



Kernekraft og nuklear sikkerhed 2008

Lauritzen, Bent; Ølgaard, Povl Lebeck; Kampmann, D.; Nonbøl, Erik

Publication date:
2009

Document Version
Også kaldet Forlagets PDF

[Link back to DTU Orbit](#)

Citation (APA):

Lauritzen, B. (red.), Ølgaard, P. L. (red.), Kampmann, D., & Nonbøl, E. (2009). Kernekraft og nuklear sikkerhed 2008. Roskilde: Danmarks Tekniske Universitet, Risø Nationallaboratoriet for Bæredygtig Energi. (Denmark. Forskningscenter Risoe. Risoe-R; Nr. 1701(DA)).

DTU Library

Technical Information Center of Denmark

General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal

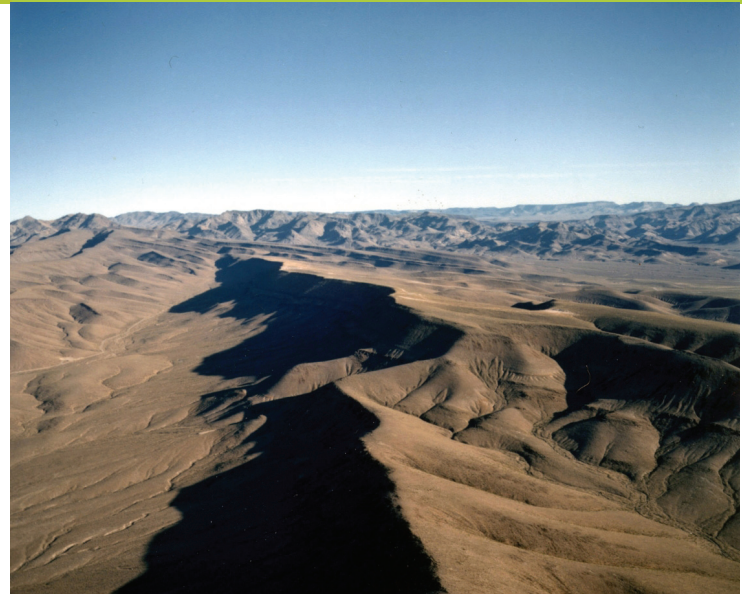
If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

Kernekraft og nuklear sikkerhed 2008



Risø-R-Report

Redigeret af B. Lauritzen og P.L. Ølgaard
Risø-R-1701(DA)
Juni 2009



Forfatter: Bent Lauritzen og P.L. Ølgaard (red.), D. Kampmann, og E. Nonbøl

Titel: Kernekraft og nuklear sikkerhed 2008

Afdeling: Strålingsforskning

Resume (max. 2000 char.):

Rapporten er den sjette rapport i en serie af årlige rapporter om kernekraft og nuklear sikkerhed. Rapporten er udarbejdet af medarbejdere ved Risø DTU og Beredskabsstyrelsen. Den omhandler den internationale udvikling inden for kernekraft med særlig vægt på sikkerhedsmæssige forhold og nukleart beredskab. Rapporten for 2008 dækker følgende emner: Status for kernekraftens elproduktion, regionale tendenser, reaktorudvikling, beredskabssystemer, sikkerhedsrelaterede hændelser ved kernekraft samt internationale forhold og konflikter.

Risø-R-1701(DA)

Juni 2009

ISSN 0106-2840

ISSN 1604-4177

ISSN 1603-9408

ISBN 978-87-550-3763-2

Kontrakt nr.:

Gruppens reg. nr.:

PSP 10008-04

Sponsorship:

Forside:

Luftfoto af Yucca Mountain i Nevada, hvor USA forbereder et slutdeponi for højaktivt affald. USAs energiministerium har i 2008 ansøgt om byggetilladelse til anlægget, men pga. politisk modstand er det tvivlsomt, om anlægget vil blive bygget

Sider: 51

Tabeller: 3

Afdelingen for Informationservice
Risø Nationallaboratoriet for Bæredygtig Energi
Danmarks Tekniske Universitet
Postboks 49
4000 Roskilde
Danmark
Telefon 46774005
bibl@risoe.dtu.dk
Fax 46774013
www.risoe.dtu.dk

Indhold

Forord 4

1 International kernekraftstatus 5

- 1.1 Kernekraftens el-produktion 5
- 1.2 Regionale tendenser 9

2 Udvikling af reaktorer og sikkerhed 28

- 2.1 Reaktorudviklingen 28
- 2.2 Beredskabssystemer 33
- 2.3 Kernekraft og jordskælv 35

3 Nuklear sikkerhed 39

- 3.1 Sikkerhedsrelaterede hændelser ved kernekraft 39
- 3.2 Internationale forhold og konflikter 40

APPENDIKS A: INES, den internationale skala for uheld på nukleare anlæg 43

APPENDIKS B: Internationale organisationer 45

APPENDIKS C: Anvendte forkortelser 48

Forord

”Kernekraft og nuklear sikkerhed 2008” er den sjette rapport i en serie af årlige rapporter om kernekraft og nuklear sikkerhed. Rapporten er udarbejdet i samarbejde mellem Risø DTU og Beredskabsstyrelsen. Den 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 2008 dækker følgende emner: Status for kernekraftens el-produktion, regionale tendenser, reaktorudvikling, beredskabssystemer, sikkerhedsrelaterede hændelser ved kernekraft samt internationale forhold og konflikter.

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

Dan Kampmann	BRS (1.2, 2.2, 2.3 og 3.1)
Bent Lauritzen	Risø (1.1 og 1.2)
Erik Nonbøl	Risø (1.1 og 2.1)
Povl L. Ølgaard (konsulent)	Risø (1.2 og 3.2)

1 International kernekraftstatus

Kernekraft ses i dag som et af de få effektive virkemidler, der kan imødekomme et globalt behov for en stigende elproduktion uden, at miljøet påvirkes væsentligt. For mange lande vil indførelse eller udbygning af kernekraft betyde en mindsket afhængighed af import af fossile brændstoffer, og dermed en øget forsyningssikkerhed, idet uran til brændselsproduktion i stor udstrækning kommer fra geopolitiske stabile regioner, og fordi uranbrændsel til flere års forbrug let kan oplagres. Det økonomiske incitament til at bygge kernekraftværker er øget betydeligt i de senere år, i takt med at kernekraftværker i dag har en stor kapacitetsudnyttelse og projekteres til at have en driftslevetid på op til 60 år, samtidig med at prisen på fossile brændstoffer er steget. Da kernekraft ikke udleder CO₂, vil en CO₂-afgift yderligere forbedre økonomien for kernekraft i forhold til elproduktion baseret på fossile brændstoffer.

Indtil ca. 2030 forventes en væsentlig udbygning med kernekraft baseret på Generation III eller III+ reaktorer, som f. eks. den franske EPR kernekraftenhed, der er under opførelse ved Flamanville, mens udvikling og opførelse af fjerdegenerations reaktorer på længere sigt vil kunne sikre en bæredygtig udvikling af kernekraft. OECD's Internationale Energi Agentur (IEA) antager i sit referencescenario, at kernekraft globalt vil vokse med 0,7% årligt i perioden indtil 2030. Referencescenariet indebærer, at der skal investeres i alt 26 mio. USD i kernekraft indtil 2030, hvoraf halvdelen går til elværker, mens resten er til transmission og distributionsnet.

Den globale udbygning af kernekraft vil i høj grad forudsætte folkelig accept af kernekraft. En udbredt modstand mod kernekraft var stærkt medvirkende til, at udbygningen gik i stå i USA og i Europa i 1980'erne, og til at kernekraft i mange lande blev fravalgt som energiforsyning. Udbygningen af kernekraft forudsætter en meget langsigtet energiplanlægning, og en forøget anvendelse af kernekraft vil derfor i mange lande være betinget af, at der er tillid til en energiplanlægning, der rækker mange år frem, og at politiske forhold ikke betyder, at kernekraft senere bliver fravalgt igen. En folkelig accept af kernekraft vil især afhænge af, om sikkerheden ved eksisterende og fremtidige værker anses for at være høj, og om der er tillid til sikker opbevaring/deponering af det brugte brændsel.

På kort sigt vil udbygningen af kernekraft være påvirket af de økonomiske forhold, hvor især usikkerhed omkring økonomien af de kernekraftenheder, der i dag er under opførelse, kan være af afgørende betydning. På grund af de meget store bygge- og anlægsomkostninger, der er forbundet med kernekraft, vil forsinkelser eller uforudsete udgifter kunne fordyre byggeriet væsentligt og derved gøre kernekraft mindre rentabel. I OECD-området vil kernekraftindustrien kunne levere 6-8 nye kernekraftenheder årligt, hvilket er mindre end stigningsraten i de mere optimistiske prognoser. Hvis udbygningen af kernekraft i de kommende år fortsætter med en højere stigningstakt end de 6-8 enheder pr. år, er der en risiko for, at der opstår flaskehalse, bl.a. i leverancen af svære stålkomponenter, hvilket i sig selv vil fordyre kernekraften.

1.1 Kernekraftens el-produktion

Kernekraft udgør ca. 14% af den globale elforsyning. I alt 31 lande har i dag kernekraftværker. De fleste af disse ligger inden for OECD-området i Europa, Nordamerika og i Sydøstasien. Den samlede installerede effekt er på 372 GWe (netto), og fordelingen på de enkelte lande er angivet i Tabel 1.2. I 2007 var elproduktionen fra kernekraft på 2608 TWh, hvilket er et fald på ca. 2% i forhold til 2006. Faldet i elproduktionen skyldes bl.a. driftsproblemer på de engelske og tyske

værker samt nedlukningen af verdens største kernekraftværk, Kashiwazaki Kariwa i Japan, efter jordskælvet den 16. juli 2007.

Mens den samlede installerede kapacitet kun er steget langsomt siden slutningen af 1980'erne, er elproduktionen fra de fleste kernekraftenheder fortsat vokset, hvilket især skyldes forbedret udnyttelse af eksisterende enheder med færre og kortere driftsstop til brændselskift og vedligeholdelse. Kapacitetsudnyttelsen ligger i dag typisk på 85-90%, hvilket er tæt på den maksimalt opnåelige udnyttelsesgrad. Udover nyt byggeri af kernekraftenheder øges kapaciteten gennem opgraderinger af de eksisterende værker, f.eks. ved at anvende nye brændselsdesign med øget varmeproduktion, nye turbiner og generatorer med større virkningsgrad. I USA alene svarer de udførte og planlagte opgraderinger til en øget installeret effekt på 9 GWe. Derudover sikres kapaciteten ved levetidsforlængelser, idet enhederne renoveres, så de får en samlet driftslevetid på 50-60 år, og tidlig nedlæggelse af kernekraftenhederne undgås.

Electricité de France (EdF) forudser, at der i perioden indtil 2020 skal opføres nye kernekraftenheder med en kapacitet på i alt 140 GWe, mens 10 GWe skal dekommissioneres. De 140 GWe nybyggeri fordeler sig med 30% i Kina, 15% i Indien, 15% i det øvrige Asien, mens Europa, USA og Rusland hver tegner sig for ca. 12%.

I 2008 blev opførelsen af ti nye kernekraftenheder påbegyndt, heraf seks i Kina, to i Sydkorea og to i Rusland. De seks kinesiske enheder, Ningde-1 og -2, Hongyanhe-2, Fuqing-1, Yangjiang-1 og Fangjiasan-1, er alle baseret på CPR-1000 reaktoren, som er en kinesisk udviklet version af Areva's 1000 MWe PWR-enhed. Med det påbegyndte byggeri har Kina nu, ud over 11 enheder i drift, ligeså mange enheder under opførelse, og Kina regner med inden 2020 at have seksdoblet sin nuværende kapacitet til i alt 50-60 GWe. De to russiske enheder, Novovoronezh 2-1 og Leningrad 2-1, er baseret på den russiske trykvandsreaktor VVER-1000 og får hver en effekt på 1085 MWe. Rusland planlægger at fordoble sin produktionskapacitet inden 2020, hvilket betyder, at der skal bygges 2-3 nye enheder årligt. De to sydkoreanske enheder, Shin-Wolson-2 og Shin-Kori-3, er forsynet med trykvandsreaktorer og har en effekt på henholdsvis 960 MWe og 1340 MWe. Shin-Kori-3 enheden er baseret på den koreansk udviklede APR-1400 reaktor (tidligere "Korean Next-Generation Reactor"), der er den første tredjegerations reaktor, der opføres i Sydkorea.

