	16,8	124,0	38,0
Taiwan	6 PWR	4,9	37,9	20,9
Andre lande				
Argentina	2 PHWR	0,9	7,3	8,2
Brasilien	2 PWR	1,9	11,5	3,0
Sydafrika	2 PWR	1,8	14,3	6,6



Figur 1.1. Udviklingen i den samlede producerede energi fra kernekraft inden for forskellige geografiske regioner.

1.2 Regionale tendenser

Vesteuropa

I alt ni lande i Vesteuropa har kernekraft: Belgien, Finland, Frankrig, Holland, Tyskland, Schweiz, Spanien, Storbritannien og Sverige. I fire af disse lande enten udfases eller planlægges det at afvikle kernekraften (Sverige, Tyskland, Belgien og Spanien), hvorimod den udbygges i Finland, og i Frankrig er der aktuelle planer om det samme. I Holland har den tidligere regering stræbt efter at nedlægge landets eneste kernekraftenhed, men den nuværende regering har besluttet at tillade fortsat drift af værket. I Storbritannien ventes regeringen i 2006 at tage stilling til, hvorvidt landet skal erstatte en aldrende park af kernekraftenheder med nybyggeri af kernekraft eller skal gennemføre en de facto afvikling.

Finland

Elselskabet TVO fik i februar 2005 byggetilladelse til Olkiluoto-3 enheden, der dermed bliver landets femte kernekraftenhed. Enheden leveres som et nøglefærdigt anlæg af et Areva/Siemens konsortium og er baseret på datterselskabet Framatome ANP's EPR-design. Enheden får en kapacitet på ca. 1600 MWe og har en samlet byggepris på ca. 3 mia. euro. I byggetilladelsen specificeres en maksimal udbrænding på 45.000 MWd/tU, hvilket er en reduktion i forhold til det ansøgte 50.000 MWd/tU. Pga. ændrede krav til betonfundamentet blev byggeriet forsinket i 2005, men dette ventes dog ikke at påvirke den samlede tidsplan for enheden, som forventes færdig i april 2009.

Næsten samtidig med at byggetilladelsen til Olkiluoto-3 blev givet, annoncerede transmissionsselskaberne Fingrid og Svenska Kraftnät at de vil etablere en 800 MW søkabel-forbindelse fra det vestlige Finland til Sverige til forventet færdiggørelse i 2010. Kabelforbindelsen blev oprindelig begrundet i ønsket om at kunne overføre ekstra kraft til Sverige. Beslutningen er blevet kritiseret af kernekraftmodstandere i Sverige som værende uforenelig med svensk afvikling af kernekraft.

Principbeslutningen fra 2003 om at tillade opførelsen af Finlands femte reaktor kan bane vejen for, at Finland også opfører landets sjette kernekraftenhed. Både fra politisk og fra industriel side udvises interesse for fortsat udbygning af kernekraft, og Finlands elektricitets-intensive industri presser på for at få bygget en sjette enhed til grundlastproduktion. Industriforbruget af el stiger årligt med ca. 1.5 %. Hvis det besluttes at opføre den sjette kernekraftenhed, vil den formentlig blive bygget i tilknytning til Loviisa-værket i det syd-østlige Finland.

Frankrig

Frankrig har med en installeret kapacitet på 63.000 MWe fordelt på 59 enheder Vesteuropas største el-produktion fra kernekraft. I 2005 blev tre af Frankrigs 900 MW enheder opgraderet med hver 30 MWe.

Electricité de France (EdF), der er operatør af de franske kernekraftværker, blev i 2005 delvist privatiseret, med salg af 15 % af aktierne til private investorer og medarbejdere. Det begrænsede salg betyder, at den franske stat beholder kontrollen med selskabet.

EdF planlægger at bygge en ny kernekraftenhed, Flamanville-3, baseret på det fransk-tyske Framatome ANP's EPR-design. I tilknytning til Flamanville-projektet gennemfører den franske regering i 2005/06 tre nationale, offentlige debatter om kernekraft. Den første debat angår direkte Flamanville-3 projektet og skal bl.a. belyse elektricitetsbehovet, de miljø- og sundhedsmæssige risici ved værket samt de sociale og økonomiske aspekter. Debatten, der har deltagelse af myndigheder,

industri samt miljø- og interesseorganisationer, skal danne grundlag for en endelig beslutning om opførelse af enheden. Efter afslutning på debatten kan EdF ansøge om konstruktions- og driftstilladelse til denne. De to andre nationale debatter vedrører en planlagt højspændingsledning fra værket samt behandling og bortskaffelse af radioaktivt affald i Frankrig.

Flamanville-3 enheden kommer ikke i udbud, da EdF har lagt sig fast på at bygge en EPR-enhed. Denne bygges som en demonstrations-enhed med henblik på fremtidig opførelse af en serie af EPR-enheder til erstatning for ældre enheder, der skal dekommissioneres. Fra ca. 2020 regner EdF med, at der bliver behov for at opføre en til to EPR-enheder årligt. Som argument for at basere kernekraften på EPR-designet anfører EdF, at affaldsproduktionen er ca. 30 % mindre end ved de eksisterende franske 1300 MWe PWR-enheder, at den kollektive dosis er ca. 50 % mindre, og at enhedens tilgængelighed forventes at blive ca. 91 %, mod gennemsnitligt 84 % ved eksisterende værker. En egentlig udbygning af kernekraften i Frankrig kommer næppe på tale, da kernekraft allerede udgør ca. 78 % af elproduktionen, og yderligere udbygning vil føre til en nedsat kapacitetsudnyttelse og dermed gøre værkerne mindre rentable.

Flamanville-3 forventes at få en kapacitet på ca. 1700 MWe, lidt større end den finske EPR-enhed ved Olkiluoto, og investeringen i Flamanville-3 enheden er anslået til ca. 3 mia. euro, i lighed med den finske enhed. Ved bygning af en enkelt EPR-enhed bliver elproduktions-prisen ca. 43 euro/MWh (32 øre/kWh), baseret på 40 års levetid, mens elprisen for en serie på 10 enheder vil blive ca. 35 euro/MWh (26 øre/kWh) inkl. design- og udviklingsomkostninger. I modsætning til Finland, hvor kernekraftenheden leveres som et nøglefærdigt anlæg af et Areva/Siemens konsortium, vil EdF selv være direkte involveret i både ansøgningsfasen og opførelsen af Flamanville-3 enheden. EdF ventes at afgive bestilling på enheden i 2006, og med en konstruktionsstart i 2007 kan enheden stå færdig i 2012.

Ud over den franske og den finske EPR-enhed, der allerede er under opførelse, arbejder Framatome ANP på at eksportere EPR-enheder til en række lande. Areva (moderselskab til Framatome ANP) har budt på konstruktionen af op til fire EPR-enheder i Kina, og i USA har Areva indledt forhandlinger med NRC om godkendelse af EPR-designet, tilpasset amerikanske standarder og baseret på 60 års design-levetid.

I 2005 blev det efter næsten tre års forhandlinger besluttet at bygge den eksperimentelle fusionsreaktor ITER ved Cadarache i Sydfrankrig. ITER-konsortiet er et samarbejde mellem EU, Kina, Japan, Rusland, Sydkorea, USA og fra december 2005 også Indien, der sigter på fremtidig udnyttelse af fusions-energi. Byggeriet af reaktoren ventes påbegyndt i 2006, og reaktoren vil være funktionsklar i 2014 eller 2015. Ca. 10 år senere vil energiproduktionen have nået sit maksimum. Anlægget forventes at koste ca. 10 mia. euro, hvoraf ca. 5 mia. euro udgør konstruktionsomkostninger mens de resterende 5 mia. euro dækker 30 års driftsomkostninger. EU vil dække ca. 50 % af de samlede omkostninger.

Holland

Hollands nuværende centrum-højre regering besluttede i sit regeringsgrundlag fra 2003, at Borsseleværket, der er landets eneste kernekraftenhed, skulle lukkes i 2013 efter 40 års drift. Borsseleværkets ejer, EPZ, ønsker derimod at fortsætte driften indtil 2033 eller længere. Borsseleværket har en tidsubegrænset driftstilladelse, og det har vundet flere retssager mod den tidligere regering, der ønskede at lukke værket allerede i 2003.

Den nuværende lovgivning giver ikke grundlag for at lukke værket uden økonomisk kompensation. Med udsigten til et økonomisk erstatningskrav i størrelsesordenen 1

mia. euro eller mere, indgik regeringen i begyndelsen af 2006 en aftale med EPZ om fortsat drift af Borssele indtil 2033, mod at EPZ bidrager med ca. 250 mio. euro til udvikling af bæredygtig energi.

Schweiz

Kernekraftenheden Mühleberg, hvis driftstilladelse udløber i 2012, har ansøgt om at få en tidsubegrænset driftstilladelse. Hvis ansøgningen imødekommes, vil Schweiz' fem kernekraftenheder alle have opnået tidsubegrænsede driftstilladelser.

Spanien

Spanien indførte allerede i 1984 et moratorium på bygning af kernekraftenheder, og op til parlamentsvalget i 2004 gjorde socialistpartiet PSOE afvikling af kernekraften til et valgtema. Efter valget har Spaniens centrum-venstre regering under ledelse af PSOE fornyet sit løfte om at afvikle kernekraften. Et beslutningsforslag fra maj 2005 om øjeblikkelig lukning af Spaniens næstældste kernekraftenhed, Garona BWR, og lukning af de resterende enheder inden for seks måneder blev nedstemt i parlamentet. Derimod blev det besluttet at indlede forhandlinger med repræsentanter for industrien, forsyningsselskaberne samt fagforeningerne om en gradvis afvikling af kernekraften. Som det eneste parti modsatte det konservative PP (Partido Popular) sig denne beslutning. Spanien har i alt 9 kernekraftenheder i drift.

Storbritannien

Kernekraft udgør knap 20 % af den britiske elproduktion, men produktionen fra kernekraft vil være halveret i 2014, og efter 2025 vil kun trykvandsenheden Sizewell-B være i drift. Specielt de ældre Magnox-enheder er under udfasning, og af oprindelig 26 enheder er i dag kun otte i drift. De tilbageværende er Dungenes A (2 x 225 MWe) og Sizewell-A (2 x 210 MWe), som står til at blive lukket i 2006, Oldbury (2 x 217 MWe), som lukkes i 2008, samt Wylfa (2 x 490 MWe), der skal lukkes i 2010. Storbritannien står dermed over for valget mellem at udbygge kernekraft til erstatning for den aldrende park af reaktorer, eller på anden måde erstatte den manglende kapacitet, f.eks. gennem nybyggeri af gasfyrede kraftværker.

I alt vil Storbritannien inden 2020 have dekommissioneret kulfyrede kraftværker og kernekraftværker svarende til 30 % af landets elforsyning. I et oplæg til en energi-udredning, som skal gennemføres i første halvdel af 2006, lægger regeringen op til, at erstatning for denne produktion delvist skal bestå af kernekraft. Dette repræsenterer et holdningsskift i forhold til regeringens hvidbog fra 2003, hvor fokus for den fremtidige energiforsyning var rettet mere entydigt mod vedvarende energi samt energibesparelser.

Det statsejede BNFL overdrog i april 2005 oparbejdningsanlæggene i Sellafield samt de britiske Magnox-enheder til datterselskabet British Nuclear Group (BNG). BNG har dermed 14.000 ansatte og står for driften af i alt 18 af Storbritanniens nukleare anlæg. Et hovedsigte for BNG er at varetage dekommissioneringen af de nukleare anlæg, en opgave der over de næste 75 år anslås at koste 56 mia. GBP. BNFL har i 2005 annonceret planer om at frasælge BNG, hvilket ventes at styrke BNFL's konkurrenceevne internationalt, men vil kræve regeringens forudgående accept.

Det kriseramte British Energy (BE), der er operatør af de nyere AGR-enheder samt Sizewell-B, er blevet rekonstrueret og har fået vendt de sidste års underskud til et forventet overskud i 2005. Medvirkende til det positive resultat er stigende elpriser samt forbedret drift af BE's AGR-enheder. BE's elproduktion i finansåret 2004/05 var på 59.8 mio. MWh, hvilket dog stadig ligger væsentligt under den tidligere rekord på 70 mio. MWh, der blev opnået i 1998/99. BE's virksomhedsstrategi vil i de kommende år have fokus på investeringer i øget produktivitet og forbedret

driftssikkkerhed, samt på at opnå levetidsforlængelse for AGR-reaktorerne. Fem ud af BE's otte kernekraftenheder planlægges nedlagt i perioden 2008-14. BE planlægger ikke investeringer i nye kernekraftenheder.

Storbritanniens "Committee on Radioactive Waste Manamgement" (Corwm) fik i 2003 til opgave at vurdere mulighederne for bortskaffelse af det britiske høj- og mellemaktive radioaktive affald, og har foreløbig reduceret oprindeligt 15 forslag til fire reelle valgmuligheder: 1) Dyb slutdeponering i 300 meter til to kilometers dybde, 2) Dyb deponering med mulighed for at hente affaldet op igen, og 3) Midlertidig opbevaring i et overfladenært lager. Det fjerde forslag er kun relevant for kortlivet affald, hvor der anbefales overfladenær deponering. En endelig rapport fra Corwm ventes medio 2006.

Sverige

Den 31. maj 2005 blev Barsebäck-2 lukket i henhold til den aftale, som i 2004 blev indgået mellem den svenske socialdemokratiske mindretalsregering, Venstrepartiet og Centerpartiet. Dermed endte en årelang strid mellem Danmark og Sverige omkring Barsebäck-værket med dets tætte placering på København. I værkets sidste driftsår nåede enheden at sætte produktionsrekord med 5 TWh, og i løbet af de 30 år værket var i drift, blev der i alt produceret 202 TWh elektricitet på de to enheder.

Værkets nuværende driftstilstand kaldes "udtaget reaktorkerne", d.v.s. at uranbrændslet er fjernet fra reaktorerne. Denne tilstand vil fortsætte til sommeren 2006, hvor samtlige 444 brugte brændselselementer vil være transporteret til mellemlageret for brugt brændsel i Oskarshamn. Værket overgår herefter til "servicedrift", hvor ca. 40 personer vil være tilbage på anlægget for at planlægge forløbet af dekommissioneringen. Den egentlige nedrivning af Barsebäck-værket vil først starte i 2020, når et nyt deponi for brugte reaktorkomponenter står færdigt. Nedrivningen forventes afsluttet i 2030.

Statens erstatning til Sydkraft (nu E.ON Sverige) for lukningen af Barsebäck-værkets to enheder udgør knap 10 mia. sv. kr, der udredes i form af en ejerandel af Ringhalsværket (værdi ca. 6,7 mia. kr) samt 2,6 mia. kr til dækning af de ekstra udgifter, der er forbundet med servicedriften frem til 2017, tidspunktet for udløbet af værkets planlagte levetid på 40 år. Ud over erstatningen til Sydkraft vil de samlede omkostninger for den svenske stat ved lukningen af de to Barsebäck-enheder omfatte bortfaldne produktions- og selskabsskatter på ca. 5 mia. kr for perioden indtil 2017.