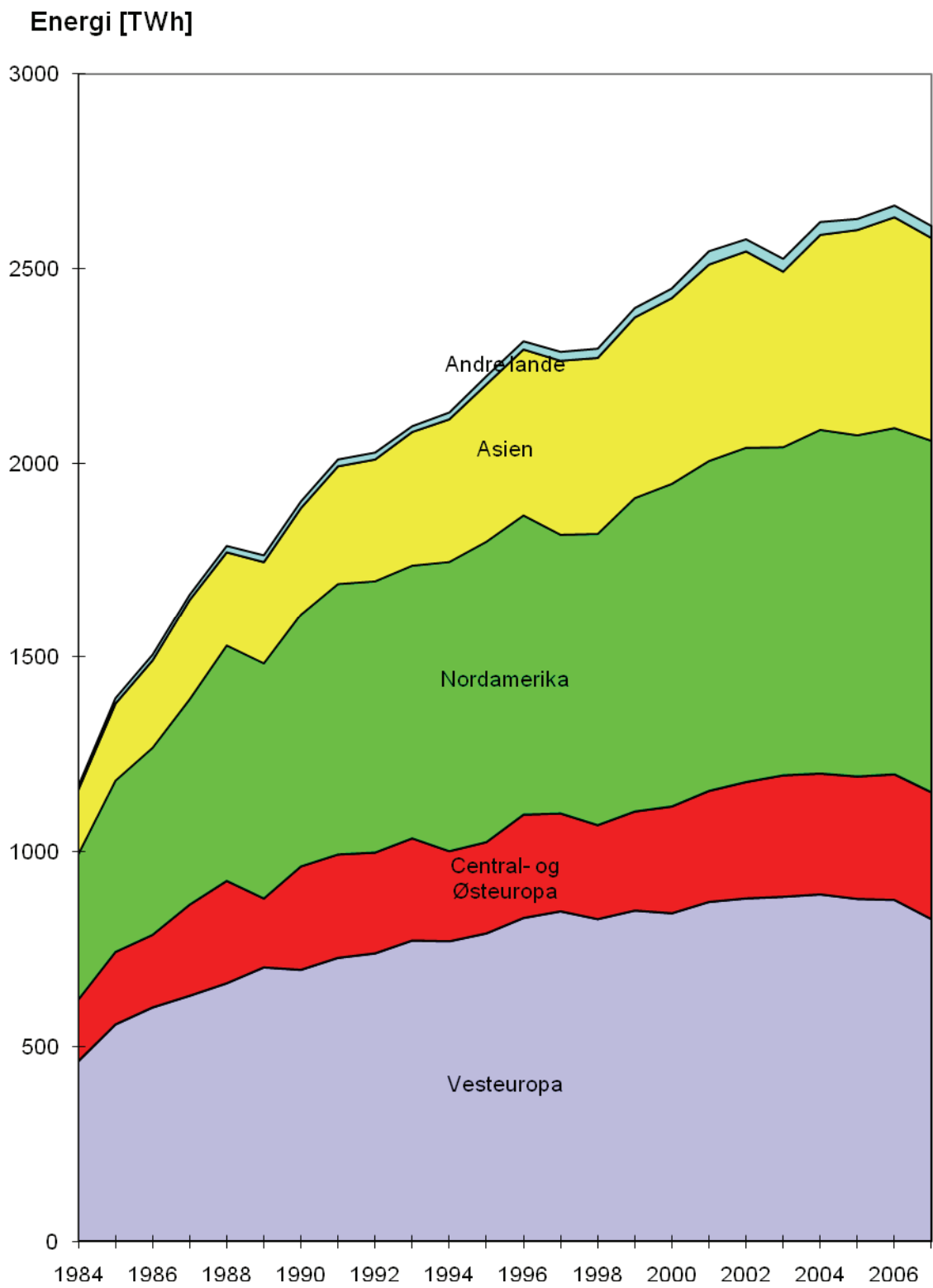
En enkelt enhed blev lukket i 2008, Bohunice-2 i Slovakiet, som er en trykvandsreaktor på 408 MWe af russisk design. Bohunice-2 enheden blev lukket som et led af aftalen fra 2004 om Slovakiets optagelse i EU. Ingen nye kernekraftenheder blev taget i drift i 2008.

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

	Antal enheder (1/1-2009)	Installeret effekt (GWe) (1/1-2009)	Produceret energi 2007 (TWh)	Andel af el- produktion 2007 (%)
Vesteuropa	130	122,6	826,7	27,7
Central- og Østeuropa	67	47,4	325,5	19,4
Nordamerika	124	114,6	904,7	17,9
Asien	111	82,7	520,3	8,3
Andre lande	6	4,5	31,0	-
Globalt	438	371,8	2608,2	13,7

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

	Antal enheder (1/1-2009)	Installeret effekt (GWe) (1/1-2009)	Produceret energi 2007 (TWh)	Andel af el- produktion 2007 (%)
Vesteuropa				
Belgien	7 PWR	5,8	45,9	54,1
Finland	2 BWR, 2 VVER	2,7	22,5	28,9
Frankrig	1 FBR, 58 PWR	63,3	420,1	76,9
Holland	1 BWR	0,5	4,0	4,1
Tyskland	6 BWR, 11 PWR	20,4	133,2	27,3
Schweiz	2 BWR, 3 PWR	3,2	26,5	40,0
Spanien	2 BWR, 6 PWR	7,5	52,7	17,4
Storbritannien	1 PWR, 4 GCR, 14 AGR	10,2	57,5	15,1
Sverige	7 BWR, 3 PWR	9,0	64,3	46,1
Central- og Østeuropa				
Armenien	1 VVER	0,4	2,4	43,5
Bulgarien	2 VVER	1,9	13,7	32,1
Litauen	1 RBMK	1,2	9,1	64,4
Rumænien	2 PHWR	1,3	7,1	13,0
Rusland	15RBMK, 15 VVER, 1 FBR	21,7	144,6	15,9
Slovakiet	4 VVER	1,6	14,2	57,2
Slovenien	1 PWR	0,7	5,4	41,6
Tjekkiet	6 VVER	3,6	24,6	30,3
Ukraine	15 VVER	13,1	87,2	48,1
Ungarn	4 VVER	1,8	13,9	36,8
Nordamerika				
Canada	18 PHWR	12,6	88,2	14,7
Mexico	2 BWR	1,4	10,0	4,6
USA	69 PWR, 35 BWR	100,6	806,6	19,4
Asien				
Indien	2 BWR, 15 PHWR	3,8	15,8	2,5
Japan	23 PWR, 32 BWR	47,6	267,3	27,5
Kina	9 PWR, 2 PHWR	8,6	59,3	1,9
Pakistan	1 PWR, 1 PHWR	0,4	2,3	2,3
Sydkorea	16 PWR, 4 PHWR	17,5	136,6	35,3
Taiwan	6 PWR	4,9	39,0	19,3
Andre lande				
Argentina	2 PHWR	0,9	6,7	6,2
Brasilien	2 PWR	1,8	11,7	2,8
Sydafrika	2 PWR	1,8	12,6	5,5



Figur 1.1. Den globale udvikling i den samlede producerede energi fra kernekraft.

1.2 Regionale tendenser

Vesteuropa

I Vesteuropa har ni lande kernekraftværker i drift: Belgien, Finland, Frankrig, Holland, Schweiz, Spanien, Storbritannien, Sverige og Tyskland. De hastigt svindende ressourcer af gas og olie i Nordsøen, kravene om reduktion i udslip af drivhusgasser og udsving i energipriserne har i flere europæiske lande ført til ændringer af energipolitikken. Spørgsmål om forsyningssikkerhed, stabile energipriser, vedvarende energi, energieffektiviseringer og udslip af CO₂ er typiske elementer i energiplanlægningerne. Som grundlast i Europas energiforsyning vil fossilt brændstof og kernekraft fortsat spille en stor rolle. I Storbritannien, Frankrig, Schweiz, Sverige og Finland indgår kernekraft som et vigtigt element i den fremtidige energiforsyning. I Belgien, Spanien og Tyskland planlægges kernekraften afviklet over en årrække. I Tyskland dækker kernekraften en fjerdedel af energiforbruget, så en afvikling inden 2022 vil blive en stor udfordring for den tyske regering. Det er vanskeligt at danne sig et overblik over situationen i Tyskland før efter parlamentsvalget i 2009.

Belgien

Belgien har to kernekraftværker, der tilsammen leverer omkring 54% af landets samlede produktion af elektricitet. Den 31. januar 2003 vedtog parlamentet en lov om gradvis afvikling af kernekraften, idet de i alt 7 reaktorer på de to værker Doel og Tihange krævedes lukket permanent efter 40 års drift. På Doel er de to ældste enheder fra 1974/75 og på Tihange er den ældste enhed fra 1975, så allerede i 2016 skal tre enheder være taget ud af drift. De to nyeste enheder er fra 1985, så i 2025 vil alle reaktorer i Belgien være taget ud af drift, med mindre den politiske beslutning omgøres. Kravet om reduktion af landets CO₂-udslip og kravet om øget forsyningssikkerhed har ført til fornyet diskussion om kernekraftens fremtid i Belgien. En kommission, der i 2007 blev nedsat af regeringen, skrev i sin rapport om landets fremtidige energipolitik, at afviklingen af kernekraften bør genovervejes. Indtil videre er der ikke noget, der tyder på en ændring af den politiske beslutning, men elektricitetselskabet Electrabel, der driver værkerne, begyndte i 2009 at forberede en eventuel levetidsforlængelse på 10 år for de tre ældste reaktorer. Tilbage i 1988 vedtog den belgiske regering et moratorium, der forbød nybygning af kernekraftværker, men Electrabel fik ved samme lejlighed lov til at opgradere allerede eksisterende værker. Opgraderingerne har gennem årene tilført 319 MWe (5,8%), så den samlede kapacitet i dag er oppe på 5760 MWe.

Finland

Finland har to kernekraftværker, der tilsammen producerer ca. 27% af landets elektricitet. Den samlede elektriske effekt af de to VVER enheder i Lovisa og de to BWR-enheder i Olkiluoto er på 2660 MWe. Beregninger over energiforbruget har påvist et behov for en ekstra kapacitet på omkring 7500 MWe frem til 2030. Efter en intens debat i parlamentet, blev der i maj 2002 flertal for byggeriet af en femte enhed. En massiv forøgelse af naturgasimporten fra Rusland kunne have været en alternativ mulighed for at imødekomme det voksende energiforbrug, men dette ville øge landets sårbarhed. Den nye enhed er baseret på Areva's EPR-reaktor og er på 1600 MWe. Opførelsen har været ramt af forsinkelser og ser nu først ud til at være tilendebragt i 2012 og er samtidigt blevet væsentligt fordyret. Der er i den forbindelse en verserende strid om erstatningsansvar mellem Areva og den finske bygherre, TVO.

Flere selskaber konkurrerer om at få lov til at bygge Finlands sjette kernekraftenhed. I april 2008 indsendte TVO ansøgning om principgodkendelse til at bygge en enhed på 1000-1800 MWe ved Olkiluoto, i februar 2009 indsendte Fortum en lignende ansøgning om opførelse af en enhed på 1000-1800 MWe ved Loviisa. Endelig indsendte et nydannet konsortium af selskaber, Fennovoima, i januar 2009 en ansøgning om at opføre en enhed på 1500-2500 MWe med tre forskellige forslag til placering af enheden. De foreslåede placeringer er udpeget af regeringen og er blevet miljøvurderede. Et svar fra regeringen på de indsendte ansøgninger kan først ventes i 2010. Med en planlægningsperiode på fem år inden påbegyndelse af byggeprocessen vil den sjette enhed først kunne stå færdig omkring 2020.

I Finland har man i lighed med flere andre europæiske lande fået en stor effektforøgelse ud af at opgradere værkerne. De to enheder på Loviisa er blevet opgraderet med 10%, og hver enhed er nu på 488 MWe. De to reaktorer på Olkiluoto er blevet opgraderet med 29%, så hver enhed nu er på 860 MWe. Der er planer om at øge effekten yderligere på enhederne på Olkiluoto ved at udskifte lavtryksturbinerne i slutningen af 2009, så effekten af hver enhed nærmer sig 1000 MWe. For nærværende har enhederne på Loviisa en 50-årig driftstilladelse, og enhederne på Olkiluoto en 60-årig driftstilladelse. Alle enhederne blev sat i drift i perioden 1977-80, så tilladelserne udløber i perioden 2027-2042.

Frankrig

Frankrig har 59 enheder, der alle drives af Electricité de France (EdF). Kernekraften dækker 78% af landets forbrug af elektricitet.

I 1995 blev der vedtaget en lov med nye retningslinjer for energipolitik og nuklear sikkerhed. Dette skete i forlængelse af en debat i parlamentet om global opvarmning, overholdelse af fremtidige CO₂-krav og forsyningssikkerhed. Loven slog fast, at kernekraft fortsat vil spille en central rolle, og at den nye reaktortype EPR vil være en vigtig del af denne udvikling. Efter opførelse og evaluering af en første enhed skal man i 2015 tage stilling til byggeriet af en serie på 40 enheder, hvilket vil være tilstrækkelig til at erstatte alle eksisterende enheder. I maj 2006 påbegyndte EdF byggeriet af den første 1600 MWe enhed ved Flamanville, hvor der allerede findes to 1330 MWe trykvandsenheder. Enheden forventes færdig i 2012 samtidig med den finske EPR, som påbegyndtes et år tidligere. I januar 2009 bekræftede præsident Sarkozy, at EdF i 2012 vil påbegynde byggeriet af Frankrigs anden EPR ved Penley nær Dieppe, hvor der i lighed med Flamanville allerede forefindes to 1330 MWe trykvandsenheder. Værket forventes at stå færdigt i 2017. Den nye reaktortype, der er udviklet i et samarbejde mellem Framatome i Frankrig og Siemens i Tyskland, er en videreudvikling af en konventionel reaktortype med fokus på sikkerhedsforbedringer.

Frankrig har udviklet sig fra i 1970'erne at have været nettoimportør af elektricitet, til i dag at være verdens største eksportør af elektricitet, som hovedsageligt sælges til Italien og Storbritannien.

Holland

Holland har kun en enkelt PWR-enhed i Borssele. Den er på 485 MWe og bidrager med 4% af landets elproduktion. Naturgas bidrager med 58%, vedvarende energi med knapt 7% og import med 18% af elforbruget. Landet har egne reserver af olie og naturgas i Nordsøen og er eksportør af naturgas.

Regeringen bekræftede i 2007 sin beslutning fra året før om, at enheden nu har en 60-årig driftstilladelse, og eftersom værket blev sat i drift i 1973, betyder dette, at værket kan fortsætte frem til 2033. Der er ikke planer om bygning af nye kernekraftværker i Holland, men der er på den anden side heller ingen lov, der forbyder nybygning af kernekraftværker.

Schweiz

Schweiz har fem enheder fordelt på fire kernekraftværker. Kernekraften dækker ca. 40% af landets behov for elektricitet, mens vandkraft står for 55% og konventionel energi dækker de resterende 5%. I 2007 vedtog regeringen en ny energipolitik, hvori indgik en udskiftning af de eksisterende enheder med nye, større og mere sikre enheder. I forlængelse af dette indsendte selskabet ATEL i juni 2008 en ansøgning til myndighederne om en principgodkendelse af bygning af en ny enhed på op til 1600 MWe ved det eksisterende kernekraftværk Gösgen, som i forvejen har en trykvandsenhed på 970 MWe. I december 2008 indsendte to andre selskaber en fælles ansøgning om opførelse af to lignende enheder ved Beznau og Mühleberg.

De eksisterende fem enheder blev sat i drift i perioden 1971-84 og med en 50-årig driftstilladelse betyder dette en udfasning i perioden 2019-34. De to enheder i Beznau og enheden i Mühleberg er fra 1969-71, så disse tre enheder lukkes i 2019-21.

Spanien

Spanien har 8 enheder fordelt på 6 kernekraftværker. Kernekraften dækker ca. 20% af landets behov for elektricitet, gas dækker 30%, kul 22% og resten dækkes af olie, vandkraft, vindkraft og andre energikilder. Ved at opgradere kernekraftværkerne er der opnået en effektførogelse på over 10%. De otte enheder blev sat i drift i perioden 1971-88, så med en 40-årig driftstilladelse vil værkerne blive udfaset i perioden 2011-2028.

Storbritannien

Storbritannien har 19 enheder fordelt på ni kernekraftværker, og de skal alle på nær et tages ud af drift inden 2023. Kernekraften dækker omkring 15% af landets forbrug af elektricitet, 36% stammer fra gas, 38% fra kul og resten stammer fra andre energikilder samt fra import - hovedsageligt fra Frankrig. Kernekraft dækker normalt omkring 20% af elektricitetsforbruget, men kernekraftens andel i energiforsyningen har midlertidigt været faldet de sidste år som følge af problemer på nogle ældre værker.

I en "hvidbog" fra januar 2008 opstillede regeringen en energipolitik, hvori kernekraft indgår i den fortsatte elproduktion. Dette anses for nødvendigt, hvis man skal opnå de ønskede mål omkring forsyningssikkerhed, reduktion af CO₂-udslip og stabile priser på elektricitet. I oktober 2008 fremlagde regeringen som mål, at udslippet af drivhusgasser skal være reduceret med 80% i 2050.

I første omgang skal de eksisterende kernekraftværker udskiftes, og på længere sigt kan der bygges nye værker, enten ved de gamle værker, hvor den eksisterende infrastruktur kan udnyttes, eller på nye placeringer.

I 2007 åbnede regeringen op for, at reaktorleverandører kunne indsende ansøgninger om godkendelse af reaktordesign. Fire sådanne ansøgninger blev indsendt: Areva's EPR, AECL's ACR-1000, Westinghouse's AP1000 og GE-Hitachi's ESBWR, men efterfølgende blev ACR-1000 og ESBWR ansøgningerne trukket tilbage. Behandlingen af de to tilbageværende ansøgninger ventes at tage omkring 3½ år og koste ca. 10 mio. pund, og resultatet kan dermed ventes en gang i 2011. Industrien har endvidere fået adgang til at indsende forslag til placering af værker frem til 31. marts 2009. I kriterierne for placeringer indgår bl.a., at der ikke må være større bebyggede områder i nærheden af det udpegede område.

Af hensyn til forsyningssikkerheden ønsker regeringen, at der bliver mindst to forskellige operatører af enhederne, og at flere forskellige reaktortyper vil blive repræsenterede. Den nukleare industri har fået en frist frem til 31. marts 2009 til at udpege mulige placeringer for den første runde af nye kernekraftværker.

Electricité de France (EdF) overtog i 2008 British Energy, hvilket blev godkendt i december 2008 af EU kommissionen på betingelse af, at EDF solgte nogle af deres landområder ved de britiske kernekraftværker fra. EdF planlægger at bygge fire EPR-enheder på i alt 6400 MWe ved Sizewell og Hinkley Point, og kan dermed komme til at indtage en nøgleposition i udbygningen af kernekraft i Storbritannien.

Med en forberedelses- og planlægningsperiode på 5-6 år vil byggeriet af de første enheder kunne påbegyndes omkring 2014, og de første enheder vil kunne stå færdig-opførte omkring 2020.

Sverige

Sverige har 10 enheder fordelt på 3 kernekraftværker. Kernekraft og vandkraft står for 90% af Sveriges forsyning af elektricitet. Resten dækkes af fossile brændstoffer, vindenergi og eventuel import fra udlandet. Mængden af vand til vandkraft kan variere fra år til år, hvilket har indflydelse på import/eksport af elektricitet.

Den 5. februar 2009 besluttede den svenske flertalsregering, at de eksisterende kernekraftenheder vil kunne erstattes med nye kernekraftenheder, efterhånden som de gamle enheder nedlægges. Dette er en markant ændring i forhold til den hidtidige energipolitik, som var baseret på at kernekraften gradvis skulle udfases, og vedtagelsen indebærer dermed, at afviklingsloven for kernekraft skal ændres.

I beslutningsgrundlaget indgår det, at antallet af kernekraftenheder ikke må øges, men at de nye enheder kun må opføres til erstatning for enheder, der bliver nedlagt. Der er ikke angivet nogen maksimal størrelse på de nye enheder. De eksisterende enheder har en gennemsnitlig størrelse på 900 MWe, mens nye kernekraftenheder kan have en størrelse på op til 1600 MWe. Dermed vil det være muligt at øge den samlede kernekraftkapacitet betydeligt.

De eksisterende ti enheder har en 40-årig driftstilladelse, hvilket vil føre til en udfasning i perioden 2012-2025. Imidlertid kan der i forbindelse med opgraderinger af enhederne blive tale om forlængelser af driftstilladelse til 60 års levetid.

Tyskland

Tyskland har 17 enheder fordelt på 12 kernekraftværker. Kernekraft dækker ca. en fjerdedel af landets behov for elektricitet, kul står for ca. halvdelen, vind- og vandkraft for knapt 10%, og resten dækkes af andre energikilder, herunder olie og biomasse.

I juni 2001 indgik den daværende koalitionsregering en aftale med industrien om, at levetiden for tyske enheder i gennemsnit skulle begrænses til 32 år, at de to mindst økonomiske enheder, Stade og Obrigheim, skulle nedlukkes i henholdsvis 2003 og 2005, og at nyt byggeri af kernekraftenheder vil være udelukket. Det er i princippet muligt at overføre produktionskvoter mellem de forskellige kernekraftværker og derved påvirke rækkefølge og tidspunkter for nedlukning, men uden overførsel af kvoter vil Biblis-A, Biblis-B og Neckarwestheim-1 blive lukket ned i 2010. Herefter følger nedlukning af de resterende værker indtil 2022, hvor kernekraft vil være faset ud.

Selv om der satset på energieffektiviseringer og udbygning af vedvarende energi, vil lukningen af kernekraftværkerne kunne føre til en øget import af gas fra Rusland og elektricitet fra Frankrig, således at afhængigheden af energiimport øges.

Central- og Østeuropa

Nuklear sikkerhed på kernekraftværker beliggende i det tidligere Sovjet var på G7's dagsorden på München topmødet i 1992. Det blev på mødet besluttet at arbejde for en permanent nedlukning af de ældste reaktortyper af sovjetisk design. Der blev fokuseret på reaktortyperne RBMK og VVER-440 model V-230, der begge ville være meget vanskelige at bringe op på et vestligt sikkerhedsniveau. I forbindelse med forhandlingerne med de østeuropæiske lande om optagelse i EU blev der stillet krav om permanent nedlukning af disse reaktorer. På nær RBMK-enheden Ignalina-2 i Litauen er alle andre enheder af disse typer blevet permanent lukket ned i de østeuropæiske EU-lande, mens Rusland stadig har en del værker af de to typer i drift. Desuden har Armenien en enkelt VVER-440 model V-230 i drift.

I Vesteuropa er der ikke sat nye enheder i drift inden for de sidste 10 år. Anderledes forholder det sig i Central- og Østeuropa, hvor der er idriftsat to enheder i Tjekkiet, en enhed i Rumænien, to enheder i Ukraine samt to enheder i Rusland inden for de sidste 10 år.

Kravet om reduktion af udslip af drivhusgasser og om øget forsyningssikkerhed er vigtige elementer i energipolitikken i de central- og østeuropæiske lande, hvor især ønsket om reduceret afhængighed af russisk olie og naturgas samt stabilisering af energipriserne spiller en stor rolle. Disse mål søges opnået gennem udbygning af vedvarende energi og kernekraft. Såvel kernekraftlandene som Albanien, Hviderusland, Polen, Estland og Letland, der ikke har kernekraft, har planer om byggeri af nye kernekraftværker. De første kernekraftværker er planlagt til at kunne blive sat i drift i perioden 2016-2020, hvor produktionen af olie og gas Nordsøens ressourcer af vil være aftagende. Polen har både planer om at bygge et værk ved Zarnowich, hvor byggeriet af en tidligere kernekraftenhed blev påbegyndt, men ikke fuldendt, og om deltagelse i et fælles polsk-baltisk værk ved Visaginas nær Ignalina i Litauen. Det meste af Polens energiforsyning er i dag baseret på kul og brunkul. Tyrkiet har også planer om at opføre kernekraftværker og indhentet tilbud på kernekraftenheder.