Sideløbende med lukningen af Barsebäck-værket planlægges effektforøgelser på de tre tilbageværende kernekraftværker i Sverige. Ringhals-værkets effekt forøges med 440 MWe, og Forsmark-værket og Oskarshamn-værket forventes forøget med henholdsvis 410 og 250 MWe. I 2011 vil den samlede nukleare effekt dermed være forøget med 1100 MWe, hvilket er lidt mindre end de to lukkede Barsebäck-enheders effekt. Ifølge en ny svensk lov skal alle større industrianlæg miljøvurderes i forbindelse med, at deres driftstilladelser skal fornyes. Ringhals-værket har fået godkendt sin ansøgning om effektforhøjelse under den nye miljølov, og de andre kernekraftværker ventes at følge efter.

I en pressemeddelelse fra den svenske regering i forbindelse med godkendelsen af opgraderingerne hedder det, at det stadig er hensigten at udfase kernekraften, men at dette kun kan ske på langt sigt, hvis man skal undgå sammenbrud af elektricitetsforsyningen. Opgraderingerne er vigtige for at sikre en tilstrækkelig kapacitet og energibalance i en årrække fremover.

De sidste timer på Barsebäck



Den 31/5 2005 blev Barsebäck 2, der har været i drift siden 1977, lukket endeligt ned. Kl. 23.55 lader lederen af natholdet, Gunnar Enkvist, kontrolstavene føre ind i reaktorkernen, således at kernespaltningerne ophører kl. 23.59.

Tyskland

Som et led i den gradvise udfasning af kernekraft i Tyskland blev kernekraftværket Obrigheim lukket den 11. maj 2005. Obrigheim, der er Tysklands ældste PWR-enhed fra 1969 med en kapacitet på 340 MWe, er dermed den første kernekraftenhed i drift, der er blevet lukket som følge af udfasningsaftalen mellem den tidligere regering og elværkerne. To andre enheder er lukket, siden udfasningsaftalen blev indgået i 2000, men den ene, kernekraftenheden Stade på 640 MWe, blev lukket i 2003 af økonomiske årsager, og ved udfasningsaftalens indgåelse blev det endvidere besluttet ikke at genstarte kernekraftenheden Mülheim-Kärlich, en PWR på 1219 MWe. Mülheim-Kärlich værket har været midlertidig lukket siden 1988 efter en domstolskendelse.

Aftalen om gradvis udfasning af kernekraft blev indgået mellem de tyske el-værker og den tidligere regering bestående af SPD og De Grønne. De kristelige demokrater CDU/CSU har på den anden side været erklærede modstandere af aftalen, og det var ventet, at en CDU/CSU regering ville omstøde aftalen eller i det mindste tillade en forlængelse af driften af kernekraftværkerne. Efter valget til forbundsdagen sidst i 2005 kom det som en skuffelse for kernekraftindustrien, at CDU/CSU ikke var i stand til at danne en flertalsregering, men måtte indgå i en koalitionsregering med SPD. I regeringsgrundlaget vedgår regeringspartierne deres forskellige holdninger til kernekraft, men bibeholder udfasningsaftalen. Regeringsgrundlaget indeholder endvidere en hensigtserklæring om, at en beslutning om deponering af radioaktivt affald skal tages inden for den fireårige regeringsperiode.

Udfasningsaftalen indebærer, at kernekraftenhederne skal nedlukkes, når deres produktionskvoter er opbrugt, hvilket typisk vil være efter 40 års drift. Inden for den nuværende regeringsperiode forventes det, at Biblis-A har opbrugt sin produktionskvote i 2008, efterfulgt af Biblis-B, Brunsbüttel og Neckarwestheim-1 i 2009. Udfasningsaftalen giver kraftværkerne mulighed for at overføre kvoter mellem

de enkelte enheder, oprindelig med den hensigt at kunne overføre kvoter fra ældre til nyere enheder. For elværkerne kan det imidlertid være af interesse at overføre kvoter fra nyere til ældre enheder med det formål at udsætte nedlukningstidspunktet af enhederne til efter et eventuelt regeringsskifte. Om det vil vise sig muligt, er et politisk spørgsmål. Centralt for den politiske diskussion vil være lukningen af Biblis-A og Biblis-B pga. disse enheders størrelse. Biblis-A og -B med en installeret effekt på i alt 2500 MWe producerer to tredjedele af delstaten Hessen's elforbrug.

I delstaten Schleswig-Holstein opgraderes kernekraftenheden Krümmel med 67 MWe til i alt 1325 MWe. Den tidligere SPD/De Grønne delstatsregering modsatte sig, at enheden blev opgraderet, men efter at CDU vandt delstatsvalget i april 2005, fik værket tilladelse til at gennemføre effektforøgelsen.

Central- og Østeuropa

Armenien

Armeniens eneste kernekraftenhed, Metsamor-2, dækker ca. 40 % af landets elforbrug. Enheden er forsynet med en VVER-440/230 reaktor, som ikke opfylder de vestlige krav til reaktorindeslutning og nødkøling. Alligevel er Armenien ikke villig til at bøje sig for pres fra EU om at lukke enheden, fordi landet ikke kan undvære den producerede elektricitet. Det russiske el-distributionsselskab RAO-EES er ansvarlig for enhedens økonomi. Værket planlægger med assistance fra Frankrig at udvide det nuværende lager for brugt brændsel.

Bulgarien

Den bulgarske regering har lovet EU at lukke landets sidste to VVER-440/230 enheder, Kozloduy-3 og -4, i 2006, selvom der er stor utilfredshed i landet med denne beslutning. Der er foretaget en omfattende renovering af de to enheder, og det er derfor den almindelige opfattelse, at enhederne lever op til alle rimelige sikkerhedskrav. Men da regeringen ikke vil risikere, at en fortsat drift af de to enheder vanskeliggør Bulgariens optagelse i EU, vil beslutningen om lukning næppe blive omgjort.

I stedet har det bulgarske, statslige el-selskab NEK planer om at bygge en eller to nye kernekraftenheder. Allerede i 1986-87 begyndte man ved Belene at opføre et nyt kernekraftværk, der til slut skulle bestå af fire VVER-1000 enheder. Byggeriet blev imidlertid indstillet i 1991 efter Tjernobyl-ulykken og de politiske omvæltninger i Centraleuropa. På det tidspunkt var 50-65 % af byggearbejdet på den første enhed gennemført. Det er nu hensigten at færdigbygge denne enhed, som, siden byggearbejdet blev indstillet, er blevet godt vedligeholdt. To konsortier har givet tilbud på færdiggørelsen af Belene-1. Det ene ledes af det tjekkiske firma Skoda og inkluderer et par vestlige banker, det andet ledes af det russiske Atomstroyexport og inkluderer Framatome ANP og Siemens. Færdiggørelsen af Belene-1 anslås at ville koste 2-3 mia. USD. Senere kan der blive tale om bygning af endnu en enhed. Det forventes, at kontrakten om færdiggørelsen af Belene-1 vil blive underskrevet i begyndelsen af 2006, men det forudsætter, at den nødvendige kapital kan fremskaffes. Det er tanken, at såvel Belene-værket som Kozloduy-værkets to VVER-1000 enheder skal drives af et nyt aktieselskab, New Nuclear Company (NNC), hvori den bulgarske stat vil have aktiemajoriteten. De to nye enheder planlægges at være i drift i 2011.

Hviderusland

I Hviderusland overvejes det at bygge landets første kernekraftværk for at mindske landets store afhængighed af russisk naturgas. 90 % af landets naturgasforbrug kommer fra Rusland. Der er udvalgt seks mulige placeringer af kernekraftværket, og man vil formentlig vælge enten VVER-640 eller VVER-1000 enheder, men finansieringen af byggeriet vil være et stort problem. Bygning af to VVER-640 enheder skulle være tilstrækkeligt, idet man ikke regner med, at kernekraft skal dække mere end 20 % af landets el-forbrug. En alternativ mulighed er, at Hviderusland går sammen med Rusland om bygning af en eller et par nye enheder ved eksisterende russiske kernekraftværker, f.eks. Smolensk- eller Kursk-værket.

Litauen

Den ene af Ignalina-værkets to kernekraftenheder blev lukket ned d. 31.12.2004, og den anden skal efter aftale med EU lukkes ved udgangen af 2009. For ikke at blive for afhængig af levering af naturgas og elektricitet fra Rusland overvejes det at bygge en ny kernekraftenhed. Man har kontakt til Frankrig i denne forbindelse, men det store problem er finansieringen. Man forhandler med de to andre baltiske lande og Polen om at finansiere projektet i fællesskab. Beslutning om bygning af en ny enhed ventes ikke truffet før i 2007, men Litauens parlament har opfordret regeringen til at fremlægge en konkret plan for udvikling af kernekraft i landet. Hvis det besluttes at bygge en ny enhed, vil den komme til at ligge nær Ignalina-værket. Enheden planlægges i drift mellem 2011 og 2020.

Dekommissionering af Ignalina-værket ventes at strække sig over 30 år. Lukningen af Ignalina-værket giver anledning til væsentlige problemer i lokalområdet p.g.a. personalereduktioner, men bygning af en ny enhed vil mindske problemerne. I 2004 og 2005 er der blevet afskediget 240 ansatte, og i 2006 ventes 200 afskediget.

Ignalina-værket har indgået aftale på 93 mio. euro om bygning af et lager til opbevaring af 18.000 udbrændte brændselselementer fra værkets to enheder. Endvidere er der bestilt et anlæg til behandling af fast, radioaktivt affald til 120 mio. euro. Begge faciliteter er bestilt hos det tyske firma RWE Nukem og finansieres af EBRD. Det forventes, at Litauen i begyndelsen af 2006 vil beslutte hvor et nyt deponi for radioaktivt affald skal placeres. Det skal kunne indeholde 100.000 m^3 lav- og mellemaktivt affald og skal kunne udvides, såfremt en ny enhed bygges. Det skønnes, at deponiet vil koste 150-300 mio. USD, og at det vil blive placeret nær Ignalina-værket. EBRD og EU vil betale for deponiet.

Polen

Den polske regering har meddelt, at man forventer at igangsætte landets første kernekraftenhed omkring 2020. Polen begyndte under Sovjettiden at opføre to VVER-440 enheder ved Zamowie ved Østersøen, men byggeriet blev indstillet efter de politiske omvæltninger i Central og Østeuropa omkring 1990. De to enheder er 60 % færdigbygget. Baggrunden for bygning af kernekraftenhederne er dels hensyn til miljøet, dels at gøre energiforsyningen mere uafhængig af andre lande.

Rumænien

Rumæniens første kernekraftværk, Cernavoda-1, leverede i 2004 12 % af landets el-forsyning. Den næste enhed, Cernavoda-2, forventes i drift i marts 2007. Begge enheder er af CANDU-typen med en effekt på 655 MWe. Det rumænske el-selskab, Nuclearelectrica, har sin egen brændselselementfabrik i Pitesi, og dennes produktionskapacitet er blevet fordoblet for at kunne betjene både Cernavoda-1 og -2. Nuclearelectrica arbejder på at oprette et nyt selskab, der skal finansiere og forestå færdiggørelsen og driften af Cernavoda-3.

Rusland

Det føderale atomenergiagentur, FAEA eller Rosatom, der i 2004 afløste Minatom, planlægger at udskille det russiske el-selskab, Rosenergoatom (REA), som et selvstændigt aktieselskab. Det er også hensigten at opbygge en koncern, der skal bygge kernekraftværker i Rusland og udlandet. Koncernen vil bl.a. komme til at omfatte Atomstroyexport (ASE), der står for eksport af russiske kernekraftenheder, og United Heavy Machinery, der fremstiller tunge komponenter til kernekraftværker.

Rosenergoatom (REA) planlægger at færdigbygge tre kernekraftenheder inden for de næste 5 år: Volgodonsk-2 skal være færdig i 2008, og Kalinin-4 samt Balakovo-5 skal være begge færdige i 2010. Alle er VVER-1000 enheder, d.v.s. forsynet med trykvandsreaktorer. REA planlægger også at opføre nye enheder ved Balakovo-, Smolensk- og Kursk-værkerne. På længere sigt, d.v.s. omkring 2015-16, vil VVER-1000 udgå og blive erstattet af VVER-1500. Den første enhed af denne type ventes opført ved Leningradværket, men senere også ved Novovoronesh, Smolensk og Kursk. Rosatom arbejder også på at levetidsforlænge Kola-, Balakovo-, Leningrad- og Kursk-værkerne. Foreløbig har Kola-1 og Kola-2 enhederne samt Bilibino-1 og -2 enhederne fået deres levetid forlænget med 5 år. Derimod ser det ud til, at det er opgivet at færdigbygge Kursk-5 enheden, som er forsynet med en RBMK-reaktor, selv om 70 % af enheden er færdigbygget. Dette har resulteret i protester i befolkningen i lokalområdet, som frygter, at der vil opstå effektmangel, hvis enheden ikke færdigbygges, inden Kursk-værkets nuværende fire RBMK-enheder lukkes omkring 2015.

Kalinin-3, en VVER-1000 enhed, der blev startet op i december 2004, er kommet i kommerciel drift. Enheden har en designlevetid på 50 år og er forsynet med et nyudviklet kontrolsystem. Det nye system betyder, at Rusland ikke længere ved eksport af kernekraftværker er nødt til at købe vestlige kontrolsystemer. Kalinin-4, også en VVER-1000 enhed, ventes færdig i 2010.

Leningrad-2, en RBMK enhed, blev lukket ned midt på året for at gennemgå en modernisering med henblik på at opnå levetidsforlængelse.

I 2004 konstaterede man revner ved kontrolstavsindføringerne i låget på Ruslands ældste VVER-1000 enhed, Novovoronesh-5. Tilsvarende revner har vist sig ved vestlige trykvandsreaktorer. Det er blevet overvejet at udskifte hele låget, men i stedet blev alle gennemføringer i låget udskiftet. Enheden kom igen i drift i juni 2005.

Byggearbejdet på Beloyarsk-4 i Sverdlovsk-regionen, en hurtig formeringsreaktor af BN-800 typen, blev indledt i 1985, men indstillet efter Tjernobyl-ulykken. Arbejdet er genoptaget, men går kun langsomt fremad p.g.a. begrænsede bevillinger. Ca. 10 % af enheden er bygget, og med de nødvendige bevillinger kan enheden stå færdig om 4-5 år. Beloyarsk-4 skal benytte våbenplutonium som brændsel, og en række forskellige brændselstyper, U-metal, UO_2 og U-nitrit, vil blive afprøvet. Enheden bliver forsynet med en række nye sikkerhedssystemer. Den russiske interesse i hurtige reaktorer skyldes bl.a., at Rusland derved opnår en væsentlig bedre udnyttelse af uranet. Rusland forbruger i dag mere uran, end landet producerer.

Rosatom vil fremme udviklingen af kernekraft, bl.a. ved at udvikle en ny oparbejdningsteknik, og ved udvikling af hurtige reaktorer, herunder den blykølede reaktor BREST, og højtemperaturreaktorer, der er velegnede til brintproduktion. Det planlægges at bygge flydende kernekraftenheder til brug for udviklingen af det arktiske Rusland. Opførelsen af den første flydende enhed er principielt godkendt, og bygningen er planlagt til at begynde i 2006, men der er endnu usikkerhed om finansieringen. Enheden vil blive bygget på SevMash-værftet i Severodvinsk ved ishavskysten og vil blive stationeret sammesteds. Den vil blive udstyret med en videreudviklet version af isbryderreaktorerne, have en effekt på 70 MWe, og ud over

el kunne levere varme og producere ferskvand. Man arbejder også med en 300 MWe enhed til flydende kernekraftværker. Der menes at være mulighed for eksport af sådanne enheder til Kina, Indien og Indonesien.