Armenien

Armeniens eneste kernekraftværk Metsamor har to reaktorer af den gamle type VVER-440 model V-230. Kun Metsamor-2 er i drift, og trods omfattende sikkerhedsopgraderinger, herunder jordskælvsikring, opfylder denne reaktor ikke vestlige sikkerhedskrav. Da den leverer omkring 40% af landets elektricitetsforbrug, kan den ikke undværes, og permanent nedlukning afventer etableringen af en alternativ elforsyning. Gasfyrede værker dækker ca. 30% af elforsyningen, og de resterende 30% dækkes af vandkraft. Regeringen planlægger med hjælp fra udlandet at have en moderne 1000-1200 MWe enhed (Metsamor-3) klar omkring 2016-2017, hvorefter den gamle enhed kan lukkes ned. Enheden er nu kommet i udbud. Både EU og USA har erklæret sig rede til at yde økonomisk bistand til dette projekt.

Bulgarien

Kernekraftværket Kozloduy med to VVER-1000 reaktorer (Kozloduy-5 og -6), står for omkring 33% af landets elproduktion. Kulfyrede værker dækker omkring 43% af produktionen, vandkraft 10% og resten er baseret på vindkraft og gas.

Allerede i 1986-87 begyndte det bulgarske statslige el-selskab NEK at opføre et kernekraftværk ved Belene. Byggeriet blev imidlertid indstillet i 1991 på baggrund af Tjernobyl-ulykken og de politiske omvæltninger i Østeuropa. Byggeriet er nu genoptaget, og de to enheder forsynes med VVER-1000 reaktorer. Det ventes, at værket vil kunne sættes i drift omkring 2015-2016.

Litauen

Kernekraftværket Ignalina med verdens to største RBMK-reaktorer (RBMK-1500) blev i det tidligere Sovjetunionen bygget til at forsyne ikke alene Litauen, men en hel region, med elektricitet. EU krævede i forbindelse med Litauens optagelsesforhandlinger til EU, at begge Ignalina-værkets to enheder skulle lukkes. Ignalina-1 blev permanent lukket ned i december 2004. Ignalina-2, der har en midlertidig tilladelse til at levere op til 1185 MWe, vil være i drift frem til udgangen af 2009. Denne enhed har med sit bidrag på omkring 70% af landets elproduktion stor betydning for de lave el-priser i Litauen. Elprisen ventes efter nedlukning af værket at stige betydeligt, og staten har givet tilladelse til en stigning på op til 70% i 2010.

Forsyningssikkerhed, stabile el-priser, reduktion i udslippet af drivhusgasser, energi-effektiviseringer og uafhængighed af russiske gasleverancer er vigtige elementer i planlægningen af den fremtidige energiforsyning. Kombinerede kraft-varmeværker, vedvarende energi (vindkraft) og kernekraft ventes alle at komme til at spille en rolle i den fremtidige energiforsyning. Omkring 20% af elproduktionen er baseret på gas, der næsten udelukkende kommer fra Rusland.

Forskellige modeller for udbygning af elforsyningen med kernekraft er på tale. I februar 2007 blev Litauen, Letland og Estland samt Polen enige om at bygge et nyt kernekraftværk ved Ignalina med 2-5 enheder på i alt op til 3400 MWe. En miljøreddegørelse blev i januar 2009 sendt til miljøministeriet, og de to første enheder er planlagt til at stå færdige i 2016 og 2021. Hvis ikke dette gennemføres som planlagt, overvejer Estland at bygge sit eget kernekraftværk.

I maj 2008 nedsatte regeringen en organisation, "Lithuanian Energy Organization", der bl.a. skal arbejde med udbygningsplaner for kernekraft og opførelse af en kraftig transmissionslinje til Polen.

Litauen modtager international støtte til dekommissioneringen af Ignalina-værket, og dette projekt vil strække sig over de næste 30 år. De forberedende arbejder til opbygning af faciliteter til opbevaring af brugt brændsel og håndtering af radioaktivt affald er i gang.

Rumænien

Rumæniens kernekraftværk Cernavoda, der har to enheder i drift samt tre delvist færdigbyggede enheder, leverer omkring 18% af landets elproduktion. Godt 40% stammer fra olie og kul, ca. 25% fra vandkraft og resten er hovedsageligt baseret på gas. Gas og olie importeres især fra Rusland. For at opnå en større uafhængighed af import, stabile el-priser og reduktion af drivhusgasser planlægges det at færdiggøre de tre sidste enheder ved Cernavoda. Planerne er langt fremme, og enhederne, der forsynes med CANDU-reaktorer (650 MWe), ventes at stå færdige i 2015-2020.

Rusland

Rusland har i alt 31 enheder i drift, og de står for omkring 17% af elproduktionen. Enhederne fordeler sig på fire første generations VVER-440 enheder (to model V-230 i Kola og to af den lidt ældre model V-179 i Novovoronezh), to andengenerations VVER-440 enheder, model V-213 i Kola, ni tredjegenerations VVER-1000 enheder, model V-187/320/338, fordelt på værkerne Balakovo, Kalinin, Novovoronezh og Volgodonsk/Rovno, elleve RBMK-1000 enheder fordelt på værkerne Kursk, Leningrad og Smolensk, fire små EPG-6 enheder i Bilibino, der i princippet er opbygget som RBMK reaktorer. Hertil kommer formeringsreaktoren Beloyarsk-3 (BN600) på 560 MWe, der har karakter af en prototype reaktor.

Omkring 67% af elproduktionen baserer sig på gas og kul, og resten stammer hovedsageligt fra vandkraft. Mange af Ruslands kernekraftværker er ved at være gamle, og nærmer sig designlevetiden på 30 år. Det er nødvendigt at

levetidsforlænge disse værker, indtil der kan etableres alternativ elproduktion. Rusland leverer 27% af gasforsyningen til EU og får økonomisk set fem gange mere ud af at eksportere gassen end selv at bruge den til produktion af elektricitet. Desuden vil eksisterende gasressourcer i Sibirien frem mod år 2020 mindskes betydeligt. Rusland satser derfor på en betydelig udbygning af såvel kernekraft som vandkraft, således at de to energikilder tilsammen vil nærme sig 50% af den samlede produktion af elektricitet i 2030. For yderligere at kunne reducere det indenlandske gasforbrug til fordel for eksport, vil også omlægning af gasfyrede værker til kulfyring blive aktuel.

Hvis gamle enheder skal tages ud af drift, og den nukleare andel af elproduktionen øges til op mod 25% i 2030, vil det kræve opførelse af indtil flere enheder om året, hvilket er ret ambitiøst. Opførelsen af nye enheder eller færdiggørelsen af eksisterende enheder vil hovedsageligt være baseret på typen VVER-1000 eller videreudviklinger heraf. Det planlægges at bygge VVER-1000 enhederne Volgodonsk-2 (også kaldet Rostov-2) og Kalinin-4 færdige, så de kan blive taget i drift i henholdsvis 2010 og 2011, og måske vil der også blive råd til at færdiggøre formeringsreaktoren Beloyarsk-4 (BN800) på 750 MWe. Den vil kunne benytte våbenplutonium som brændsel. RBMK-enheden Kursk-5 vil derimod sandsynligvis aldrig blive færdigbygget.

De første nye VVER enheder forventes at blive opført ved Leningrad og Novovoronezh og blive sat i drift i perioden 2012-2014. Novovoronezh-6 og -7 enhederne vil blive opført med den nye reaktortype VVER-1200, og de kan muligvis stå færdige allerede i 2012 og 2013. Tilsvarende vil Leningrad-2-1 og -2-2 blive opført med VVER-1200 reaktorer. De to nye enheder ved Leningrad vil stå færdige omkring 2013 og 2014. Byggeriet af Volgodonsk-3 og -4 enhederne er under forberedelse, og enhederne forventes at kunne stå færdige i 2014 og 2016.

Hertil kommer en mulig færdiggørelse af et 70 MWe flydende kernekraftværk, der har været ramt af talrige forsinkelser, bl.a. pga. problemer med finansieringen. Byggeriet af det flydende kernekraftværk har været i gang på SevMash værftet i Severodvinsk ved Ishavet, men i 2008 blev det besluttet at færdiggøre værket i Skt. Petersborg. Planen med de flydende kernekraftværker er, at de skal placeres i områder i det nordlige Rusland, hvor mulighederne at opføre kraftværker og tilhørende infrastruktur er dårlige.

Til brug i fjerne egne i det nordlige og østlige Rusland, hvor det elektriske net er af begrænset kapacitet og strømbehovet lille, er der udviklet en lille 300 MWe reaktor-enhed, VK-300. Byggeriet af disse reaktortyper ligger dog længere ud i fremtiden.

Slovakiet

Kernkraft står for 56% af Slovakiets el-produktion. Fossile brændstoffer står for en tredjedel og resten dækkes hovedsageligt af vandkraft.

Bohunice er det ældste af landets kernekraftværker, og det har stadig to VVER-440 model V-213 enheder i drift (Bohunice-3 og -4). De to første generations VVER-440 model V-230 enheder (Bohunice-1 og -2) blev lukket som et led i opfyldelse af kravene til optagelse i EU. Mochovce er det nyeste af landets to kernekraftværker. Bygningen af de fire VVER-440 model V-213 enheder påbegyndtes i perioden 1981-86. Mochovce-1 og -2 blev sat i drift i 1998-99, men byggeriet af enhederne Mochovce-3,4 blev stoppet i 1995. De delvist færdige enheder vedligeholdes dog stadig med henblik på senere færdiggørelse.

I midten af 2008 blev færdiggørelsen af Mochovce-3 og -4 godkendt af EU, forudsat at dette kan ske i overensstemmelse med bedste praksis med hensyn til at kunne modstå flystyr. Dette indebærer formentligt, at reaktorindeslutningen får mindst 1,5 m tykke jernbetonvægge. Selv om de to enheder officielt betegnes som værende under opførelse, er der ingen konkrete planer for påbegyndelse af byggeriet. For de

to tilbageværende enheder på Bohunice er der planlagt et større program til opgradering af sikkerheden, så enhedernes levetid kan forlænges fra 30 til 40 år. Da enhederne er fra 1984/85, vil de i så fald kunne fortsætte driften frem til 2025.

Slovenien

Slovenien har en enkelt kernekraftenhed, Krsko, på 670 MWe, der er forsynet med en Westinghouse PWR-reaktor. Den ejes i fællesskab af Slovenien og Kroatien. Enheden blev sat i drift i 1981, og med en levetid på 40 år, vil den kunne være i drift frem til 2021. Kernekraft udgør 42% af elproduktionen, godt og vel en tredjedel stammer fra fossile brændstoffer (hovedsageligt brunkul), mens resten hovedsagelig stammer fra vandkraft.

Slovenien overvejer at opføre en ny enhed på omkring 1000 MWe til idriftsættelse omkring 2017.

Tjekkiet

Tjekkiet har to kernekraftværker, der tilsammen leverer 32% af landets produktion af elektricitet. Den resterende produktion baserer sig hovedsageligt på kul. Dukovany, der er det ældste af de to værker, har fire enheder af typen VVER-440 model V-213 fra perioden 1985-87. Da Tjekkiet som udgangspunkt aldrig har haft enheder af den ældre model V-230, blev der ikke stillet krav om lukning af kernekraftenheder ved optagelsen i EU. For fremover at kunne få reservedele til de fire enheder, kunne leve op til internationale standarder og kunne opnå tilladelse til drift af værket frem til 2025 (30 års levetid), igangsatte værket i 2001 et udskiftningsprogram for instrumentering og kontrolsystemer. Dette program, der bl.a. indbefatter centrale sikkerhedssystemer, afsluttes i 2009.

Temelin-værket består af to enheder af typen VVER-1000, som blev sat i drift i henholdsvis 2000 og 2003. Det gennemgår et lignende moderniseringsprogram for at sikre en levetidsforlængelse frem til 2042. Det overvejes at bygge yderligere en eller to enheder ved Temelin eller Dukovany, med forventet idriftsættelse omkring 2020.