Rosatom søger at fremme russisk eksport inden for kerneenergisektoren. Rosatom leverer to VVER-1000 enheder, Tianwan-1 og -2, til Tianwan-værket i Kinas østlige Jiangsu-provins. Tianwan-1 skulle have været i drift i 2004, men er blevet forsinket p.g.a. beskadigelse af en dampgenerator under transporten og p.g.a. omfattende myndighedsbehandling. Brændsel er ladet i enhed 1, og kritikalitet ventes opnået i marts 2006. Rosatom bygger i samarbejde med Kina en eksperimentel hurtigreaktor med en termisk effekt på 65 MW ved det kinesiske institut for atomenergi nær Beijing. Reaktoren ventes i drift sidst i 2006. I Iran bygger Rosatom en 1000 MWe kernekraftenhed ved Bushehr-værket. Færdiggørelsen af enheden er blevet forsinket, til dels af politiske grunde, men ventes i drift i 2006. Rosatom håber at kunne levere op til syv kernekraftenheder til Iran, hvoraf fire til seks enheder kan opføres ved Bushehr. Rosastom leverer to VVER-1000 enheder til Kudankulam–værket i Sydindien. Indien har udtrykt interesse om at få leveret yderligere to VVER-1000 enheder til Kudankulam-værket og to enheder til et nyt kraftværk i delstaten Maharashtra. I Indien leverer Rosatom desuden beriget brændsel til de to Tarapur BWR-enheder samt naturligt uranbrændsel til Rajastan-værket. Det leverede brændsel er underkastet IAEA-kontrol.

Fra amerikansk, engelsk og canadisk side har man ydet økonomisk støtte til at fremme nedlukningen af Ruslands tre sidste våbenplutonium-producerende reaktorer, en ved Zheleznogorsk i Krasnoyarsk-regionen og to ved Seversk i Tomsk-regionen. Når de tre enheder ikke allerede er lukket, skyldes det, at de leverer fjernvarme til de nærliggende byer. Den russiske regering overvejer i øvrigt at etablere et lager til opbevaring af udbrændt brændsel fra udlandet i Zheleznogorsk. I forvejen er der store lagre på stedet, og de vil kunne udvides, forudsat at den nødvendige kapital, 5 mia. USD, er til rådighed.

Slovakiet

Den slovakiske regering besluttede i 2004 at sælge 60 % af aktierne i det statslige elselskab, Slovenske Elektrarne, til det italienske el-selskab ENEL for 840 mio. euro, men afskedigelsen af landets finansminister har rejst tvivl om holdbarheden af aftalen.

Slovakiet overvejede efter en ny undersøgelse af sikkerheden på Bohunice-1 at bede EU om tilladelse til at fortsætte reaktorens drift til 2008, så enheden ikke skulle lukke ned i 2006 som tidligere aftalt. Men efter at Bulgarien og Litauen har accepteret deres tilsvarende aftalte nedlukningsdatoer for kernekraftenheder i de to lande, har også Slovakiet opgivet at genforhandle nedlukningsdatoen for Bohunice-1.

De to Bohunice-enheder er holdt uden for aktiesalget til ENEL, og deres videre skæbne er derfor uafhængig af, hvordan det går med aktiesalget.

Tjekkiet

En plan om at udbygge Temelin-værket med to mindre enheder på i alt 1200 MWe er nu blevet udvidet til at omfatte bygning af to enheder, der hver skal have en effekt på 1400-1500 MWe. En international ekspertgruppe fra WANO har besøgt Temelin-værket og har konkluderet, at værket er i god stand og har en veluddannet stab. Der blev ikke konstateret mangler i sikkerhedsforanstaltninger eller i ulykkesforberedelser. Gruppen anbefalede dog, at der indførtes visse forbedringer m.h.t. industriel sikkerhed.

Det tjekkiske el-selskab CEZ planlægger at levetidsforlænge Dukonova-værkets reaktorer frem til 2025 eller evt. længere.

Ukraine

Den nye ukrainske regering har foretaget en del udskiftninger inden for den nukleare sektor. Ukraine planlægger at bygge 11 kernekraftenheder i de næste 25 år, men da det kniber med finansieringen, søger regeringen lån i Vesten.

Der er indgået en aftale med EBRD og Euratom om, at disse yder et lån på 125 mio. USD til sikkerhedsforbedringer på Khmelnitski-2 og Rovno-4. Khmelnitski-2 kom i kommerciel drift i august 2005. For at åbne mulighed for indkøb af brændselselementer fra andre leverandører end det russiske firma TVEL har Sydukraine-værket installeret seks forsøgselementer leveret af Westinghouse. Hvis de nye elementer viser sig at fungere tilfredsstillende, vil yderligere 42 Westinghouse-elementer blive installeret. Westinghouse-elementerne er dog dyrere end TVEL's.

Arbejdet med dekommissioneringen af Tjernobyl-værket fortsætter**.** Sarkofagen omkring den ulykkesramte Tjernobyl-4 enhed er blevet renoveret, således at risikoen for sammenstyrtning af sarkofagen er fjernet. Der har været indhentet tilbud på bygningen af den nye sikkerhedsindeslutning af Tjernobyl-4. Ud fra disse er der udvalgt to konsortier, et ledet af det franske firma Vinci og et ledet af det amerikanske firma CH2M Hill, der skal give endelige tilbud. Den nye indeslutning, der planlægges at stå færdig i 2009, vil bestå af en halvbueformet overdækning, der vil blive bygget ved siden af sarkofagen og derefter rullet hen over den. Indeslutningen vil koste ca. 1 mia. USD.

Der er blevet indgået en kontrakt på 68 mio. euro med Framatome om bygning af en facilitet, ISF-2, til tør opbevaring af udbrændte brændselselementer fra værkets reaktorer. Det har vist sig, at faciliteten kommer til at koste 150 mio. USD og dermed bliver væsentlig dyrere end oprindelig anslået, fordi en del af elementerne er defekte, idet de indeholder vand, og det er vanskeligt at afgøre, hvilke elementer, der er defekte. Dette kan betyde, at alle elementerne skal anbringes i særlige beholdere, hvilket yderligere vil fordyre projektet. Problemerne har givet anledning til forhandlinger mellem Framatome, EBRD og værket for at få fordelt ekstraomkostningerne. Fra værkets side er man i første omgang interesseret i at anbringe alle de udbrændte elementer i det eksisterende ISF-1 lager, et vandbassin fra Sovjettiden, for at kunne komme videre med dekommissionerings-arbejdet. EBRD vil betale størstedelen af udgifterne til dekommissioneringen af værket.

FN har i en rapport opgjort konsekvenserne af Tjernobyl-ulykken. Hidtil har færre end 50 dødsfald direkte kunnet tilskrives ulykken. De fleste dødsfald er forekommet blandt redningspersonalet, der blev sat ind under ulykken, men tallet inkluderer 9 børn, der er døde af skjoldbruskkirtelkræft. Når alle sen-effekter medtages, anslås det, at der blandt redningspersonalet og beboerne i de kontaminerede områder vil komme i alt ekstra 4000 dødsfald.

Ungarn

Paks-værket vil fra 2006 til 2009 øge effekten af værkets fire enheder, således at effekten stiger til 510 MWe pr. enhed. Værket planlægger, og har af parlamentet fået godkendt, en levetidsforlængelse på enhederne, således at de kan fortsætte driften frem til 2032-37.

Paks-2 enheden er igen kommet i drift, efter at den har været nedlukket på grund af et uheld under rensning af bestrålede brændselselementer i et servicebassin nær reaktoren, hvorved 30 brændselselementer blev beskadiget. De beskadigede

elementer vil blive fjernet i andet halvår af 2006. Under arbejdet, som skal foretages af det russiske brændselsfirma TVEL, vil Paks-2 blive lukket ned i 2 måneder.

Ungarn planlægger at bygge et deponi for lav- og mellemaktivt affald i Bataapati-området i Sydungarn. Deponiet planlægges anbragt i en dybde af 200-250 m i en granitformation. Det vil få en kapacitet på 40.000 m^3 og koste 175-200 mio. USD. Det vil blive bygget og drevet af det statslige affaldsselskab Puram og skal være klar til brug i 2008. Befolkningen i området har med stort flertal godkendt placeringen ved en folkeafstemning.

Nordamerika

Canada

En del af Canadas i alt 22 kernekraftenheder har været taget ud af drift i en årrække, men er i løbet af de seneste år blevet sat i stand og driften genoptaget. Pickering-1 blev taget i drift igen 27. september. Selskabet bag kraftværket har derimod besluttet ikke at genstarte enhederne Pickering-2 og -3. Renovering af Bruce-1 og -2 enhederne er påbegyndt, og den første af dem forventes i drift i løbet af 2009. Delstatsregeringen i New Brunswick har besluttet at lade Point Lepreau reaktoren renovere. Den vil blive taget ud af drift april 2006 og forventes færdigrenoveret marts 2008.

Delstatsregeringen i Ontario har offentliggjort en rapport, der anbefaler fortsat brug af kernekraft. Om det skal ske ved renovering af eksisterende anlæg eller bygning af nye reaktorer må besluttes på grundlag af en analyse af omkostningerne ved de to alternativer. Der er i dag en installeret effekt på ca. 11.300 MWe på delstatens kernekraftværker.

Mexico

Laguna Verde-1 og -2 enhederne på tilsammen 1365 MWe skal inden 2010 opgraderes med op til 20 %. Ifølge den mexicanske energistyrelses energiplaner vil Mexico have brug for 40.000 MWe ekstra effekt i løbet af de nærmeste år, hvoraf op til 10.000 MWe foreslås at komme fra nye kernekraftenheder ved Laguna Verde og ved to nye kraftværker.

USA

Browns Ferry-1, der har været ude af drift siden 1985, er under klargøring og forventes taget i drift marts 2007.

Den amerikanske regering indførte i 2003 en mulighed for forhåndsgodkendelse, ESP (Early Site Permit), af brug af pladser til bygning af nye reaktorenheder. Tre konsortier har ansøgt om ESP til at bygge ny enheder ved henholdsvis Grand Gulf, North Anna og Clinton kernekraftværkerne. De tre ansøgninger forventes færdigbehandlet i løbet af 2006 eller i første halvdel af 2007. TVA undersøger mulighederne for at bygge en ny enhed på Bellafonte kernekraftværket.

Den amerikanske reaktorsikkerhedsmyndighed, NRC, principgodkendte i september 2004 Westinghouse's nye AP1000-reaktordesign, og den samlede godkendelsesprocedure blev afsluttet ved udgangen af 2005. Dette betyder at godkendelsesproceduren forkortes, hvis der senere søges om tilladelse til at bygge en reaktor af denne type. General Electric har indgivet en tilsvarende ansøgning for sit ESBWR-design (Economic Simplified Boiling Water Reactor).

Den amerikanske regering har i 2005 vedtaget en støttepakke til fordel for selskaber, der søger om tilladelse til at bygge nye kernekraftenheder. Støtten gives dels som tilskud til myndighedsbehandlingen, såfremt denne forsinkes, dels gennem favorable lånemuligheder. I støttepakken aftrappes støtten gradvist, således at der er indbygget et incitament til at være de første, der indleverer en ansøgning. Flere selskaber har tilkendegivet, at de er i gang ved at evaluere mulighederne for bygning af nye kernekraftenheder, men kortene holdes endnu tæt ind til kroppen.

Opgradering af de amerikanske kernekraftværker fortsætter. Samlet har NRC i 2005 godkendt opgraderinger af fem enheder med i alt 250 MWe, hvoraf enkelte forudsætter tekniske forbedringer, der endnu ikke er udført. Der er p.t. 12 ansøgninger under behandling (på tilsammen ca. 1100 MWe), og der forventes ansøgninger for yderligere 18 enheder (tilsammen knap 1300 MWe). I 2005 har 9 kernekraftenheder fået forlænget deres driftstilladelser med 20 år, så enhedernes levetid er forlænget til i alt 60 år. I de senere år har i alt 39 enheder opnået sådanne tilladelser. 10 ansøgninger er under behandling, og der er tilkendegivelser af, at der er ansøgninger på vej for yderligere 26 enheder.

USA's senat vedtog i 2002, at et slutdepot for brugt brændsel skal placeres i Yucca Mountain i Nevada. Energiministeriet (DOE) skulle have indgivet en ansøgning til NRC om bygning af anlægget i løbet af 2004, men er blevet forsinket af, at den amerikanske miljøstyrelses krav om sikkerhedsanalyser for anlægget, som går 10.000 år frem i tiden, er blevet underkendt af en føderal appeldomstol som værende utilstrækkelige. I august 2005 blev der fastlagt nye krav til sikkerhedsanalyser. Det forventes nu, at en ansøgning om tilladelse til at bygge depotet vil blive indgivet i løbet af 2006. Budgettet til analyser og forberedende arbejder er blevet reduceret med en tredjedel, hvilket kan betyde at ansøgningen forsinkes. For at forenkle designet af anlægget og reducere bestråling af personale ved omladning af det brugte brændsel er det nu vedtaget, at det brugte brændsel skal pakkes i slutbeholderne, inden det afsendes fra kraftværkerne.

På grund af forsinkelsen af Yucca Mountain slutdepotet har det været nødvendigt at udvide de lokale lagre på kraftværkerne. Det private konsortium Private Fuel Storage søgte allerede i 1997 om tilladelse til at bygge et mellemlager for brugt brændsel i Skull Valley reservatet, hvilket NRC nu har principgodkendt. Staten Utah har i flere år forsøgt at forhindre godkendelsen.

Asien

I Asien har Indien, Japan, Kina, Pakistan, Sydkorea og Taiwan kernekraftværker i drift. I Iran er en kernekraftenhed under opførelse.

Indien

I forhold til landets størrelse har Indien hidtil kun haft et lille kernekraftprogram. Kernekraften tegnede sig for 3 % af elproduktionen i 2004. Der er 15 kraftreaktorer i drift fordelt på 6 lokaliteter. De har alle en forholdsvis lille enhedsstørrelse (den samlede effekt er 3090 MWe), men større enheder er under opførelse (8 enheder med en samlet effekt på 3600 MWe). De fleste enheder er af indisk konstruktion, men to af de enheder, der er under opførelse, er 1000 MWe VVER enheder af russisk konstruktion.

Indien har kernevåben og er underlagt internationale restriktioner, fordi landet ikke har tilsluttet sig ikke-spredningstraktaten. I juli 2005 blev der imidlertid indgået en aftale mellem Indien og USA, som åbner for nukleare leverancer fra USA til Indien under forudsætning af, at Indien tillader IAEA-inspektioner af en række faciliteter,

der indgår i Indiens civile atomprogram. Andre vestlige lande, herunder Frankrig, er også interesseret i ophævelse af de hidtige restriktioner og derved opnå mulighed for nukleare leverancer til Indien. Den indiske regering har efterfølgende annonceret en foreløbig godkendelse af opførelse af yderligere otte større kernekraftenheder i landet, heraf fire importerede letvandsreaktorer, under forudsætning af at sådanne leverancer godkendes. I alt planlægger Indien at udbygge kernekraften med 20.000 MWe inden for de næste 12-15 år, fortrinsvis gennem import af reaktorteknologi. I sit eget nukleare udviklingsprogram satser Indien dels på tungtvandsreaktorer dels på formeringsreaktorer. Indiens egne uranreserver er ret begrænsede, men landet har nogle af verdens største thorium reserver.