Tyrkiet

I Tyrkiet forventede man i 2008 at modtage tilbud på opførelse af 3000-5000 MWe kernekraftenheder på en eller to pladser, Akkuyu ved Middelhavet og Sinop ved Sortehavet. Enhederne skulle være på mere end 600 MWe og have en levetid på 40 år. Leverandøren skulle stå for finansiering, hvor mindst 60% skulle komme fra Tyrkiet, samt for bygning og drift af enhederne. Det statslige elselskab ville være kontraktligt forpligtet til at købe hele elproduktionen i de første 15 år af enhedernes levetid. Der forventedes tilbud fra Areva, AECL, Atomstroyexport, GE-Hitachi, Westinghouse, Kepco og et japansk firma, men da tidsfristen udløb, var der kun indkommet ét tilbud, nemlig fra Atomstroyexport. GE-Hitachi og tre andre firmaer havde bedt om udsættelse af tidsfristen for aflevering af tilbud, men havde fået afslag. Tyrkiet er betænkelig ved at acceptere det russiske tilbud, idet det vil forøge den tyrkiske el-produktions afhængighed af Rusland. Halvdelen af elproduktionen er baseret på russisk naturgas. Tilbuddene vedrører også assistance til at udnytte de tyrkiske uran- og thoriumforekomster, men heller ikke her er der tilfredshed med det russiske tilbud.

Ukraine

Ukraine har femten enheder i drift fordelt på værkerne Khmelnytsky, Rovno, South Ukraine og Zaporozhe. På nær de to ældre VVER-440 model V-213 enheder på Rovno er de alle af typen VVER-1000. Kernekraft udgør 47% af landets elproduktion, en tilsvarende andel stammer fra kul og gas (20% fra gas), og de

resterende 5% fra vandkraft. Zaporozhe er med sine 6 VVER-1000 enheder Europas største kernekraftværk.

Designlevetiden for enhederne er 30 år, og da Rovno-1,2 samt South Ukraine-1 er fra perioden 1981-83, vil de derfor skulle lukkes 2011-13, med mindre levetiden forlænges ved at opgradere sikkerheden. Et program til opgradering af sikkerheden med henblik på en levetidsforlængelse på 15 år er undervejs. Ukraines regering planlægger at bygge over 20 nye kernekraftværker i de næste 20-25 år. Halvdelen vil skulle anvendes til erstatning for udtjente værker, resten til forøgelse af elektricitetsproduktionen. En tredjedel af landets behov for uran kan i øjeblikket dækkes af egne miner.

Desuden vil de to ufærdiggjorte enheder, Khmelnytsky-1 og -2, kunne færdigbygges til idriftsættelse omkring 2016-17. Hovedparten af de nye værker er planlagt at have en kapacitet på ca. 1500 MWe.

Ungarn

Ungarn har fire VVER-440 enheder model V-213 ved kernekraftværket Paks. Kernekraft leverer 37% af landets elektricitet. Resten stammer stort set udelukkende fra kul og gas (38% fra gas), mens bidragene fra vand- og vindkraft er meget små. For at dække landets elforbrug er import fra Slovakiet nødvendigt.

Alle fire enheder er af den nyere generation VVER-440 model V-213, så der var ingen krav om lukninger i forbindelse med optagelsesforhandlingerne til EU. Enhederne blev sat i drift i perioden 1982-87, hvilket betyder, at med en levetid på 30 år vil de første enheder skulle lukkes om få år, med mindre et program til opgradering af sikkerheden gennemføres, så en levetidsforlængelse kan komme på plads inden da. Parlamentet har godkendt planer om en levetidsforlængelse på 20 år, hvorved lukning først vil blive aktuel omkring 2032-37. Ved samme lejlighed fortsættes arbejdet på at hæve effekten på enhederne. Der er endvidere planer om at bygge to nye 1000 MWe enheder ved Paks.

Nordamerika

USA og Canada har tilsammen 122 kernekraftenheder, som dækker 19% af elforbruget, mens Mexico har et enkelt kernekraftværk med to enheder, som leverer 5% af landets elforsyning.

Canada

Canada har 18 kernekraftenheder, hvoraf en ligger i delstaten New Brunswick, en i Quebec og resten i Ontario. Tilsammen dækker kernekraft 16% af Canadas elforbrug. Enhederne er alle forsynet med den canadisk udviklede CANDU trykvandsreaktor, der anvender tungt vand som moderator og kølemiddel og som benytter naturligt uran som brændsel.

En del af kernekraftenhederne ved de to store værker i Bruce og Pickering, begge i Ontario, har været lukket ned i en årrække, men er blevet renoveret i de senere år. I Pickering er seks af de i alt otte enheder i drift, mens de sidste to (Pickering-2 og -3) er lukket permanent. Ved Bruce er ligeledes seks ud af otte enheder i drift. De to enheder, der er taget ud af drift (Bruce-1 og -2), er i gang med at blive renoveret, så de kan tages i drift igen omkring årsskiftet 2009-10. De samlede omkostninger ved renoveringen af de to enheder ventes at blive i størrelsesorden 3- 3,5 mia. dollar.

Hydro-Quebec, der ejer Gentilly-2-enheden i Quebec, har i 2008 besluttet at renovere enheden. Renoveringen ventes at koste ca. to mia. dollar, og enheden, der er fra 1982, vil derefter kunne fortsætte driften indtil ca. 2040.

I tre af Canadas delstater planlægges det at udbygge elforsyningen med kernekraft. I Ontario har delstatsregeringen besluttet at opføre to enheder ved Darlington værket

på i alt 2000-3500 MWe. Tre selskaber: AECL, Areva, og Westinghouse, har budt på opførelsen af de to enheder, Westinghouse dog kun som leverandør af reaktoren. I Ontarios energiplan antages det, at kernekraft fra 2014 skal andrage 14.000 MWe, og at de kulfyrede værker skal udfases. I dag udgør kernekraftkapaciteten ca. 11.000 MWe, og kernekraft udgør ca. halvdelen af elforbruget i delstaten.

Parallelt hermed overvejer det privatejede selskab Bruce Power om Bruce B enhederne (Bruce-5 til -8) skal renoveres, eller om selskabet i stedet for skal opføre fire nye enheder ved værket. Såfremt de fire Bruce B enheder ikke renoveres, vil de blive lukket ned i perioden 2014-17.

I New Brunswick undersøger lokalregeringen mulighederne for at udbygge Point Lepreau-værket, der består af en enkelt enhed på 630 MWe, med en ACR-1000 enhed. ACR-1000-enheden er udviklet af det canadiske AECL. Hvis det besluttes at opføre enheden, vil det være den første ACR-1000 reaktor, der bygges. Enheden forventes at kunne stå færdig i 2017.

Bruce Power Alberta planlægger at opføre kernekraftenheder på op til 4000 MWe ved Peace River 500 km nord for Edmonton, sandsynligvis bestående af ACR-1000 eller EPR enheder, og evt. en 1100 MWe enhed i nabodelstaten Saskatchewan. Hvis det besluttes at opføre en eller flere af disse enheder, vil de blive de første enheder, der opføres i det vestlige Canada.

Mexico

Mexico har en enkelt kernekraftværk, Laguna Verde, med to BWR-enheder på hver 650 MWe. I 2007 indgik værket en aftale med spanske Iberdrola samt Alstom om at forsyne værket med nye turbiner og generatorer, så elproduktionen kan øges med 20%. Opgraderingen af værket ventes at være gennemført i 2010. Mexico har planer om at udbygge kernekraft med op til otte nye enheder inden 2025, hvilket vil bringe kernekraftens andel af elproduktionen op på ca. 12%. Derudover overvejes det at opføre mindre kernekraftenheder til afsaltning af havvand med henblik på kunstig vanding af landbrugsarealer.

USA

USA har 104 kernekraftværker i drift med en samlet installeret kapacitet på 100 GWe. Kernekraftværkerne findes især i det østlige og sydøstlige USA og står for knap 20% af landets elforsyning.

USA's kernekraftværker er overvejende opført i 1970'erne, men var i de første år karakteriseret ved at have en dårlig økonomi, bl.a. på grund af en dårlig kapacitetsudnyttelse af værkerne. Uheldet på Tre-Mile-Ø-værket i 1979 satte et effektivt stop for opførelsen af kernekraftenheder i USA, og forsyningsselskaberne har siden uheldet ikke bestilt nye enheder. Efter år 2000 har de amerikanske myndigheder dels åbnet mulighed for at tillade levetidsforlængelser af kernekraftenheder på 20 år, fra 40 til 60 år, dels ved gennem økonomiske og politiske incitamenter søgt at stimulere interessen for at bygge nye kernekraftværker. I 2001 blev det muligt at søge om en såkaldt "Early Site Permit", som er en forhåndsgodkendelse af en plads til nye kernekraftenheder, baseret på en miljøvurdering af pladsen. Tre selskaber har opnået en sådan tilladelse, som forenkler fremtidige ansøgninger om en byggetilladelse. Fra 2003 blev det muligt at ansøge om en kombineret bygge- og driftstilladelse, COL, og siden 2007 har i alt 14 forsyningsselskaber ansøgt om COLs for i alt 26 enheder (Tabel 1.3).

I 2008 blev der indleveret 12 ansøgninger om COLs for opførelse af 18 kernekraftenheder. Derudover indleverede Unistar-konsortiet anden del af byggeansøgningen for Calvert Cliff-enheden, efter at konsortiet i 2007 havde ansøgt om miljømæssig godkendelse af enheden. De planlagte enheder er alle baseret på såkaldte Generation 3 eller Generation 3+ reaktorer: Westinghouse's AP1000-enhed

på 1100 MWe, GE Hitachi's ABWR-enhed på 1350 MWe, GE-Hitachi's ESBWR-enhed på 1500 MWe, Mitsubishi Heavy Industries' US-APWR-enhed på 1700 MWe, og Areva's USEPR på 1600 MWe. USEPR er den amerikanske version af Areva's EPR-enhed. Mens ABWR-enheden allerede er i drift i Japan, er de andre reaktortyper endnu ikke taget i brug.

De mange ansøgninger understreger den store interesse fra elforsyningsselskaberne for at etablere nye grundlastværker baseret på kernekraft. Det er imidlertid ikke sikkert, at alle projekterne bliver gennemført. Den typiske sagsbehandlingstid hos den amerikanske reaktorsikkerhedsmyndighed, NRC, er på tre år, og først fra ca. midten af 2011 vil de første elselskaber skulle tage stilling til, om de nye enheder skal opføres. Såfremt ansøgningerne om COL bliver godkendt, vil de første enheder kunne blive sat i drift omkring 2016-17.

Prisen på de nye enheder ventes at blive i størrelsesorden 7-8 mia. USD. Dette er en del højere, end man vurderede i 2007, hvilket bl.a. skyldes udsigten til dyrere komponenter og infrastruktur. Den finansielle krise, der ramte USA og resten af verden i 2008, vil kunne påvirke udbygningen af kernekraft negativt, såfremt krisen bliver langvarig. Elforsyningsselskaberne i USA er typisk mindre og dårligere finansielt rustede end mange europæiske elselskaber. Hvis USA stadig er mærket af krisen efter 2011, vil dårlige vilkår for optagning af nye lån kunne få flere af selskaberne til at skrinlægge projekterne og dermed lægge en dæmper på udbygningen af kernekraft.

Barack Obama, der blev indsat som USA præsident i januar 2009, regnes for at være mere skeptisk over for kernekraft end sin forgænger i embedet, George W. Bush. Kernekraftindustrien forventer imidlertid, at Barack Obama i store træk vil fortsætte George Bush' politik, som indebærer en politisk og økonomisk støtte til at udbygge kernekraft, dels for at øge forsyningssikkerheden, dels for at bidrage til at nedbringe udslippet af CO₂.

Under USA's "Energy Policy Act 2005" blev der vedtaget forskellige støtteordninger til industrien som incitament til bygning af kernekraftværker baseret på nye reaktorer. Disse inkluderer skattelettelser, forsikring mod forsinkelser i myndighedsbehandlingen samt lånegarantier på op til 80% af byggeomkostningerne. De økonomiske incitamenter betragtes imidlertid ikke som tilstrækkelige til at sikre den ønskede udbygning. Skattelettelserne vedrører således kun ny installeret effekt på op til 6000 MWe, og de skal fordeles "pro rata" blandt de ansøgere om COL, der var indleveret pr 31.12.2008. Lånegarantierne andrager op til 18,5 mia. USD for kernekraftværker og 2 mia. USD til uranberigningsanlæg. Også udstedelsen af lånegarantier er betinget af, at ansøgningen om lånegaranti er blevet indleveret i 2008. Sytten ansøgninger om lånegaranti vedrørende opførelsen af 21 enheder er blevet indleveret i 2008, og de samlede byggeomkostninger er anslået til 188 mia. USD, mens låneansøgningerne beløber sig til 122 mia. USD.