Iran

I Iran har landets første kernekraftværk været under opførelse i en årrække ved Bushehr. Værket har en russisk-konstrueret reaktorenhed på 1000 MWe og ventes idriftsat i 2006. Der er truffet aftale mellem Iran og Rusland om levering af reaktorbrændsel fra Rusland og om, at det brugte reaktorbrændsel skal sendes tilbage til Rusland.

Det iranske parlament vedtog i 2005 at udbygge kernekraften til 20.000 MWe over de næste 20 år.

Japan

Japan har et betydeligt kernekraftprogram med 56 kernekraftenheder i drift. I 2004 tegnede kernekraften sig for 29 % af elproduktionen, hvilket var en forbedring i forhold til 2003, hvor der endnu var en del enheder nedlukket efter problemer med sikkerhedskulturen, som kom for dagen i 2002. Flere enheder var dog stadig nedlukket i en del af 2004, så kernekraftandelen var noget lavere end i 2000-2001, hvor den var oppe på 34 %. I 2005 blev to nye enheder taget i drift og en enhed er under opførelse. I Japan ønsker man at bruge MOX-brændsel i stigende omfang, og der er planer om inden 2010 at anvende MOX-brændsel i 16-18 kraftreaktorer.

Kina

I Kina blev det første kernekraftværk sat i drift i 1991, og kernekraften har indtil nu kun tegnet sig for en beskeden del af elproduktionen (2,2% i 2004). Ved udgangen af 2005 var der ni kernekraftenheder i drift med en samlet effekt på 6600 MWe. De idriftværende reaktorer er af kinesisk, fransk og canadisk konstruktion. Der er to enheder af russisk konstruktion (1000 MWe VVER enheder) under opførelse, hvoraf den ene var tæt på at være driftsklar ved årsskiftet 2005/2006. Endvidere blev opførelsen af to 1000 MWe PWR enheder af kinesisk konstruktion påbegyndt ved udgangen af 2005. I 2004 blev firmaerne Areva (Frankrig), Westinghouse (USA) og Atomstroyexport (Rusland) inviteret til at afgive tilbud på yderligere fire kraftrektorenheder med en enhedsstørrelse på mindst 1000 MWe. Tilbuddene blev afgivet i februar 2005. Det var planen at vælge leverandør inden udgangen af 2005, men det er endnu ikke sket. Det planlægges at udbygge kernekraften væsentligt i Kina, så den installerede effekt bliver omkring 40.000 MWe i 2020, men det vil kun øge kernekraftens andel til 4-5 % af elproduktionen, som ventes at vokse kraftigt i de kommende år. Hovedparten af Kinas elproduktion foregår på kulfyrede kraftværker.

Pakistan

Pakistan har to kernekraftenheder i drift, en 125 MWe CANDU-enhed og en 300 MWe PWR-enhed af kinesisk design. I 2004 tegnede kernekraften sig for 2 % af elproduktionen. I 2005 er opførelsen af yderligere en 300 PWR-enhed af kinesisk design påbegyndt.

Sydkorea

Sydkorea er det asiatiske land, der har den største andel af kernekraft i sin elforsyning (38 % i 2004). Landet har en betydelig kernekraftindustri, primært baseret på teknologi overført fra USA. I 2005 blev en ny enhed taget i drift, så landet nu har 20 kraftreaktorenheder i drift. Sydkorea samarbejder med USA, Kina og Japan om udvikling af højtemperaturreaktorer (VHTR) til kombineret el- og brintproduktion.

Andre lande

Uden for Asien, Europa og Nordamerika har kun Argentina, Brasilien og Sydafrika kernekraftværker. Australien har ikke kernekraft, men har en betydelig uranindustri.

Brasilien

Der er indsendt en ansøgning om tilladelse til færdiggørelse af Angra-3, der ikke er færdigbehandlet af regeringen. Ministeren for Videnskab og Teknologi har offentliggjort, at man overvejer bygningen af yderligere 7 kernekraftenheder.

Chile

Chile og Rusland underskrev i juli 2005 en aftale om samarbejde omkring fredelig udnyttelse af atomenergi. Bygning af en 1.000 MWe enhed i det nordlige Chile til en anslået pris af 1,5 mia. USD overvejes.

Sydafrika

Sydafrika har to PWR-enheder i drift ved Koeberg med en samlet effekt på 1800 MWe. I 2004 tegnede kernekraften sig for 7 % af elproduktionen. Det statsejede kraftværksselskab Eskom er med British Nuclear Fuels plc og Industrial Development Corporation of South Africa som partnere i gang med at udvikle en gaskølet højtemperatur-reaktor (HTR) med kugleformede brændselselementer (pebble bed reactor). I 2005 har Sydafrika endvidere indledt samarbejde med Kina om udvikling af højtemperaturreaktorer. Begge lande arbejder med pebble bed brændselskonceptet, men den første kinesiske HTR-serie vil blive udstyret med dampturbiner, medens den sydafrikanske HTR-serie bliver med gasturbiner.

2 Udvikling af reaktorer og sikkerhed

2.1 Reaktorudviklingen

For letvandsreaktorerne, som udgør hovedparten af verdens kraftreaktorer, er der i dag en samlet driftserfaring på mere end 10.000 reaktor-år. Denne erfaring udnyttes på mange måder til forbedringer af de reaktortyper, som udbydes. Generelle målsætninger for disse forbedringer har været:

- Forbedret sikkerhed med en minimal risiko for kernenedsmeltning
- Bedre driftssikkerhed og tilgængelighed
- Forbedret driftsøkonomi
- Forbedrede muligheder for drift- og vedligehold
- Kort byggetid, på mindre end 5 år

Reaktortyperne System 80+, ABWR, AP600, AP1000, ESBWR og EPR lever alle op til ovenstående målsætninger. System 80+ er en avanceret trykvandsreaktor, som er speciel egnet til at anvende plutoniumbrændsel. ABWR, Advanced Boiling Water Reactor, er en avanceret kogendevandsreaktor, som er forsynet med flere passive sikkerhedssystemer. AP600, Advanced Pressurized 600 MWe enhed, er karakteriseret ved at have innovative passive sikkerhedssystemer. AP1000 er en tilsvarende enhed med en effekt på 1000 MWe. ESBWR, Economic Simplified Boiling Water Reactor, er en videreudvikling af ABWR på 1400 MWe, og EPR, European Pressurized Reactor, en avanceret trykvandsreaktor på 1600 MWe.

De fire første reaktortyper er sikkerhedsbehandlet og godkendt af de amerikanske nukleare myndigheder NRC. ESBWR er under behandling og NRC forventes at få en formel ansøgning om godkendelse af EPR-designet i 2006 eller 2007.

Generation IV

Generation IV programmet blev startet af USA's Department of Energy (DOE) i 2001 og udgør i dag et internationalt program kaldet Generation IV International Forum (GIF) med deltagelse af 10 lande samt Euratom. Formålet med samarbejdet er at sikre en fremtidig stabil energiforsyning uden CO_2 udslip.

Man har i GIF valgt at fokusere på seks reaktortyper: Gaskølede hurtigreaktorer, natriumkølede hurtigreaktorer, blykølede hurtigreaktorer, reaktorer, der køles med vand ved overkritisk temperatur, reaktorer, der drives ved meget høj temperatur, og reaktorer, der køles med flydende salte. Målet er, at mindst en af typerne skal være i drift fra 2030.

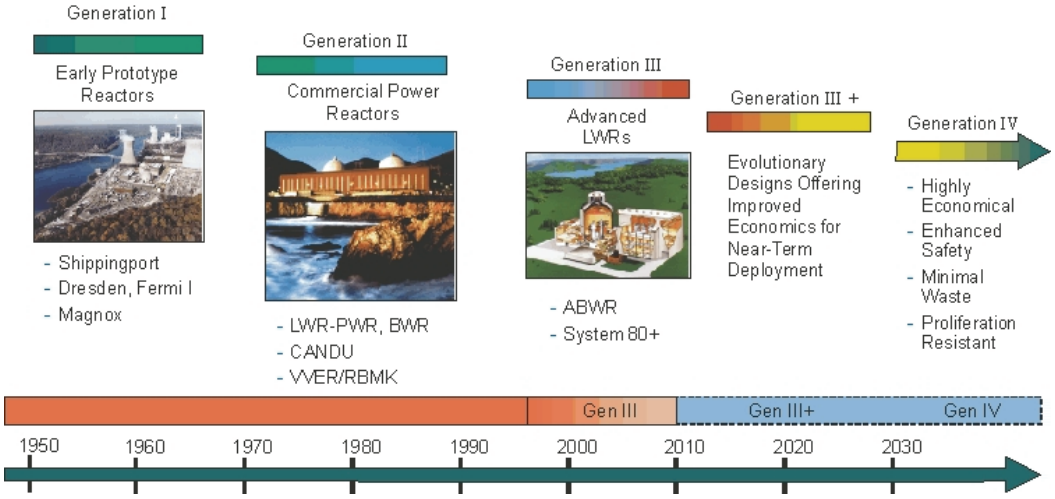
I begyndelsen af 2005 underskrev fem af deltagerlandene, nemlig Canada, Frankrig, Japan, England og USA, en samarbejdsaftale, som afstikker rammerne for, hvorledes forskningsinstitutioner og industri tager del i GIF samarbejdet. De øvrige deltagerlande i GIF forventes at tilslutte sig denne aftale i løbet af 2006.

INPRO

INPRO, International Project on Innovative Nuclear Reactors and Fuel Cycles, blev startet i 2001 med deltagelse af en række IAEA medlemsstater. Formålet med projektet er at samle kræfterne om at udvikle innovative reaktorer og brændselsteknologier, som skal være med til at sikre en sikker og stabil energiforsyning i det 21. århundrede. Projektet og dets formål minder om Generation

IV programmet, dog har INPRO et mere globalt sigte, ved også at inddrage udviklingslande, ligesom man vil forsøge at definere internationale standarder og rekommandationer for nuklear sikkerhed.

De to initiativer har indgået en samarbejdsaftale, hvilket har fået USA til at tilslutte sig INPRO projektet, som nu har 24 deltagerlande. Begge initiativer planlægger reaktortyper, som først skal i drift fra 2030. Forbedrede udgaver af eksisterende reaktorer betegnes som generation III eller III+, jf. Figur 2.1. PBMR (Pebble Bed Modular Reactor) er et eksempel på en reaktor af generation III+ typen, som lægger sig tæt op af generation IV.



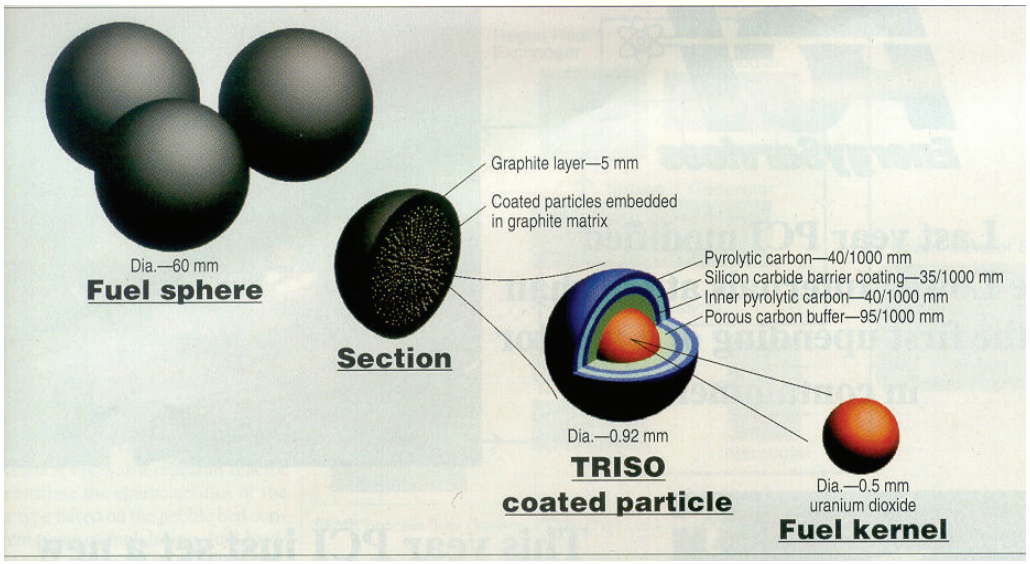
Figur 2.1. Udviklingen af reaktorer. (*Fra: A Technology Roadmap for Generation IV Nuclear Energy Systems, NERAC.*)

PBMR

Pebble Bed Modular Reactor er en lille, modulær højtemperatur reaktor, som er heliumkølet og grafitmodereret. Reaktoren anvender brændselskugler og benytter et lukket helium-kredsløb med en gasturbine til elproduktion. Reaktortypen blev oprindelig udviklet i Tyskland i slutningen af 1950'erne, hvor man byggede en forsøgsreaktor på 40 MWt. I 1980'erne byggede tyskerne en 300 MWe thorium-baseret højtemperatur reaktor, THTR-300, som blot var i drift i 3 år. Grundet problemer med den høje gastemperatur på 900 ^{0}C og med reaktortanken, som var lavet af beton, samt under indtryk af den voksende modstand i Tyskland mod anvendelse af kernekraft, førte det til, at man opgav en videreudvikling af konceptet. I 1999 købte det Sydafrikanske el-selskab Eskom rettighederne til designet samt den certificering, brændslet havde opnået i Tyskland.

Det sydafrikanske elselskab Eskom planlægger sammen med andre industrielle selskaber at bygge et PBMR-demonstrationsanlæg på 110 MWe i Koeberg nær Cape Town. Planen var oprindeligt at starte byggeriet i 2007, med de første testkørsler i 2010 og med en egentlig kommerciel udnyttelse med større enheder fra 2013. Imidlertid har der på det seneste været problemer med finansieringen af projektet med fare for, at det bliver forsinket.

I PBMR-reaktoren består brændslet inderst af små grafitbelagte UO_2 kugler (0,5 mm i diameter), som i et antal af ca. 15.000 samles i en grafikmatrix og presses til kugler med en diameter på 60 mm (Figur 2.2). En reaktor på 350 MWt indeholder ca. 500.000 af disse kugler.