DOE ansøgte i juni 2008 efter adskillige års forsinkelse om byggetilladelse til det planlagte slutdeponi for højaktivt affald ved Yucca Mountain i Nevada. Deponiet, der er planlagt til at kunne modtage 70.000 tons højaktivt affald, vil tidligst kunne tages i brug i 2020. Det er imidlertid ikke sikkert, at deponiet vil blive opført og taget i brug pga. stor politisk modstand fra Nevada's side. Præsident Barack Obama, der under valgkampen erklærede sig som modstander af Yucca Mountain-projektet, vil kunne forsinke udviklingen af deponiet, enten ved at reducere bevillingerne til Yucca Mountain projektet, så dette forsinkes yderligere, eller alternativt ved helt at lukke projektet.

Oparbejdning af brugt uranbrændsel er ikke tilladt i USA, hvilket betyder at det brugte brændsel fra kraftværkerne skal deponeres geologisk i et deponi for højaktivt affald. Det samlede mængde højaktivt affald udgør i dag ca. 70.000 tons, og der genereres årligt ca. 2500 tons, hvilket betyder at kapaciteten i Yucca Mountain

deponiet ikke vil være tilstrækkelig til at modtage alt USAs brugte brændsel, når deponiet er færdigt. Yucca Mountain deponiet vil imidlertid kunne udvides til at kunne modtage ca. 290.000 tons. Det brugte brændsel opbevares i dag i midlertidige lagre ved de enkelte værker. Her kan det ifølge den amerikanske reaktorsikkerhedsmyndighed NRC opbevares sikkert, uden væsentlige påvirkninger af miljøet, i mere end 100 år.

Tabel 1.3. USA: Ansøgninger om bygge- og driftstilladelser (COL) på nye kernekraftenheder (Kilde: NRC, 2009).

COL-ansøgninger om nye kernekraftenheder					
4. Februar 2009					
Elselskab	Ansøgningsdato	Reaktor-type	Planlagt beliggenhed (antal nye enheder)	Delstat	Eksisterende værk
Ansøgninger i 2007					
NRG Energy	09/20/2007	ABWR	South Texas (2)	TX	Ja
NuStart Energy	10/30/2007	AP1000	Bellefonte (2)	AL	Nej
UNISTAR	07/13/2007 (Miljø) 03/13/2008 (Sikkerhed)	EPR	Calvert Cliffs (1)	MD	Ja
Dominion	11/27/2007	ESBWR	North Anna (1)	VA	Ja
Duke	12/13/2007	AP1000	William Lee Nuclear Station (2)	SC	Nej
Samlet antal ansøgninger i 2007: 5 Samlet antal enheder i 2007: 8					
Ansøgninger i 2008					
Progress Energy	02/19/2008	AP1000	Harris (2)	NC	Ja
NuStart Energy	02/27/2008	ESBWR	Grand Gulf (1)	MS	Ja
Southern Nuclear Operating Co.	03/31/2008	AP1000	Vogtle (2)	GA	Ja
South Carolina Electric & Gas	03/31/2008	AP1000	Summer (2)	SC	Ja
Progress Energy	07/30/2008	AP1000	Levy County (2)	FL	Nej
Exelon	09/03/2008	ESWBR	Victoria County (2)	TX	Nej
Detroit Edison	09/18/2008	ESBWR	Fermi (1)	MI	Ja
Luminant Power	09/19/2008	USAPWR	Comanche Peak (2)	TX	Ja
Entergy	09/25/2008	ESBWR	River Bend (1)	LA	Ja
AmerenUE	07/24/2008	EPR	Callaway (1)	MO	Ja
UNISTAR	09/30/2008	EPR	Nine Mile Point (1)	NY	Ja
PPL Generation	10/10/2008	EPR	Bell Bend (1)	PA	Ja
Samlet antal ansøgninger i 2008: 12 Samlet antal enheder i 2008: 18					
Samlet antal ansøgninger i 2007 og 2008: 17 Samlet antal enheder i 2007 og 2008: 26					

Asien

I Asien har Indien, Japan, Kina, Pakistan og Sydkorea kernekraftværker i drift, mens Iran har et kernekraftværk under opførelse.

Filippinerne

Filippinerne har forhandlet med IAEA om assistance til indførelse af kernekraft i landet. På Bataan-halvøen ligger der en næsten færdigbygget kernekraftenhed, men færdiggørelsen af denne, som blev leveret af Westinghouse, blev indstillet i 1985 efter kontraktlige uenigheder og beskyldninger om korrupsion. Herefter blev enheden lagt i "mølpose". Spørgsmålet i dag er, hvad der skal til for at færdiggøre og idriftsætte enheden. Her vil man søge hjælp fra udlandet. Et andet problem er, at den nukleare ekspertise, man havde fået opbygget i landet i midten af 1980'erne, siden er forsvundet. Den skal man i gang med at genopbygge.

Forenede Arabiske Emirater

De Forenede Arabiske Emirater (FAE) planlægger at indføre kernekraft. Man sigter mod at vælge leverandør senest i 2010. FAE har færdigforhandlet en nuklear samarbejdsaftale med USA. Om samarbejdsaftalen underskrives er dog tvivlsomt, da der i den amerikanske kongres er betydelig modstand mod et samarbejde med FAE. Årsagen hertil er, at Dubai har spillet en vigtig rolle som mellemstation ved udenlandske leveringer af komponenter til det iranske berigningsanlæg. Fra fransk side har der været udtrykt interesse i at bygge og drive to 1600 MWe EPR-enheder i FAE. De vil dog næppe komme i drift før i begyndelsen af 2020'erne. Halvdelen af finansieringen skal komme fra fransk side, halvdelen fra FAE.

Golfstaterne

Gulf Cooperation Council (GCC), som omfatter Bahrain, FAE, Kuwait, Oman, Qatar og Saudi-Arabien er blevet rådgivet af IAEA om problemer ved indførelse af kernekraft i området. Mens GCC-landene har den nødvendige kapital, mangler de viden, institutioner og lovgivning på området.

Indien

Indien ønsker at øge sin kernekrafteffekt fra de nuværende 7.000 MWe til 20.000 MWe i 2020.

Den nukleare samarbejdsaftale mellem Indien og USA blev endeligt indgået i oktober 2008. Den gælder i mindst 40 år. Aftalen betyder, at Indien skal opdele sine nukleare anlæg i to dele, de civile, som skal underkastes IAEA-kontrol, og de militære, som skal holdes uden for international kontrol. Indien bestemmer selv, hvilke anlæg, der skal tilhøre hvilken kategori, idet importerede anlæg dog skal høre til de civile. Til gengæld kan Indien frit importere kernekraftreaktorer samt nukleart brændsel og uran fra USA. Såfremt brændselsforsyningen fra udlandet ophører, kan Indien overføre brændsel fra de civile til de militære anlæg. Indien har unilateralt erklæret, at landet ikke vil foretage yderligere prøvesprængninger, men da erklæringen er unilateral, kan Indien tilbagekalde denne. Sker dette, er konsekvenserne for Indien-USA aftalen ikke klar, men formentlig vil de være begrænsede. Aftalen indeholder ikke noget direkte forbud mod eksport af berignings-, oparbejdnings- og tungtvandsproduktionsteknologi til Indien. Aftalen er blevet godkendt såvel af det indiske parlament, den amerikanske kongres, IAEA, med hvem der er indgået en kontrolaftale, og, efter amerikansk pres, af Nuclear Suppliers Group.

Aftalen åbner for indisk import af letvands-kernekraftenheder fra USA. Også Rusland og Frankrig, som er interesserede i at eksportere kernekraftenheder til

Indien, har indgået eller forventes at indgå lignende aftaler med Indien. I december blev der indgået en aftale om, at Rusland vil levere yderligere fire enheder til Kudankulam-værket, hvor to VVER-1000 enheder er under opførelse. Herudover vil Rusland levere yderligere seks kernekraftenheder til andre lokaliteter. De nye enheder vil muligvis blive VVER-1200 enheder med en effekt på 1170 MWe. Rusland vil også levere 2000 t uran til Indien.

Indien arbejder med udvikling af en 300 MWe avanceret tungtvandsreaktor, AHWR, som vil få ca. 67% af sin effekt fra thoriumbrændsel. Endvidere bygger man ved Kalpakkam en 500 MWe hurtigreaktor, som vil benytte MOX-brændsel og være forsynet med en thoriumkappe, hvori der produceres U-233. Den planlægges at blive kritisk i 2010.

Indonesien

Den indonesiske atomenergikommission, Batan, har forsøgt at overtale regeringen til at starte et kernekraftprogram med idriftsættelse af den første enhed i 2017, men hidtil uden held. Landets lokalregeringer er væsentlig mere interesserede i indførelsen af kernekraft. Forskellige reaktortyper har været under overvejelse, bl.a. den fransk-japanske ATMEA PWR-enhed, en russisk skibsbåren KLT-40 enhed og en sydafrikansk PBMR-enhed.

Iran

Kernekraftenheden ved Bushehr, en russisk VVER-1000 enhed, ventes at starte op i 2009.

Iran fortsætter med udbygningen af det kontroversielle centrifugeanlæg ved Natanz (se afsnit 3.2).

Israel

Israel har ikke tilsluttet sig Ikke-Sprednings-aftalen, NPT, og da den overvejende del af landets nukleare anlæg ikke er under IAEA-kontrol, kan det ikke ifølge Nuclear Suppliers Group's regler købe kernekraftenheder og -udstyr i udlandet. Da Israel er interesseret i indførelse af kernekraft, og da landet ikke selv er i stand til at bygge kernekraftenheder, men må importere dem fra udlandet, har man stillet krav om at få en aftale med USA i lighed med den, USA har indgået med Indien.

Japan

Japan får ca. 30% af sin elforsyning fra kernekraftværker, alle med letvandsreaktorer, og i 2030 planlægges 49% af elforsyningen at komme fra kernekraft. I 2100 forventes 67% af elforsyningen at komme fra fission- og fusionsreaktorer, heraf 18% fra LWR-enheder, 35% fra hurtigreaktorenheder og 14% fra fusionsenheder.

Japan har en meget betydelig reaktorindustri. Hitashi, Toshiba og Mitsubishi (MHI) er alle reaktorleverandører, og Toshiba ejer derudover det amerikanske reaktorfirma Westinghouse. Desuden er Japan Steel Works leverandør af tunge reaktorkomponenter, f.eks. reaktortanke. Der satses såvel på bygning af kernekraftenheder i Japan som i udlandet. MHI har i USA søgt om tilladelse til at bygge firmaets 1700 MWe US-APWR, og firmaet har tillige udviklet en modificeret APWR-enhed til salg på det europæiske marked. Toshiba har startet et nyt firma i USA, der skal markedsføre ABWR-enheder. Den japanske regering har godkendt, at den kan yde lånegarantier ved bygning af japanske kernekraftenheder i udlandet. For at tillade en sådan långivning er der lavet en ny institution, Finance Corporation.

Den japanske reaktorindustri har et betydeligt samarbejde med udenlandske firmaer. Toshiba samarbejder med det russiske Atomenergoprom om reaktordesign samt

fremstilling af reaktorkomponenter og -brændsel. MHI forhandler med det franske Areva om etablering af et fælles firma til fremstilling af brændsel til letvands- og gaskølede reaktorer. MHI og Areva udbyder til asiatiske lande deres fælles PWR-enhed, ATMEA-1, med en effekt på mellem 1000 og 1150 MWe. Hitachi og General Electric vil markedsføre såvel den japanske ABWR-enhed på 1350 MWe som den amerikanske ESBWR-enhed på 1520 MWe.