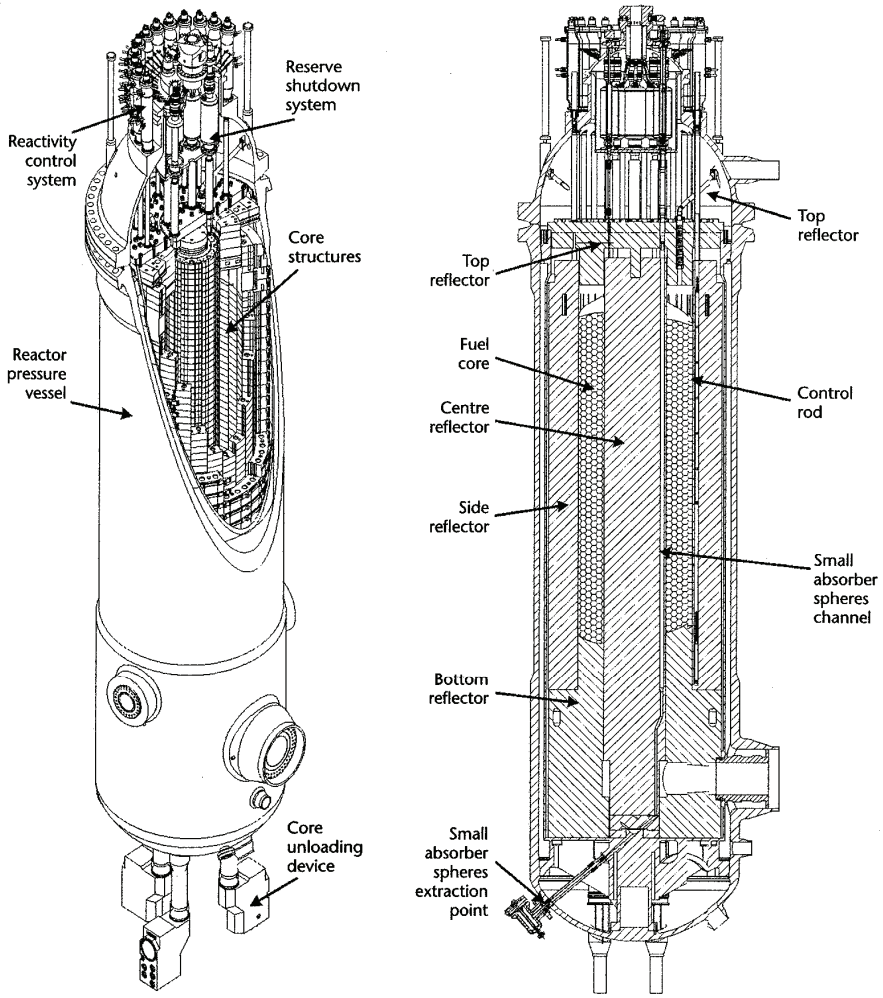
Figur 2.2. PBMR brændselsdesign.

Figur 2.3 viser et lodret snit gennem reaktoren. Inderst ses den ringformede brændselszone, hvor kuglerne fødes ind for oven i et antal på ca. 100 stk. pr. time, og et tilsvarende antal tages ud for neden. Kuglernes vandring fra top til bund tager ca. ½ år. Brændselszonen er udvendigt og indvendigt omgivet af grafit, hvori kontrolstavene er placeret.

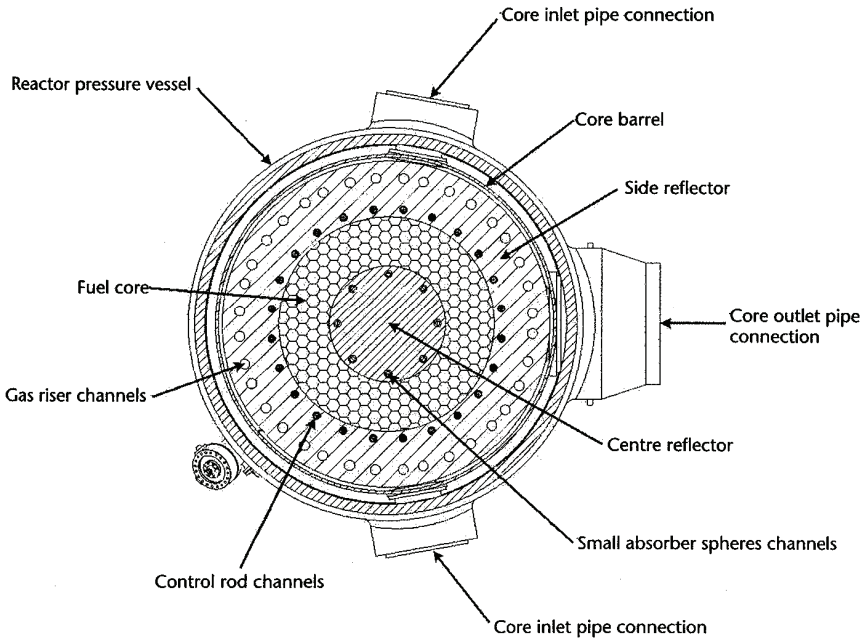
Helium, med en temperatur på 500 ^{0}C og et tryk på 90 bar, blæses ind i toppen af brændselszonen og forlader kernen i bunden med en temperatur på 900 ^{0}C. Den varme gas ledes til en gasturbine, som driver en generator, og med en optimeret udformning af hele kredsløbet kan man opnå en virkningsgrad på 42 %.

Reaktordesignet er på flere punkter karakteriseret ved at have indbyggede passive sikkerhedsegenskaber. Brændselskuglerne kan modstå temperaturer op til 1600 ^{0}C uden at afgive fissionsprodukter, og temperaturreaktivitetskoefficienten er stærkt negativ. Med de store mængder grafit i kernen er systemet i besiddelse af en meget stor varmekapacitet, hvilket er af stor betydning i tilfælde af svigt af heliumkølingen. Reaktoren vil kunne klare sig i flere dage uden heliumkøling eller strømforsyning, ved at eftervarmen gennem stråling og varmeledning afgives til hulrummet mellem reaktortanken og reaktorindeslutningen, hvorfra den ledes bort ved naturlig cirkulation.

En ulempe ved designet er, at mængden af radioaktivt affald er betydelig, fordi den store mængde grafit fra brændselskuglerne også skal behandles som radioaktivt affald.



Figur 2.3. Lodret snit af PBMR-design.



Figur 2.4. Vandret snit af PBMR-design.

Designdata for en PBMR reaktorkerne på 365 MWt.

Effekt	365 MWt
Indre radius	1,0 m
Ydre radius	1,85 m
Aktiv kernehøjde	11 m
Brændselskugler	452.000
Berigning	9 %
Brændselsudskiftningshastighed	ca. 100 kugler/time
Vandring fra top til bund	½ år
Antal gennemløb totalt	6
Udbrænding	95.000 MWd/t
Kontrolstave i yderreflektoren	24
Kanaler i den inderreflektor til bor/grafit-kugler	8
Reaktortryk	90 bar
Heliumtemperatur ved indløb	500 ^{o}C
Heliumtemperatur ved udløb	900 ^{o}C

Brintproduktion

Den høje udløbstemperatur af heliumgassen kan udnyttes til at fremstille brint ved termokemiske processer, bl.a. den såkaldte svovl-jod proces, som er vist nedenfor.

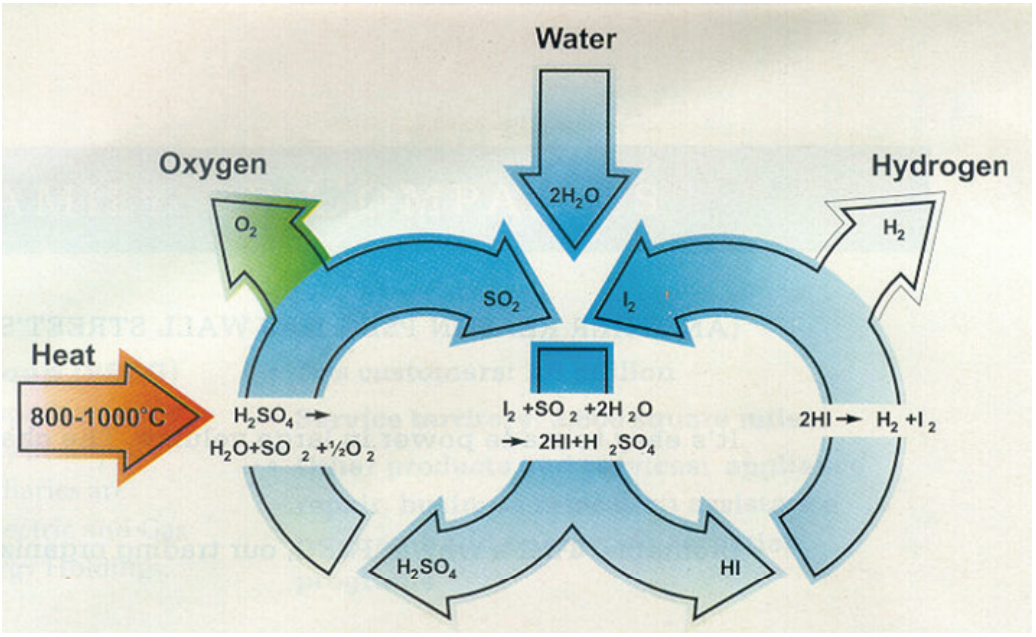
$$H_2SO_4 \rightarrow \tfrac{1}{2}O_2 + SO_2 + H_2O\ ; \qquad T > 800\ ^oC \qquad (1)$$

$$SO_2 + I_2 + 2H_2O \rightarrow H_2SO_4 + 2HI\ ; \qquad T < 120\ ^oC \qquad (2)$$

$$2HI \rightarrow I_2 + H_2\ ; \qquad T > 300\ ^oC \qquad (3)$$

I den første delproces dekomponeres svovlsyre ved høj temperatur i ilt, svovldioxid og vand. I delproces (2) tilsættes svovldioxiden jod og vand ved moderat temperatur, hvorved jodbrinte og svovlsyre produceres. Til sidst dekomponeres jodbrinte i brint og jod. Nettoresultatet bliver, at under tilførsel af varme dekomponerer vandet i brint og ilt, mens svovlsyre og jod genbruges.

Den samlede virkningsgrad for termokemisk brintproduktion ved benyttelse af høj-temperatur reaktorer anslås at være ca. 50 %. Til sammenligning er virkningsgaden for produktion af brint af størrelsesordenen 30 %, når energien hertil produceres i et termisk kraftværk ved lavere temperatur.



Figur 2.5. Svovl-jod proces til termo-kemisk produktion af brint.

2.2 Udvikling af beredskabssystemer

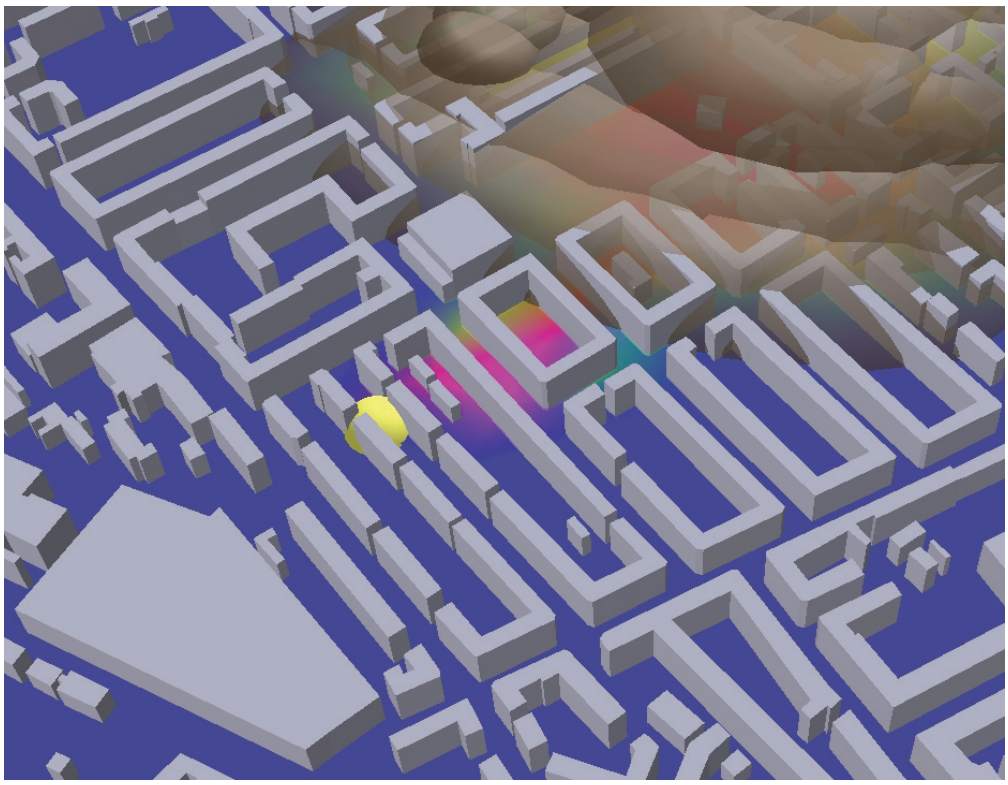
Beslutningsstøttesystemet ARGOS (Accident Reporting and Guiding Operational System) har i mange år været brugt i flere landes atomberedskaber til beregning af konsekvenserne af udslip ved uheld på kernekraftværker. ARGOS inkluderer i sin nuværende form en model for spredning af radioaktiv forurening ud til flere hundrede kilometers afstand (Risø's RIMPUFF model) samt en langdistancemodel, hvor et beregningsoplæg bliver sendt ud til DMI. Her afvikles beregningerne på deres kraftige workstations ved brug af DERMA langdistancemodellen og resultatet hentes automatisk tilbage og bliver vist i ARGOS. ARGOS anvendes med en række andre langdistancemodeller i Canada, Norge og Sverige.

I mange år har en udvidelse af ARGOS til at omfatte andet end kernekraftuheld været en mulighed, og valget faldt i første omgang på uheld med kemiske udslip, hvor en stor del af programellet og kortvisningerne kan genbruges. Realiseringen af denne mulighed kom, da NATO's "Partnership for Peace" program (PfP) tilbød at finansiere et ARGOS-CN projekt for PfP-lande (Bulgarien, Rumænien, Slovenien og Slovakiet). Det nu afsluttede arbejde med udvikling af programellet vil i første omgang blive efterfulgt af en implementering hos det bulgarske forsvar i løbet af 2006. For at kunne håndtere f.eks. tankvognsuheld i byer eller udslip fra kemiske installationer nær tæt befolkede områder er der indlagt en britisk model fra DSTL, UDM-modellen, for spredning i byområder. Denne vil i det nyligt startede ARGOS-CBRN projekt blive erstattet af en ny sådan bymodel udviklet af Risø og FOI (Totalförsvarets forskningsinstitut) i Sverige samt med konsulentbistand fra DMI. Indførelsen af bymodellen giver mulighed for at bedømme konsekvenserne af nukleare, kemiske og biologiske terrorangreb i byområder. ARGOS for kemisk beredskab indeholder en kildemodel, der gør det muligt at beregne udslippet som funktion af en række karakteristika ved kilden.

Terrorangrebene i New York og Washington DC den 11. september 2001 satte fokus på risikoen for terroraktioner i tætbefolkede områder med store konsekvenser for befolkningerne. På denne baggrund introduceredes begrebet CBRN (chemical, biological, radiological, nuclear) i beredskabsplanlægning. Det har været naturligt at tage udgangspunkt i ARGOS-CN ved udviklingen af det langt mere omfattende ARGOS-CBRN, der ud over at kunne yde beslutningsstøtte ved konventionelle ulykker, storbrande, tankvognsuheld mv., også kan bruges i forbindelse med terrorangreb inden for CBRN-området som f.eks. "dirty bombs" og brug af masseødelæggelsesvåben. Det har været en lang udviklingsproces fra det oprindelige ARGOS-system, der udelukkende kunne håndtere udslip fra kernekraftværker, til det omfattende ARGOS-CBRN, som er under udvikling. Allerede i ARGOS-CN introducerede man kommunikation med andre systemer via NATO-standarder.

ARGOS-CBRN er det danske bidrag til de to NATO-initiativer "Istanbul Cooperation Initiative" og "the Mediterranean Dialogue" og vil blive implementeret i det første modtagerland i slutningen af 2007.

Brugere af ARGOS er organiseret i det såkaldte "ARGOS Consortium", der har medlemslandene Norge, Sverige, Danmark, Estland, Letland, Lithauen, Polen, Irland og Canada. Herudover kan man forvente brugere fra PfP-lande (Bulgarien, Rumænien, Slovenien, Slovakiet) samt lande i "Istanbul Cooperation Initiative" (Kuwait, United Arab Emirates, Bahrain, Qatar, Oman, Saudi Arabien, Libanon, Syrien, Iran, Yemen) og "the Mediterranean Dialogue" (Egypten, Israel, Marokko, Mauritanien, Tunesien, Jordan, Algeriet).



Figur 2.5. Spredning beregnet med byspredningsmodellen UDM fra DSTL, der anvendes i ARGOS-CN. Bemærk, at bygninger får forureningen til også at spredes på tværs af og imod hovedvindretningen. Frederiksberg Centret nederst tv. med Jagtvej gående ud mod højre. Bygningsdata stammer fra KMS Kort10.

Det nukleare måleberedskab

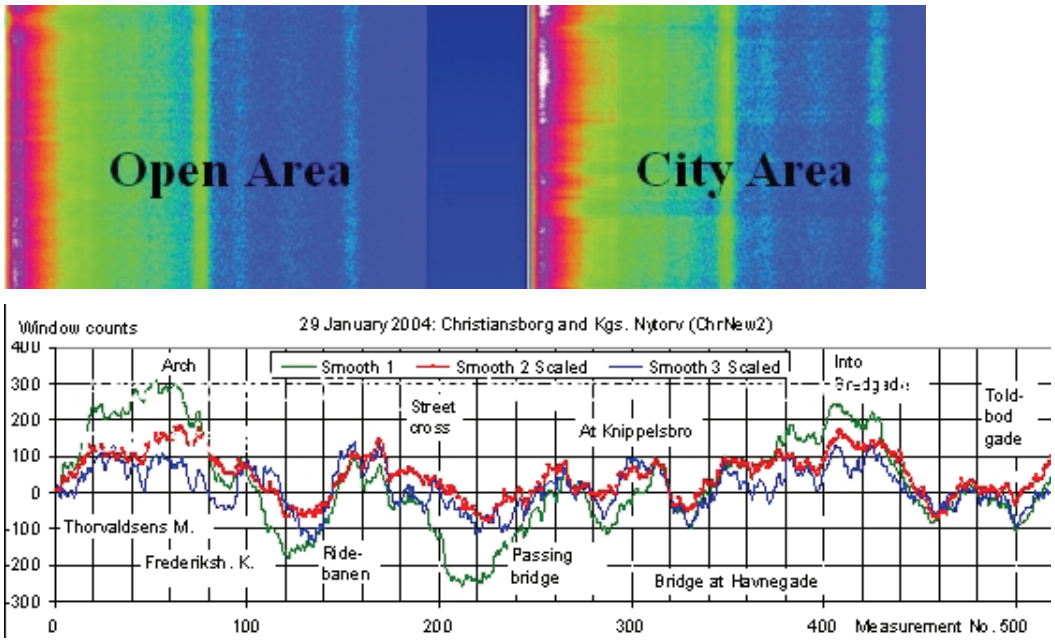
Det landsdækkende permanente målesystem består af 11 avancerede målestationer og to filtermålestationer – én på Bornholm og én i Haderslev. Målestationerne leverer måledata døgnet rundt til såvel Risø som Beredskabsstyrelsen, og en alarm fra systemet vil straks føre til aktivering af den vagthavende beredskabsleder. I målestationerne foretages en spektralanalyse, således at der korrigeres for naturlige variationer i baggrundsstrålingen. Kun tekniske fejl eller en menneskeskabt forhøjelse af strålingsniveauet vil udløse en alarmering af den vagthavende beredskabsleder. Hjertet i filtermålestationerne er en stor støvsuger, der trækker en kraftig luftstrøm gennem et filter, så selv meget små radioaktivitetsmængder i luften vil opkoncentreres til målelige niveauer.

Måledata sendes hver time fra Beredskabsstyrelsen til EU's forskningscenter, JRC, i Italien. I systemet, som kaldes EURDEP, indsamles måledata fra en lang række europæiske lande, og via en beskyttet hjemmeside kan myndighederne holdes orienteret om målesituationen i hele Europa døgnet rundt. Offentligheden har adgang til en oversigt, hvor en tidsforsinkelse af varierende længde er lagt ind for de forskellige medlemslande: http://eurdeppub.jrc.cec.eu.int/

Beredskabsstyrelsen ejer og opererer to luftbårne gammaspektrometer-systemer, der hurtigt kan monteres i hærens Fennec helikoptere og to bilbårne systemer af samme type. Den ene målebil er ud over det nævnte målesystem udstyret med en neutrondetektor på taget. Herudover indgår håndbårne spektralmålere og neutrondetektorer. Kombinationen af gamma- og neutrondetektorer er velegnet til grænsekontrol, hvorved smugling af f.eks. plutonium kan afsløres. Måling fra luften

er velegnet til kortlægning af en forureningssituation, herunder at fastlægge positionerne af såkaldte ”hot spots” eller at genfinde forsvundne kilder.

Målinger i åbent land og målinger i byområder stiller vidt forskellige krav til måleteknik. Forholdene i byområder er langt mere komplicerede. Det naturlige gammaspektrum varierer meget i byområder, idet spektret afhænger af vejens bredde, nærhed til bygninger, anvendte materialer i bygninger og fortove samt trafiktæthed. For at kunne bestemme spektre for kilder er man nødt til at fjerne bidrag fra den naturlige baggrundsstråling samt fra nedfald fra tidligere atomprøvesprængninger. Denne proces er blevet forbedret gennem implementeringen i analyseprogrammet NucSpec af et nyt princip, der kaldes ”områdespecifik stripning”, hvor kalibreringen også bliver afhængig af områdets topologi. For at kunne håndtere situationer med ”dirty bombs” i byområder på målesiden, dvs. lave opmålinger med f.eks. målebiler, der genererer lange serier af gammaspektre, må de områdespecifikke parametre kortlægges. Øverst i Figur 2.3 vises to serier af gammaspektre fra henholdsvis åbent land og byområde. Hver vandret streg repræsenterer ét spektrum med lave energier til venstre og høje til højre. Det er tydeligt, at spektrene fra byområdet varierer betydeligt mere. Den 29. januar 2004 kørte én af de to målebiler rundt i København og optog måleserien vist i Figur 2.6. Omgivelsernes varierende geometri giver et varierende spektrum, som der skal kompenseres for.



Figur 2.6 Sprængning af f.eks. ”dirty bombs” i byområder med spredning af radioaktive stoffer stiller store krav til måleteknikken. En detektor på en kørende målebil ”ser” ind i en kompliceret, varierende geometri, der giver et meget varierende baggrundsspektrum.

3 Nuklear sikkerhed

3.1 Sikkerhedsrelaterede hændelser ved kernekraft

INES-skalaen, "The International Nuclear Event Scale", blev udviklet af IAEA og OECD i 1990 med henblik på at kunne informere offentligheden om den sikkerhedsmæssige betydning af nukleare hændelser eller ulykker på en konsistent og standardiseret form. Skalaen strækker sig fra niveau 1, hvor hændelser med ringe sikkerhedsbetydning indplaceres, til niveau 7, hvor de helt store ulykker indplaceres. Se nærmere om INES i appendiks A.

De af IAEA's medlemslande, der er tilsluttet INES-systemet, er forpligtet til at indrapportere hændelser klassificeret på niveau 2 og opefter til IAEA. Hændelser på niveau 1 eller 0, sidstnævnte betegnes som værende under skalaen, skal kun indrapporteres, såfremt disse skønnes at have særlig interesse for andre lande.

Hændelser indrapporteres direkte på IAEA's "NEWS" hjemmeside, hvor offentligheden har adgang til at læse om hændelser af nyere dato, www-news.iaea.org/news. NEWS er en forkortelse af "Nuclear Events Web-based System". Formålet med NEWS er at videreformidle autoritativ information om nukleare hændelser, som skønnes at være af interesse for det internationale samfund.

Kun hændelser på kernekraftværker, som er klassificeret på niveau 2 og opefter, vil blive refereret i det følgende. For kraftreaktorernes vedkommende blev der i 2005 rapporteret fem INES-2 hændelser til IAEA. I 2004 forekom der på verdens kernekraftværker til sammenligning to INES-2 hændelser.

Generisk anomali på franske trykvandsreaktorer. INES-2.

Den 9. december 2005 blev det med sikkerhed fastslået, at lavtryksnødkølepumper på op mod 30 af de franske 900 MW trykvandsreaktorer havde nedsat tilgængelighed. EdF (Electricité de France) havde foretaget tests af denne type pumper for at forstå årsagen til observerede unormale vibrationer. Vibrationerne kunne via nye testmetoder genskabes ved de relevante temperaturer, og årsagen kunne findes i lejekonstruktionen. Selv om vibrationerne ikke direkte skader pumpen, kan en sikker funktion ud over ca. 30 timers drift ifølge EdF ikke garanteres for visse ulykkesscenarier. Dette gælder kun for pumper med netop denne lejekonstruktion. Der er ikke på noget tidspunkt opstået en situation på et fransk kernekraftværk, hvor der har været brug for disse nødkølepumper. Desuden vil der stadig være alternative muligheder for køling af reaktoren under disse scenarier. EdF har besluttet at udskifte lejerne på samtlige pumper i slutningen af marts 2006. De franske nukleare sikkerhedsmyndigheder ASN (l'Autorité de sûreté nucléaire) har godkendt specifikationer og procedurer for udskiftning.

Atucha-1 hændelsen den 1. september 2005, Argentina. INES-2.

Værket Atucha-1, der ligger i nærheden af Buenos Aires, er en tysk produceret tryktanksreaktor af tungtvandstypen (PHWR) på 357 MW elektrisk effekt. For anlægget gælder, at der kan skiftes brændsel under drift.



Den 1. september 2005 ville man som led i vedligeholdelsesarbejder udskifte den brændsels-udskiftningsmaskine, der var i brug, med den, der var på stand by. Dette

fandt sted, mens værket var på 90 % af fuld effekt. Der lækkede under den efterfølgende kalibrering af den udskiftede maskine tungt vand ud, og flere arbejdere blev kontaminerede, dog kun én i en sådan grad, at vedkommendes dosisgrænse for normal drift blev overskredet. Den effektive dosis som personen modtog fra indtag af tritium blev målt til 42 mSv.

Tihange-2 hændelsen den 4. juli 2005, Belgien. INES-2.

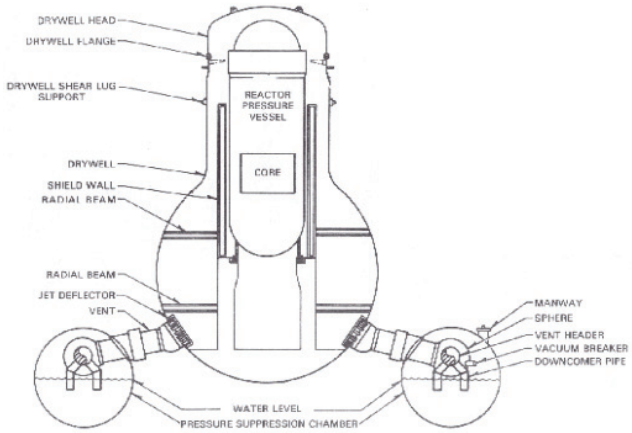


Værket Tihange, der ligger nær Liege, består af tre trykvandsreaktorer. Tihange-2 har en effekt på 1008 MWe.

Under en periodisk test af dieselgeneratorerne opdagede man, at strømforsyning til sikkerhedsrelateret udstyr bortfaldt. Nogle relæer til beskyttelse mod overspænding koblede forsyningen fra, når spændingen fra dieselgeneratorerne nåede 380 volt**,** fordi disse beskyttelses-relæer var justeret til at koble fra ved en lavere spænding. Samtidig var referencespændingen ikke justeret som foreskrevet i design specifikationerne, og det var ikke muligt at justere spændingen til den korrekte værdi grundet relæets konstruktion. Alle relæer, der var skiftet siden april 2005, havde denne fejl. I noget af sikkerhedsudstyret var man oppe på, at 2 ud af 3 relæer ville fejle, hvis den eksterne strømforsyning svigtede. Efter fejlen blev konstateret, er tripspændingen blevet justeret til den korrekte værdi.

Fitzpatrick-2 hændelsen den 30. juni 2005, USA. INES-2.

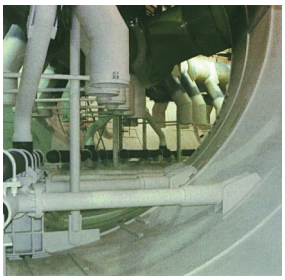
Atomkraftværket Fitzpatrick, der er en kogendevandsreaktor på 825 MWe, ligger ved bredden af søen Ontario i staten New York, USA. Reaktortanken befinder sig inde i en reaktorindeslutning, der har form som en elektrisk pære og er forbundet til en såkaldt torus, der er delvist vandfyldt, se figur.



Reaktorindeslutningens funktion er at hindre radioaktivt udslip til omgivelserne. Ved ulykkesscenarier med udstrømmende damp og trykopbygning vil nedblæsning af damp fra reaktorindeslutningen til torus med efterfølgende kondensering, og tryk- og temperatursænkning være afgørende for indeslutningens integritet.

Den 27. juni 2005 identificeredes ved en inspektion en mindre gennemgående revne med tilhørende forgreninger i torus nær en af de støttestrukturer, der er svejset på ydersiden af torus. Disse eksterne støttestrukturer blev svejset på i 1980'erne som led i et projekt, der skulle mindske de mekaniske påvirkninger i forbindelse med nedblæsning af damp i en ulykkessituation. De føderale nukleare sikkerhedsmyndigheder, NRC, igangsatte straks en undersøgelse af værkets håndtering af inspektionen og af muligheden for flere revnedannelser.

Billedet til højre er taget i bunden af torus, der på dette sted normalt er dækket af vand. Man ser rækken af de store nedblæsningsrør (downcomers) øverst i billedet, og man kan videre følge dem bagud mod højre. Den fundne revne befandt sig under vandlinjen. Revnedannelsen repræsenterer en potentiel mulighed for tab af indeslutningsfunktionen og hændelsen er kategoriseret som en degradering af dybdeforsvaret.



Kewaunee-2 hændelsen den 15. marts 2005, USA. INES-2.

Kewaunee-2 er en trykvandsreaktorenhed på 529 MWe, beliggende i staten Wisconsin, USA. Inspektører fra NRC opdagede under en gennemgang af værket, at ved oversvømmelse i turbinebygningen kunne vandet finde vej til rum, der indeholder vigtigt elektrisk udstyr, nød-dieselgeneratorer og andet sikkerhedsudstyr. Dette forudsætter brud på ikke seismisk godkendte rørsystemer. En oversvømmelse vil i værste tilfælde kunne resultere i et så højt vandniveau, at mere end ét ud af flere redundante sikkerhedssystemer bliver utilgængelige, hvorved sikkerheden nedsættes.