Der er indgået et samarbejde mellem Japan, Frankrig og USA om videreudvikling af den hurtige, natriumkølede reaktor. Monjo-reaktoren, der er en sådan reaktor, har været lukket ned i et par år p.g.a en natriumlækage, men ventes startet op igen i februar 2009 og vil indgå i dette samarbejde. Samarbejdet vil bl.a. omfatte undersøgelser af forbrænding af transuraner i hurtigreaktoren. Alle tre lande planlægger at bygge prototyper af hurtige reaktorer. Den japanske udgave, Japanese Sodium Fast Reactor (JSFR), bliver designet af et konsortium ledet af MHI. Der er også indgået en samarbejdsaftale med Kazakhstan om udvikling af højtemperatur, gaskølede reaktorer.

I juli 2007 indtraf der et kraftigt jordskælv i nærheden af kernekraftværket Kashiwazaki Kariwa, der ejes af elselskabet Tepco. Skælvet havde en styrke der lå i overkanten af, hvad værket efter de japanske sikkerhedsbestemmelser er konstrueret til. Derfor krævede sikkerhedsmyndighederne, at alle værkets syv enheder skulle gås nøje efter for at konstatere og udbedre eventuelle skader. Desuden skærpedes sikkerhedskravene for jordskælv. Dette betød, at værkets syv enheder har været nedlukket siden jordskælvet. Undersøgelserne har ikke ført til, at der er konstateret væsentlige skader på enhederne, men de kommer ikke i drift før i 2009, hvilket har påført Tepco et tab på 2,6 mia. \$. Dette har som konsekvens, at idrifttagningen af Tepcos to nye enheder ved Fukushima Daiichi-værket og to nye enheder ved Higashidori-værket er blevet udskudt til henholdsvis 2015 og 2015-2018.

Elselskabet Electric Power Development Corporation har fået tilladelse til at bygge en 1383 MWe ABWR-enhed i Aomori-prefekturet i det nordlige Japan. Den ventes at komme i drift i 2012.

Det japanske Rokkasho-anlæg til kemisk oparbejdning af udbrændt brændsel, der ligger i Aomori-prefektur, er under afprøvning. Dets start er blevet forsinket, men ventes snart i drift. Det har en kapacitet på 800 tons brændsel pr. år. Udvælgelsen af placeringen af det japanske deponi for højaktivt affald er udskudt til 2012. Deponiet vil være baseret på dyb, geologisk deponering, og byggeriet er udskudt til at starte omkring 2030. Deponiet ventes taget i drift omkring 2035. De japanske kernekraftværker er begyndt at anvende MOX-brændsel, fremstillet af Nuclear Fuel Industries, ved brug af plutonium fra oparbejdet brændsel.

Jordan

Jordan har indgået nukleare samarbejdsaftaler med såvel USA, Canada og Kina med henblik på at indføre kernekraft til elproduktion og afsaltning af vand. Det franske firma Areva har dannet et joint venture med Jordan med henblik på prospektering af landets uranforekomster, som skønnes at være på 80.000 tons uran samt yderligere 100.000 tons uran, der vil kunne udvindes ved samtidig fosfatproduktion.

Kina

Kina planlægger at have udbygget kernekraften fra 9,9 GWe i dag til 40 til 60 GWe i 2020, hvor den vil dække 5-6% af landets el-forbrug. Men en flaskehals kan blive mangel på tilgængelig, teknisk kvalificeret arbejdskraft. Alle de kinesiske kernekraftenheder ligger ud til Stillehavs-kysten, men der planlægges opført en første enhed inde i landet ved byen Xianning, 400 km sydøst for De Tre Slugters Dæmning.

Kinas tre selskaber med kernekraftenheder, China Guangdong Nuclear Power Co (Cgnpc), China National Nuclear Corp. (CNNC) og China Power Investment Corp., har i alt 11 enheder i drift og ca. 20 under opførelse. Af de idriftsatte enheder er fire leveret af det franske Framatome (nu Areva), to af det canadiske AECL, to af det russiske Atomstroyexport, et af det japanske MHI og to af CNNC. De ca. 20 enheder under opførelse leveres af det franske Areva (2), af det amerikanske Westinghouse (4) og af kinesiske firmaer (ca. 14).

CNNC har udviklet en trykvandsreaktorenhed, CNP-1000, med en effekt på 1000 MWe. Cgnpc har på basis af de franske 900 MWe enheder ved Dai Bay og Ling Ao udviklet en tilsvarende enhed, CPR-1000, der også har en effekt på 1000 MWe. Den væsentligste forskel på de to reaktorer er kernedesignet, idet CNP-1000 har 177 brændselementer, mens CPR-1000 har 157. På længere sigt vil Kina givetvis satse på kernekraftenheder med en noget større effekt, f.eks. 1400-1600 MWe.

Westinghouse er indstillet på i forbindelse med opførelsen af de fire AP-1000 enheder at overføre det meste af den til bygning af disse enheder nødvendige teknologi til kinesiske virksomheder. Areva har valgt en anden fremgangsmåde, idet Areva vil oprette et fælles foretagende sammen med Cgnpc. Dette skal bygge 2. og 3. generations kernekraftenheder, først i Kina og senere i udlandet. Cgnpc vil få 55% af aktiekapitalen og Areva 45%. Areva overfører EPR-teknologien til det fælles firma samtidig med leveringen af de to EPR-enheder til Cgnpc's Taishan-værk. Det fælles firma vil også stå for salget af Cgnpc's CPR-1000 enhed.

Der er indhentet tilbud på komponenter til to 250 MWt højtemperaturreaktor-enheder, der skal bygges i den nordøstlige Shandong-provins. De to enheder producerer begge damp til en fælles 200 MWe turbogenerator. Bygning af de to enheder forventes indledt i 2009 og værket idriftsat i 2013. Værket kan senere udbygges til at omfatte 18 modulære højtemperatur-enheder.

China First Heavy Industries (CFHI) samarbejder med det sydkoreanske firma Doosan om fremstilling af tunge reaktorkomponenter, tryktank og dampgeneratorer til de fire AP-1000 enheder, Westinghouse skal levere. Det forventes, at CFHI gradvis vil overtage en stadig større del af arbejdet, og CFHI udvider derfor sin produktionskapacitet. CFHIs fabrik ligger i byen Fulaerji i Nordøstkina. Der er i alt fire kinesiske firmaer, der skulle kunne udvikles til at fremstille tunge komponenter til reaktorer: CFHI, China National Erzhong Co. i det sydvestlige Kina, Shanghai Electric Heavy Industries og Dongfang-gruppen. Man sigter mod i 2015 at kunne fremstille over 20 tryktanke med tilhørende dampgeneratorer om året.

Mongoliet

Mongoliet har indgået en aftale med Rusland om samarbejde om at bygge mindre kernekraftenheder i landet og at udvinde landets uranforekomster. Mongoliets uranforekomster indeholder mellem 60.000 og 150.000 t uran.

Pakistan

I 1986 indgik Pakistan og Kina en aftale om nukleart samarbejde, herunder om kinesisk levering af kernekraftenheder til Pakistan. Et resultat af denne aftale var indgåelsen af kontrakter om levering af de to Chasnupp-1 og -2 enheder, hver på 300 MWe. Kontrakten om bygning af Chasnupp-1 blev indgået i 1991, og enheden kom i drift i 2000. Kontrakten om Chasnupp-2 blev indgået i 2004, og den venttes i drift i 2011. Kina blev først i 2004 medlem af Nuclear Suppliers Group (NSG) og var derfor ikke tidligere bundet af dennes bestemmelser, men er det i dag. Pakistan ønsker yderligere levering af to 600 MWe PWR-enheder fra Kina og mener, at disse kan leveres uden NSG's godkendelse, idet de var indeholdt i aftalen fra 1986. Herimod anfører bl.a. USA, at der ikke forud for Kinas medlemskab af NSG var indgået en egentlig kontrakt om levering af de to enheder, og at de derfor skal

godkendes af NSG. Parallelt hermed argumenterer Pakistan for, at når Indien kan få lov til at indkøbe kernekraftværker og -brændsel i udlandet uden at være tilsluttet NPT, og uden at Indiens kernevåbenrelaterede anlæg skal underkastes international kontrol, må det samme gælde for Pakistan. Hvordan Kina stiller sig til spørgsmålet, er ikke klart, men under den pakistanske præsidents besøg i Kina i efteråret 2008 blev der ikke underskrevet nogen kontrakt om levering af de to enheder, så Kinas holdning er formentlig henholdende.

Sydkorea

Det sydkoreanske, statslige elselskab Korea Hydro & Nuclear Power Co (KHNP) dækker i dag ca. 35% af elforbruget med kernekraft, men forventer, at denne andel stiger til 60% i 2030.

Sydkoreas kernekraftindustri er domineret af ingeniørfirmaet Korea Power Engineering Corp (Kopec) og reaktorleverandøren Doosan Heavy Industry & Construction Co (Doosan). Doosan og Kopec har bygget ti 1000 MWe PWR-enheder. Fire af disse er OPR-enheder, som er af koreansk design, baseret på Combustion Engineering's 1000 MWe PWR. De to firmaer er nu i gang med at opføre to 1400 MWe PWR-enheder (APR-1400) ved Shin-Kori og har fået ordre på bygning af yderligere to APR-1400 enheder ved Shin-Kori. Doosan og Kopec vil gerne bygge kernekraftenheder i udlandet, ikke mindst i Kina, men da OPR og APR-1400 er baseret på licenser fra Westinghouse, som i dag ejes af Toshiba, er dette ikke muligt uden køb af rettighederne, hvilket kan blive dyrt. Derfor har landets kernekrafteksport hidtil begrænset sig til komponenter, herunder reaktortanke, ikke mindst til Kina, men Kina er selv interesseret i at fremstille komponenterne. Derfor håber man på at komme til at levere hele kernekraftenheder.

Der er kredse i Sydkorea, især omkring forskningslaboratoriet Korean Atomic Energy Research Institute (KAERI), som mener, at man skal afstå fra yderligere udvikling af trykvandsreaktoren og i stedet gå i gang med udvikling af hurtigreaktorer i samarbejde med USA og andre, fordi det globale PWR-marked er domineret af Areva og Westinghouse. På KAERI arbejder man med udvikling af en 600 MWe natriumkølet hurtigreaktor. Ved hurtigreaktoren vil det være nødvendigt at oparbejde det udbrændte brændsel, og her forsker man på KAERI i pyro-oparbejdning. Denne består i smeltning af det metalliske brændsel og udslagning af størstedelen af de indeholdte fissionsprodukter. En større indsats på dette område kræver imidlertid amerikansk accept, idet Sydkorea har en aftale med USA om ikke selv at foretage oparbejdning. En anden sydkoreansk gruppe, Nutrek og Seoul National University, arbejder med udvikling af en bly-vismut-kølet hurtigreaktor med en effekt på 35 til 500 MWe. Det er dog mest sandsynligt, at man i adskillige årtier vil fortsætte med at bygge APR-1400 enheder.

Sydkoreas nye regering ventes at ville tillade byggeriet af et deponi til lav- og mellemaktivt affald i en granitformation nær Wolsong kernekraftværket. Befolkningen har mod økonomisk kompensation accepteret deponiet.

Taiwan

Selv om Taiwans seks kernekraftenheder i 2007 opnåede den hidtil største el-produktion, har landets kernekraft haft væsentlige problemer i 2008. Den tidligere regering havde forsøgt at standse opførelsen af de to 1300 MWe Lungmen ABWR-enheder, som leveres af GE, men var blevet underkendt af Taiwans højesteret. Det medførte imidlertid store forsinkelser, og disse er siden fortsat, bl.a. p.g.a. behov for genforhandling af kontrakter, problemer med ansættelse af stab, bl.a. kvalificerede ingeniører, en dødsulykke med to dræbte på byggepladsen, ineffektiv ledelse, m.m. De to Lungmen-enheder, hvor byggeriet blev indledt for 12 år siden, ventes først færdige i 2009 og 2010.

Det var forventet, at den nye Kuomintang regering, der kom til magten efter valget i begyndelsen af året, hurtigt ville give tilladelse til udvidelse af lagrene af udbrændt brændsel ved Taiwans kernekraftværker, men tilladelsen har trukket ud. Det samme gælder levetidsforlængelse af de ældste enheder samt effektforøgelse af enhederne, som er ønskelig for at reducere afhængigheden af importeret fossilt brændsel. Endelig er der problemer med etablering af et deponi for lavaktivt affald.