3.2 Internationale forhold og konflikter

Iran

Fra international side er der bekymring over Irans uranberigningsprogram. Fra iransk side undlod man frem til 2002 at informere IAEA om mange nukleare aktiviteter, herunder dele af berigningsprogrammet, som man i følge ikke-spredningsaftalen skulle have indberettet til IAEA. Efter Iran i 2002 begyndte at give IAEA oplysninger om berigningsarbejdet, har landet ikke altid været hurtig til at fremkomme med de af IAEA ønskede oplysninger. På den anden side har Iran efter 2002 ikke nægtet at fremsende relevante oplysninger.

IAEA undersøger i dag to hovedspørgsmål. Dels, hvorfra partikler af lavt og højt beriget uran, som IAEA har fundet på centrifugekomponenter, kommer, dels hvorfor der gik 7 år, fra Iran modtog designinformation om den avancerede P-2 centrifuge, til arbejdet med denne blev indledt. Bag disse spørgsmål ligger usikkerhed m.h.t. om Iran har bygget andre berigningsanlæg end anlægget i Natanz. Det er kun Natanz-anlægget, som IAEA i dag kontrollerer. Hvad det første spørgsmål angår, viser IAEA's undersøgelser, at partiklerne af højtberiget uran ser ud til at være kommet fra udlandet, således som Iran hele tiden har hævdet. Oprindelsen af partiklerne af lavt beriget uran er derimod endnu ikke klarlagt. Hvad det andet hovedspørgsmål angår, hævder Iran, at årsagen til forsinkelsen var, at man dels ikke havde kvalificeret personale til at arbejde med både P-1 og P-2 centrifugen, dels måtte bruge kræfter på en reorganisation af den iranske atomenergiorganisation. IAEA's skepsis m.h.t. denne forklaring skyldes, at Iran kort efter, at arbejdet med P-2 centrifugen blev indledt i 2002, var i stand til at lave en række nødvendige ændringer på rotorerne. IAEA har bedt om yderligere information til belysning af dette spørgsmål.

Iran har i 2005 ved Arak påbegyndt bygningen af en 30-40 MW tungtvandsmodereret forsøgsreaktor, IR-40, der anvender naturligt uran som brændsel. Sammesteds er et anlæg til fremstilling af tungt vand under indkøring. IR-40 forventes i drift i 2014 og skal benyttes til fremstilling af radioisotoper til medicinsk brug. Den skal erstatte en amerikansk leveret, aldrende forsøgsreaktor i

Teheran, til hvilken det har været vanskeligt at fremskaffe det nødvendige berigede uran. Når bygningen af IR-40 giver anledning til bekymring, er årsagen, at man i denne kan fremstille våbenplutonium i en mængde af ca. 8-10 kg pr. år, hvilket rækker til fremstilling af en bombe om året. Iran har udført begrænsede forsøg med plutoniumudvinding af bestrålet uran i perioden 1988 til 1993, noget der først blev meddelt til IAEA mange år senere.

I slutningen af februar underskrev Rusland og Iran en aftale om, at det udbrændte uranbrændsel fra Bushehr-kernekraftenheden, der forventes at komme i drift i 2006, skal returneres til Rusland. Iran kan dermed ikke disponere over det i brændslet indeholdte uran og plutonium.

I efteråret 2003 indledte Frankrig, UK og Tyskland, også kaldet EU-3, forhandlinger med Iran med henblik på at undgå, at Iran startede fremstilling af beriget uran. I forbindelse hermed indstillede Iran frivilligt arbejdet med uranberigning og med oparbejdning af bestrålet uran. Forhandlingerne gik imidlertid trægt, idet der var stor afstand mellem det, man fra EU-3's side tilbød, og det Iran ønskede, såfremt Iran permanent skulle opgive berigningsarbejdet. I august 2005 meddelte Iran IAEA, at man ville gå i gang med at fremstille UF_6 i urankonverteringsanlægget i Esfahan, men stadig under IAEA-kontrol. I december foreslog Rusland, at der blev dannet et fælles russisk-iransk selskab, der i Rusland skal berige uran. Forslaget blev dog afvist af Iran. I stedet har Iran meddelt IAEA, at man vil genoptage berigningsarbejdet. Det fik IAEA's Board of Govenors til i begyndelsen af 2006 at indbringe Iran for FN's Sikkerhedsråd. Dette fik igen Iran til at suspendere Irans frivillige accept af den udvidede NPT-protokol.

Ikke-spredningsaftalen indeholder ikke forbud mod at bygge eller besidde berigningsanlæg. Flere ikke-kernevåbenmagter har sådanne anlæg. Iran, på sin side, har hele tiden fastholdt, at landet ikke ønsker at fremstille kernevåben, men alene vil fremstille beriget uran til el-produktion.

Nordkorea

IAEA har siden 2002 ikke haft adgang til at inspicere Nordkoreas nukleare anlæg. Tværtimod meddelte Nordkorea i februar 2005, at landet er i besiddelse af kernevåben, men der har været rejst tvivl om rigtigheden af denne påstand. I marts meddelte Nordkorea, at landet havde øget sit nukleare våbenarsenal, og i maj blev det fra japansk side hævdet, at Nordkorea forberedte en prøvesprængning af sine atomvåben. Denne påstand blev dog betvivlet, og en prøvesprængning har ikke hidtil fundet sted.

I følge den aftale, USA indgik med Nordkorea i 1994, skulle Nordkorea indstille sit arbejde med at udvikle atomvåben og underkaste alle landets nukleare anlæg IAEA-kontrol mod til gengæld at få leveret to 1000 MWe kernekraftenheder. Til at forestå bygningen af de to enheder oprettedes Korean Peninsula Energy Development Organization (KEDO). Denne organisation, der startede sit arbejde i 1995, finansieres af Sydkorea, Japan, EU og USA. Indtil enhederne var i drift, skulle KEDO-landene levere brændselsolie til Nordkorea. Efter at det i efteråret 2002 blev klart, og af Nordkorea erkendt, at landet i strid med den indgåede aftale var begyndt at bygge et anlæg til fremstilling af beriget uran, besluttede KEDO et år senere at suspendere bygningen af de to kernekraftenheder. USA har siden været indstillet på fuldstændigt at stoppe projektet, mens især Sydkorea har modsat sig dette. KEDO tog i november 2005 en principbeslutning om at afslutte projektet, men det er ikke afgjort, hvordan omkostningerne på ca. 1,1 mia. USD, der hidtil er blevet brugt på projektet, skal fordeles mellem deltagerlandene. Ved oprettelsen af KEDO var det planen, at Sydkorea skulle levere de to trykvandsreaktorer, og Japan skulle betale størstedelen af udgifterne, men nu, da projektet ikke bliver til noget, er spørgsmålet,

hvordan man fordeler udgifterne. USA har tilkendegivet, at man ikke har til hensigt at bidrage til dækning af dem.

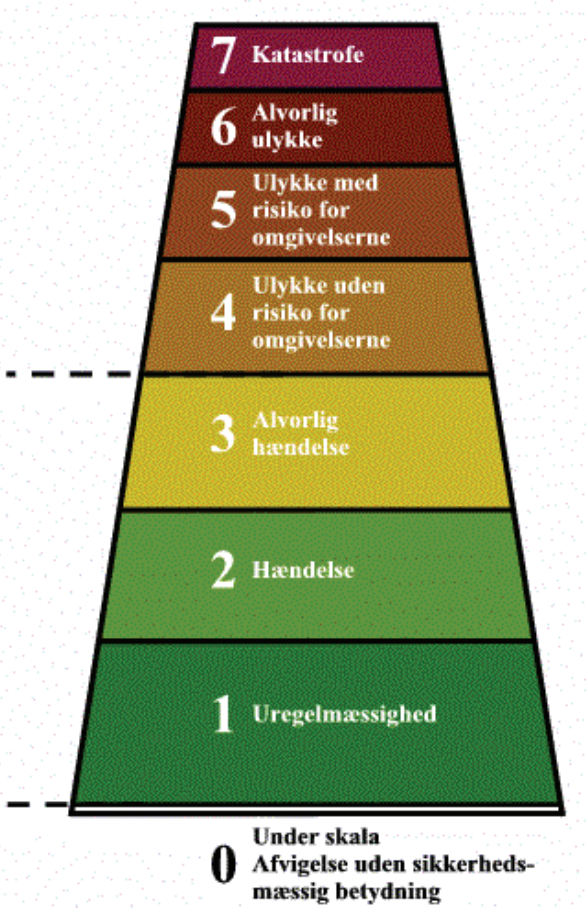
Nordkorea oplyste i juli, at man har genoptaget bygningen af to grafitmodererede kraftreaktorenheder, en på 50 MWe og en på 200 MWe. Bygningen af disse blev indstillet efter aftalen med USA i 1994. Begge reaktorer kan benyttes til at producere våbenplutonium.

Siden 2003 har der været ført såkaldte seks-landesforhandlinger om nuklear afmilitarisering af den koreanske halvø. Deltagerne i disse er Nordkorea, Sydkorea, USA, Rusland, Kina og Japan. Den fjerde runde i disse forhandlinger fandt sted i Beijing i juli måned og blev fortsat i september. Her blev der opnået enighed om, at Nordkorea er forpligtet til at opgive sit kernevåbenprogram og igen i en nær fremtid at tilslutte sig ikke-spredningsaftalen (NPT) og IAEA-kontrol. Til gengæld vil de andre fem lande på et passende tidspunkt forsyne Nordkorea med letvandsreaktorer. Endvidere har USA udtalt, at man ikke har til hensigt at angribe eller invadere Nordkorea med nukleare eller konventionelle våben. Men kort efter at aftalen var indgået, meddelte Nordkorea, at man ikke vil tilslutte sig NPT og ikke acceptere IAEA-kontrol, før løftet om levering af letvandsreaktorerne er opfyldt. Samtidig presser USA på for at få nedlagt KEDO. Så selvom der blev gjort fremskridt, er den indgåede aftale, specielt m.h.t. tidsfrister, så vag, at det endnu er usikkert, om Nordkorea opgiver sit kernevåbenprogram og underkaster sig fuld IAEA-kontrol.

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

På foranledning af IAEA og OECD/NEA blev der i 1990 udviklet en skala til angivelse af den sikkerhedsmæssige betydning af uheld på nukleare anlæg og uheld ved transport af radioaktivt materiale.

Skalaen betegnes INES, International Nuclear Event Scale, og omfatter otte uheldsklasser, fra klasse 0 til 7, se figur. Hændelser, der ikke har nogen sikkerhedsmæssig betydning, placeres i klasse 0, mens meget alvorlige ulykker med udslip af store mængder radioaktivt materiale hører til klasse 7.



Uheldsklasen bestemmes ud fra tre kriterier:

- Påvirkning af omgivelserne
- Påvirkning af anlægget
- Degradering af dybdeforsvaret (anlæggets sikkerhedssystem).

Uheld med påvirkning af omgivelserne ved udslip af radioaktivt materiale er det mest alvorlige kriterium og dækker klasse 3 til 7. Uheld, hvor der udelukkende sker en påvirkning af anlægget, f.eks. skader på reaktorkerne eller bestråling af personale, placeres i klasse 2 til 5. Det sidste kriterium, degradering af et anlægs dybdeforsvar, betyder, at en eller flere sikkerhedsbarrierer (tekniske/menneskelige) svigter. Uheld, hvor sikkerhedsbarrierer påvirkes, betegnes som hændelser og rubriceres fra klasse 1 til 3. Af de tre kriterier vil det, der giver den højeste klasse for uheldet, være det afgørende kriterium.

I alt 60 lande har i dag tilsluttet sig INES-systemet. Kort efter en hændelse skal ejeren af anlægget, efter samråd med det pågældende lands sikkerhedsmyndighed, beskrive hændelsen med angivelse af en (evt. foreløbig) INES-klasse. IAEA informerer derefter de lande, der har tilsluttet sig systemet, om den indtrufne hændelse og klassificering. Sikkerhedsmyndigheden kan ved behov efterfølgende korrigere klassificeringen, hvis myndigheden efter nærmere analyse finder en anden klasse mere korrekt.

Eksempler på INES-klassifikation

- INES-7: Tjernobyl, 1986. Havariet af Tjernobyl-4 reaktoren i Ukraine førte til omfattende påvirkninger af mennesker og miljø.
- INES-6: Kyshtym, 1957. En eksplosion på oparbejdningsanlægget i Kyshtym i Rusland medførte at store mængder radioaktivt affald blev spredt til omgivelserne.
- INES-5: Three Mile Island, 1979. Ulykken på kernekraftværket i Pennsylvania medførte en nedsmeltning af reaktorkernen, mens påvirkningen af omgivelserne var meget begrænsede.

- INES-4: Tokai Mura, 1999. Kritikalitetsulykken på brændselsfabrikken Tokai Mura i Japan medførte en kraftig bestråling af personale.
- INES-3: Studsvik, 2002. En forsendelse af radioaktivt materiale fra Studsvik i Sverige til USA viste sig at have et stærkt forhøjet strålingsniveau uden for beholderen.

Kriterier for klassifikation af ulykker efter INES-skalaen

Trin/ Betegnelse	Begivenhed
7 Katastrofe	Udslip til omgivelserne af en stor del af det radioaktive materiale i et stort anlæg, f.eks. reaktorkernen på et kernekraftværk. Udslippet vil bestå af en blanding af kort- og langlivede radioaktive fissionsprodukter og kan føre til akutte stråleskader, sene stråleskader i et større område samt medføre alvorlige miljøkonsekvenser.
6 Alvorlig ulykke	Udslip til omgivelserne af radioaktivt materiale. Udslippet vil typisk kræve fuld iværksættelse af modforholdsregler for at modvirke alvorlige stråleskader.
5 Ulykke med risiko for omgivelserne	Udslip til omgivelserne af begrænsede mængder radioaktivt materiale. Udslippet vil typisk kræve delvis iværksættelse af modforholdsregler for at mindske sandsynligheden for stråleskader. Alvorlig skade på det nukleare anlæg, f.eks. skade på en stor del af en reaktorkerne, et stort kritikalitetsuheld, eller en brand, hvor større mængder radioaktivt materiale frigives inden for anlægget.
4 Ulykke uden risiko for omgivelserne	Udslip til omgivelserne af mindre mængder radioaktivt materiale, resulterende i strålingsdoser til de mest udsatte personer på nogle få millisievert (mSv). Udslippet kræver næppe iværksættelse af modforholdsregler, bortset fra eventuel lokal fødevarekontrol. Større skader på et kernekraftværk, f.eks. en delvis kernenedsmeltning, eller tilsvarende hændelser på andre nukleare anlæg. Bestråling af en eller flere arbejdere på anlægget, som medfører en stor sandsynlighed for dødsfald.
3 Alvorlig hændelse	Radioaktivt udslip til omgivelserne ud over de tilladte værdier, resulterende i strålingsdoser til de mest udsatte personer udenfor anlægget på nogle tiendedele af en millisievert. Udslippet vil muligvis ikke nødvendiggøre iværksættelse af modforholdsregler. Hændelse, hvor strålingsdoser til en eller flere arbejdere på anlægget kan føre til akutte stråleskader; hændelse som resulterer i en alvorlig radioaktiv forurening af et område indenfor anlægget. Hændelse med store svigt i sikkerhedssystemet, hvor yderligere svigt af sikkerhedssystemet kan føre til en ulykke.
2 Hændelse	Hændelse med store svigt i sikkerhedsforholdene, men med tilstrækkelig dybdeforsvar tilbage til at modstå yderligere svigt. Hændelse hvor en eller flere arbejdere får en strålingsdosis, der overskrider den tilladte årlige grænseværdi; hændelse som resulterer i en betydende radioaktiv forurening i dele af anlægget.
1 Uregel-mæssighed	Hændelse, hvor betingelserne for drift overskrides, f.eks. ved afvigelse fra tekniske specifikationer eller brud på transport-regulativer, men hvor dybdeforsvaret fortsat er betydeligt.

APPENDIKS B: Internationale organisationer

EURATOM

EURATOM er en af EU's oprindelige traktater. Hovedelementerne i traktaten er strålingsbeskyttelse af såvel arbejdstagere som befolkningen i almindelighed, forsyning med fissile materialer, sikring af sådanne materialer mod misbrug til uautoriserede formål (safeguards) og generelle aspekter som forskning og formidling af information. Sikkerhed ved drift af nukleare anlæg og håndtering af radioaktivt affald har primært været nationale anliggender med internationalt samarbejde omkring standardisering og "best practice" m.m. I de senere år har kommissionen imidlertid også taget initiativer på disse områder, f.eks. har den i 2003 foreslået direktiver vedr. sikkerhed ved nukleare anlæg og håndtering af radioaktivt affald.

http://euratom.org

IAEA

International Atomic Energy Agency (IAEA) er en international organisation under FN, som har til formål at fremme det internationale videnskabelige og teknologiske samarbejde om den fredelige udnyttelse af nuklear teknologi, herunder kernekraftteknologi. Organisationen blev grundlagt i 1957 som en kulmination af de internationale bestræbelser for at følge op på Præsident Eisenhowers "Atoms for Peace" program fra 1953. Med udgangen af 2004 havde organisationen 139 medlemsstater og der var indgået safeguard aftaler med 152 lande.

IAEA formidler overførsel af nuklear teknologi og viden på området til udviklingslandene. IAEA udvikler standarder inden for nuklear sikkerhed og arbejder derigennem på at opnå og vedligeholde et højt niveau for sikkerheden ved nuklear energiproduktion og for beskyttelsen af mennesker og miljø mod de skadelige virkninger af ioniserende stråling. Som et led i ikke-spredningsaftalen (NPT) overvåger IAEA, at de nukleare anlæg og materialer, som medlemsstaterne har tilmeldt IAEA's inspektionssystem, kun anvendes til fredelige formål.

IAEA har hovedkvarter i Wien, Østrig, hvor der er ansat ca. 2200 medarbejdere.

www.iaea.org

www.iaea.org/programmes/a2/index.html: IAEA's Nuclear Power Reactor Information System (PRIS), med data om verdens kernekraftværker mv.

www-news.iaea.org/news: IAEA's Nuclear Events Web-based System, med information om INES-hændelser.

OECD/NEA

Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD) er udsprunget af Organisation for European Economic Co-operation (OEEC), som blev oprettet for at administrere Marshall-planen for den europæiske genopbygning efter 2. verdenskrig. OECD har i dag 30 medlemslande, der alle bekender sig til en demokratisk styreform og markedsøkonomi. OECD's opgave er at støtte medlemslandenes økonomiske og administrative udvikling og fremme samarbejdet mellem landene inden for økonomi, uddannelse, teknologi og forskning m.m. Nuclear Energy Agency (NEA) er en organisation inden for OECD. NEA's formål er at støtte medlemslandenes fortsatte udvikling af det videnskabelige, teknologiske og

lovgivningsmæssige grundlag for en sikker, miljøvenlig og økonomisk udnyttelse af kerneenergien til fredelige formål. NEA har et tæt samarbejde med EU-kommissionen og en samarbejdsaftale med IAEA. NEA samarbejder også med ikke-medlemslande i Central- og Østeuropa. NEA har i dag 28 medlemslande.

NEA støtter en række samarbejdsprojekter medlemslandene imellem vedrørende nuklear sikkerhed, strålingsbeskyttelse, håndtering af radioaktivt affald og dekommissionering m.m. NEA har sit hovedsæde i Paris, Frankrig. Arbejdet er organiseret i en række komitéer med deltagelse af mere end 500 eksperter fra medlemslandene.

www.nea.fr

UNSCEAR

United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR) er en videnskabelig komite under FN. Den blev etableret i 1955 som reaktion på de atmosfæriske prøvesprængninger af nukleare våben og det medfølgende globale radioaktive nedfald. Det er komiteens opgave at indsamle og evaluere information om niveauerne af ioniserende stråling og radioaktivitet stammende fra både menneskeskabte og naturlige kilder og at studere de mulige virkninger på mennesker og miljø.

UNSCEAR består af videnskabsmænd fra 21 medlemslande. Danmark er ikke medlem. De 21 medlemslande har hver én repræsentant i komiteen. Komiteen og sekretariatet arbejder sammen med videnskabsmænd over hele verden for at etablere databaser over eksponeringer til ioniserende stråling og information om eksponeringernes virkning. UNSCEAR's hovedsæde ligger i Wien.

www.unscear.org

WENRA

Western European Nuclear Regulators' Association (WENRA) er en sammenslutning af lederne af en række vesteuropæiske landes nukleare tilsynsmyndigheder. Sammenslutningen omfatter Belgien, Finland, Frankrig, Tyskland, Italien, Holland, Spanien, Sverige, Schweiz og Storbritannien. Sammenslutningens formål er at udvikle en fælles tilgang til kernekraftsikkerhed med hovedvægten på EU-området.

WANO

The World Association of Nuclear Operators (WANO) er en global forening af alle selskaber, der driver kernekraftværker. WANO formidler samarbejde og udveksling af driftserfaringer mellem operatørerne med det formål at opnå den højest mulige sikkerhed og pålidelighed for kernekraftværkerne.

www.wano.org.uk

WNA

The World Nuclear Association (WNA) er en global samarbejdsorganisation for industrivirksomheder, der arbejder inden for den nukleare industri, omfattende kernekraftværker og alle aspekter af brændselskredsløbet. WNA's formål er at være det globale forum for den nukleare industri og at informere om nukleare spørgsmål.

www.world-nuclear.org

Nordiske myndigheder

Beredskabsstyrelsen, Danmark

www.brs.dk

www.brs.dk/nuc/default.asp: Beredskabsstyrelsens Nukleare Kontor; oplysninger om det danske atomberedskab.

www.info.nucinfo.dk/denmark: Nucinfo, Beredskabsstyrelsens informationsværktøj vedrørende nukleare forhold.

Statens Institut for Strålehygiejne (SIS), Danmark

www.sis.dk

Geislavarnir Ríkisins, Island

www.gr.is

Radiation and Nuclear Safety Authority (STUK), Finland

www.stuk.fi

Statens Strålevern, Norge

www.nrpa.no

Statens kärnkraftinspektion (SKI), Sverige

www.ski.se

Statens Strålskyddsinstitut (SSI), Sverige

www.ssi.se

APPENDIKS C: Anvendte forkortelser

ABWR	Advanced Boiling Water Reactor, den avancerede kogendevands-reaktor
AGR	Advanced Gas-cooled Reactor, den engelske, avancerede gaskølede reaktor
ANP	Advanced Nuclear Power
AP-1000	Westinghouse's avancerede trykvandsreaktor på 1000 MWe
Areva	Fransk kerneenergikonsortium
ARGOS	Accident Reporting and Guiding Operational System, Beredskabs-styrelsens beslutningsstøtteprogram
ARGOS-CN	ARGOS-systemet inklusiv en byspredningsmodel
ARGOS-CBRN	ARGOS-systemet med modeller for kemiske, biologiske, radiologi-ske og nukleare udslip
ASE	Atomstroyexport, det russiske, statslige firma, der står for landets nukleare eksport
ASN	Autorité de Sûreté Nucléaire, franske nukleare sikkerhedsmyndig-heder
BE	British Energy, det engelske el-selskab, der ejer de fleste britiske kernekraftværker
BNFL	British Nuclear Fuels Ltd, britisk, statsligt kernebrændsels- og reak-torfirma
BNG	British Nuclear Group, datterselskab af BNFL, der skal stå for de-kommissioneringen af Magnoxenhederne
BREST	Russisk hurtigreaktorprojekt med blykøling
BRS	Beredskabsstyrelsen
BWR	Boiling Water Reactor, kogendevandsreaktor
CANDU	Canadian Deuterium Uranium, den canadiske tungtvandsreaktor af trykrørstypen
CBRN	Chemical, Biological, Radiological, Nuclear, kemiske, biologiske, radiologiske, nukleare
CDU	Christlich-Demokratische Union, tysk politisk parti
CEZ	Det tjekkiske el-selskab
Corwm	Committee on RadioactiveWaste Management, britisk komite, der skal undersøge muligheder for deponering af radioaktivt affald
CO_2	Kuldioxid
CSU	Christlic-Soziale Union, tysk politisk parti
DERMA	DMI's langdistancemodel for atmosfærisk spredning
DMI	Danmarks Meteorologiske Institut
DOE	Department of Energy, det amerikanske energiministerium
DSTL	Defense Science and Technology Laboratory, UK
EBRD	European Bank for Reconstruction and Development, den europæi-ske udviklingsbank for Central- og Østeuropa
EdF	Electricité de France, det franske, statslige el-selskab
ENEL	Italiensk el-selskab
EPR	European Pressurized Reactor, trykvandsreaktor udviklet i et samar-bejde mellem Framatome og Siemens
EPZ	Hollands el-selskab
ESBWR	Economic Simplified Boiling Water Reactor, økonomisk, forenklet kogendevandsreaktor
Eskom	Sydafrikansk el-selskab

ESP	Early Site Permit, forhåndsgodkendelse i USA af arealer til bygning af kernekraftenheder
EU	Den Europæiske Union
EURATOM	European Atomic Energy Treaty, EU traktakt om atomenergi
EURDEP	European Union Radioactivity Data Exchange Platform, EU's forum for udveksling af radioaktivitetsdata
E.ON	Europæisk el-selskab
FAEA	Det føderale russiske atomenergiagentur
FBR	Fast Breeder Reactor, hurtig formeringsreaktor
GCR	Gas Cooled Reactor, gaskølet reactor
GEN III+	Videreudvukling af 3. reaktorgeneration
GEN IV	4. reaktorgeneration
GIF	Det USA-ledede internationale Generation IV Forum
GWe	Gigawatt elektrisk
H	Brint/hydrogen
HI	Brintjodid
H_2O	Vand
H_2SO_4	Svovlsyre
HTGR	High Temperature Gas-cooled Reactor, højtemperaturreaktor med gaskøling
HTR	High Temperature Reactor
I	Jod
IAEA	International Atomic Energy Agency, FN's atomenergiagentur
INES	International Nuclear Event Scale, international skala for radiologiske og nukleare uheld
INPRO	Russisk initieret internationalt program for udvikling af nye reaktor-typer inden for rammerne af IAEA
ISF	Intermediate Storage Facility, mellemlager for udbrændt brændsel
ITER	International Tokamak Experimental Reactor, internationalt projekt om fusionsreaktor, der skal bygges i Frankrig
JRC	Joint Research Centre, EU's fælles forskningscenter i Italien
KEDO	Korean peninsula Energy Development Organization, organisation, der forestod bygning af to PWR-enheder i Nordkorea
KMS	Kort- og Matrikelstyrelsen
kWh	Kilowatt-time
MOX	Mixed OXide fuel, reaktorbrændsel fremstillet af en blanding af plutonium- og urandioxid
MWd/tU	Megawatt-dage pr. ton uran, udbrændingsenhed
MWe	Megawatt elektrisk
MWh	Megawatt-time
MWt	Megawatt termisk
NEA	Nuclear Energy Agency, OECD's kerneenergiorganisation
NEK	Bulgarsk statsligt el-selskab
NERAC	US Department of Energy's Nuclear Energy Research Advisory Committee
NEWS	Nuclear Events Web-based System, IAEA's hjemmeside med meddelser om nukleare hændelser
NNC	New Nuclear Company, planlagt el-selskab, der skal drive de bulgarske kernekraftenheder
NPT	Non Proliferation Treaty, ikke-spredningsaftalen
NRC	Nuclear Regulatory Commission, USA's reaktorsikkerhedsmyn-dighed
O	Ilt
OECD	Organisation for Economic Co-operation and Development
OEEC	Organisation for European Economic Co-operation

PBMR	Pepple Bed Modular Reactor, højtemperatur reactor med kugleformede brændselselementer
PfP	Partnership for Peace, samarbejde mellem NATO og Østeuropa
PHWR	Pressurized Heavy Water Reactor, tungtvands-modereret trykvands-reaktor
PP	Partido Popular, spansk politisk parti
PRIS	Nuclear Power Reactor Information System, IAEA database om verdens kernekraftværker
PSOE	Partido Socialista Obrero Espanol, spansk politisk parti
PWR	Pressurized Water Reactor, trykvandsreaktor
RAO-ESS	Det russiske el-distributionsselskab
RBMK	Reaktor-stor-effekt-kanaltype, russisk reaktor med grafit moderator og kogendevandskøling (Tjernobyl-typen)
REA	Det russiske statslige el-selskab for kerneenergi
RIMPUFF	Risøs kortdistancemodel for spredning af radioaktivt materiale
Rosatom	Det føderale russiske atomenergiagentur
RWE	Rheinisch-Westfalisches Elektrizitätswerk, tysk el-selskab
SIS	Statens Institut for Strålehygiejne
SKI	Statens kärnkraftinspektion, den svenske reaktorsikkerhedsmyndig-hed
SO_2	Svovldioxid
SPD	Sozialdemokratische Partei Deutschlands, tysk politisk parti
SSI	Statens StrålskyddsInstitut (Sverige)
STUK	Den finske myndighed for nuklear- og strålingssikkerhed
THTR	Thorium High Temperature Reactor, højtemperatur med thorium
TVA	Tennessee Valley Authority, amerikansk elektricitetsselskab
TVEL	Russisk reaktorbrændselsproducent
TVO	Teollisuuden Voima Oy, finsk el-selskab
TWh	Terawatt-time. 1 TWh = 1 milliard kWh
UDM	Urban Dispersion Model, model til beregning af kemiske udslip
UF_6	Uranhexaflurid, "hex"
UK	United Kingdom
UNI-C	Undervisningsministeriets IT-center for uddannelse og forskning
UNSCEAR	United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Ra-diation, videnskabelig komité under FN om virkninger af stråling
UO_2	Urandioxid
USD	Amerikanske dollar
VVER	Vand vand energi reaktor, russisk udgave af trykvandsreaktoren
WANO	World Association of Nuclear Operators, global organisation for el-selskaber med kernekraftværker
WENRA	Western European Nuclear Regulators Association
VHTR	Very High Temperature Reactor, reaktor med meget høje temperaturer til brintproduktion
WNA	The World Nuclear Association, global sammenslutning af virk-somheder inden for den nukleare industri

Risøs forskning skal være med til at løse konkrete problemer.

Vi sætter mål for forskningen gennem løbende dialog med erhvervsliv, det politiske system og forskere.

Effekten af vores forskning er bæredygtig energiforsyning og ny teknologi til sundhedssektoren.