Thailand

Thailands regering har afsat 52 mio. USD til over de næste tre år at forberede indførelsen af kernekraft i landet, idet landets el-produktion er alt for afhængig af brugen af naturgas. Forberedelserne omfatter bl.a. ændring af lovgivningen, oprettelse af et nukleart sikkerhedsorgan og fremskaffelse af den nødvendige ekspertise. Det planlægges at have to kernekraftenheder på hver ca. 1000 MWe i drift i 2020. De reaktortyper, der ventes at komme på tale, er den amerikanske AP-1000, den japanske ABWR, den canadiske Candu og muligvis også den kinesiske CPR-1000 enhed.

Vietnam

Vietnam har nukleare samarbejdsaftaler med Canada, Frankrig, Japan, Kina, Sydkorea og USA. Det vietnamesiske parlament har besluttet at bygge Vietnams første kernekraftværk i Ninh Thuan-provinsen. Det skal forsynes med to 1000 MWe enheder, hvoraf den første skal komme i drift i 2020. Desuden overvejes det at bygge yderligere to 1000 MWe enheder i Vinh Hai-provinsen. Det forventes, at kernekraft vil dække 15-20% af elforbruget i 2050. En kernekraftlov vil træde i kraft i 2009, men et problem er etablering af den nødvendige hjemlige ekspertise. Tidligere ambitioner om udvikling af egen nuklear industri synes i dag at være skrinlagt.

Andre lande

I Afrika og Sydamerika er det kun Argentina, Brasilien og Sydafrika der har kernekraftværker, men et voksende antal lande i disse verdensdele har angivet interesse for indførelse af kernekraft.

Brasilien

Den brasilianske regering har givet en bevilling på 1,3 mia. euro til færdigbygning af Angra-3 enheden. Den vil komme i drift i 2014 og have en effekt på 1350 MWe. Opførelsen af Angra-3 blev indstillet i 1980'erne på grund af kapitalmangel. Landets kernekraftselskab, Electronuclear, har ud over færdiggørelsen af Angra-3 foreslået regeringen at bygge yderligere fire til seks nye kernekraftenheder. Reaktorleverandøren er ikke valgt, men man overvejer den amerikanske AP-1000, den fransk-japanske ATMEA-1 og den russiske VVER-1000, alle på ca. 1000 MWe. De vil blive opført på en plads i det nordøstlige Brasilien mellem Recife og San Salvador og planlægges i drift inden 2030.

Egypten

Det egyptiske Nuclear Energy Agency (NEA) planlægger indhentning af tilbud på landets første kernekraftenheder, som forventes opført ved Middelhavskysten vest for Alexandria. Egypten og Rusland har indgået en aftale om nukleart samarbejde, der blandt andet omfatter et russisk tilbud om opførelse af en VVER-1000 enhed. NEA vil dog også overveje andre kernekraftenheder på ca. 1000 MWe. De første to enheder planlægges at komme i drift i 2017.

Sydafrika

Sydafrika satser dels på udvikling af sin egen, nukleare industri, dels på en meget betydelig udbygning af kernekraften i landet. Mellem 2016 og 2025 planlægger man at igangsætte 20 GWe. I første omgang har landets statslige el-selskab, Eskom, indhentet tilbud hos Areva og Westinghouse på enheder med en effekt på op til 3600 MWe. Areva tilbød to EPR-enheder med en samlet effekt på 3200 MWe, og Westinghouse tre AP-1000-enheder med en samlet effekt på 3300 MWe. Disse tilbud var baserede på nøglefærdige enheder, men de har vist sig at blive for dyre, så Eskom overvejer nu at lade en større del af enhederne fremstille i Sydafrika. Der har også p.g.a. finanskrisen været problemer med at finansiere projektet. På længere sigt, d.v.s. frem til omkring 2020, har Areva foreslået 12 EPR-enheder med en samlet effekt på ca. 20.000 MWe, mens Westinghouse har foreslået 17 AP-1000 enheder med en samlet effekt på ca. 20.000 MWe. Begge firmaer er villige til at inddrage sydafrikanske firmaer i byggearbejdet, således at Sydafrika herigennem får udviklet sin egen nukleare industri. Udviklingen af den hjemlige, nukleare industri skal i vidt omfang finansieres af den private sektor, mens Eskom vil eje aktiemajoriteten i alle elværker.

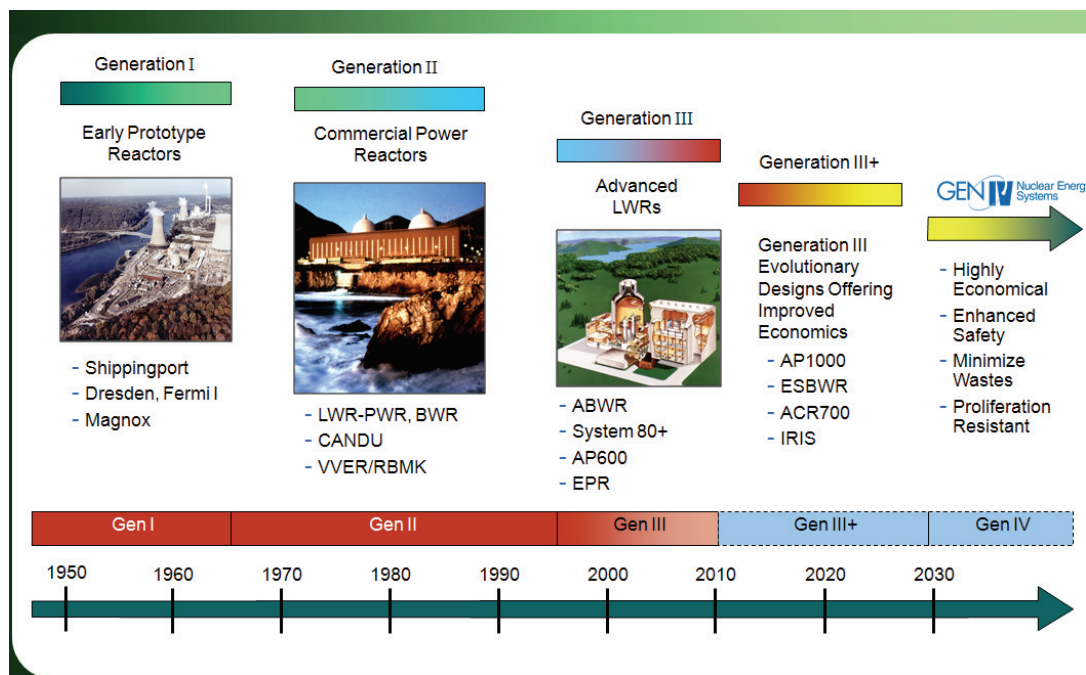
I Sydafrika arbejdes der med Pebble Bed Modular Reactor-projektet, som forestås af firmaet PBMR Pty. Projektet omfatter byggeriet af en 165 MWe prototypereaktor, Demonstration Pilot Plant (DPP), ved Koeberg-værket og en brændselkuglefabrik ved Pelindaba nær Pretoria. Brændslet består af grafitkugler indeholdende 9,6% beriget uran. Byggeriet af reaktoren ventes indledt i 2010, så denne kan komme i drift i 2014. Staten har 30% af aktierne i PBMR Pty, det statslige Industrial Development Corp. har 14%, Westinghouse har 15% og Eskom resten. Såfremt projektet er succesfuldt, vil Eskom bestille op til 4000 MWe af denne reaktortype.

Udover de oven for nævnte lande har mange andre lande givet udtryk for ønsket om at indføre kernekraft, men de vil næppe foreløbig være i stand til at realisere dette. Grunden kan være mangel på den nødvendige kapital eller den nødvendige tekniske ekspertise eller kan skyldes et for lille el-netværk. Som eksempler på sådanne lande kan nævnes Bangladesh, Laos, Malaysia, Marokko, Nepal, Oman, Singapore, Venezuela og Yemen.

2 Udvikling af reaktorer og sikkerhed

2.1 Reaktorudviklingen

Siden starten af tresserne har designet af reaktorer gennemgået en række udviklingstrin. Man taler om Generation I, II, III, III+ og IV, som illustreret i figur 2.1. Hovedtrækkene ved de forskellige generationer er beskrevet i det følgende, med fokus på udviklingen af sikkerhedssystemer.



Figur 2.1. Reaktorudviklingen Generation I – Generation IV.

Generation I

Reaktorerne fra slutningen af halvtredserne og begyndelsen af tresserne er karakteriseret ved at være såkaldte prototyper, d.v.s. de skulle demonstrere, at det var muligt at konstruere anlæg, som på sikkerhedsmæssig forsvarlig måde var i stand til at producere elektricitet på kommercielle vilkår. Shippingport i den amerikanske stat Pennsylvania er et eksempel på en af de første kernekraftenheder, der i 1957 blev koblet på el-nettet i USA. Reaktoren markerede starten på udviklingen af trykvandsreaktoren, PWR. Shippingportenheden havde en størrelse på 60 MWe, og den blev taget ud af drift i 1982 til fordel for større og mere rentable anlæg. Dresden-1 på 200 MWe, der var den første kogendevandsreaktor, blev sat i kommerciel drift i 1960. De engelske Magnox reaktorer blev også udviklet i denne periode.

Generation II

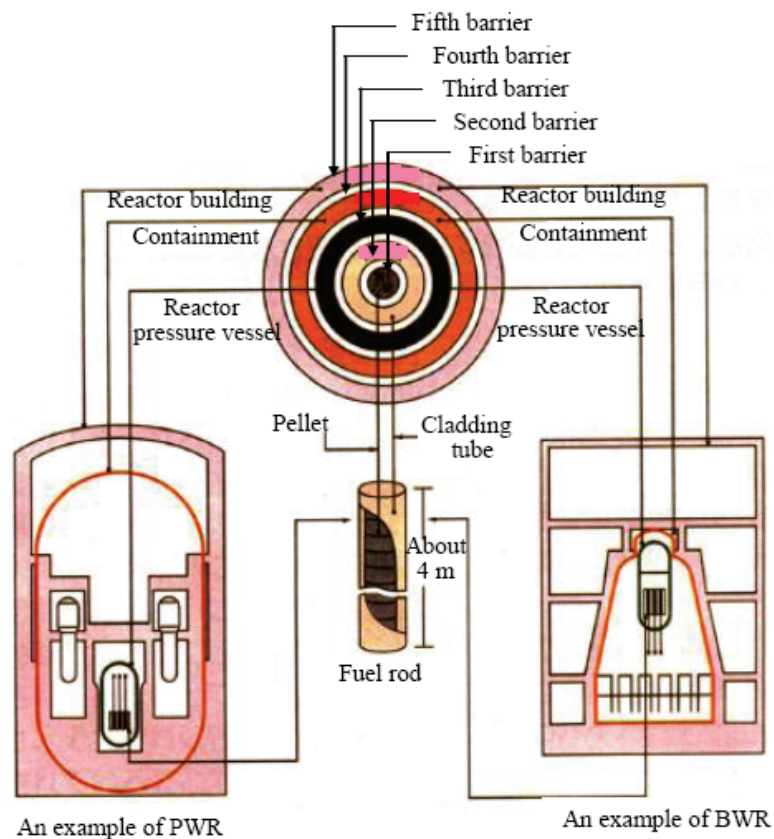
Mens Generation I reaktorerne var karakteriseret ved såkaldt "one of a kind" repræsenterer Generation II en serie af anlæg, som nok er individuelt designet, men baserer sig på de samme design principper.

Begrebet "design-basis-accident" opstår og får en væsentlig betydning for udviklingen af sikkerhedssystemer og kommer til at indgå i de nukleare myndigheders krav for at godkende nye anlæg. El-selskaber, som ansøger om at opføre et kernekraftværk, skal således igennem risikoanalyser sandsynliggøre, at anlægget er i stand til at modstå disse postulerede uheld, uden at det får konsekvenser for omgivelserne.

De væsentligste af disse postulerede uheld er:

1. Tab-af-kølemiddel uheld (LOCA)
2. Tab af eksternt el-net
3. Turbine trip
4. Svigt af kontrolstav ved hurtig nedlukning
5. Fejl ved brændselsskift

I Generation II anlæggene indgår en række fysiske barrierer, som hver for sig er i stand til at tilbageholde radioaktive stoffer i tilfælde af en lækage. Disse barrierer er illustreret i figur 2.2.

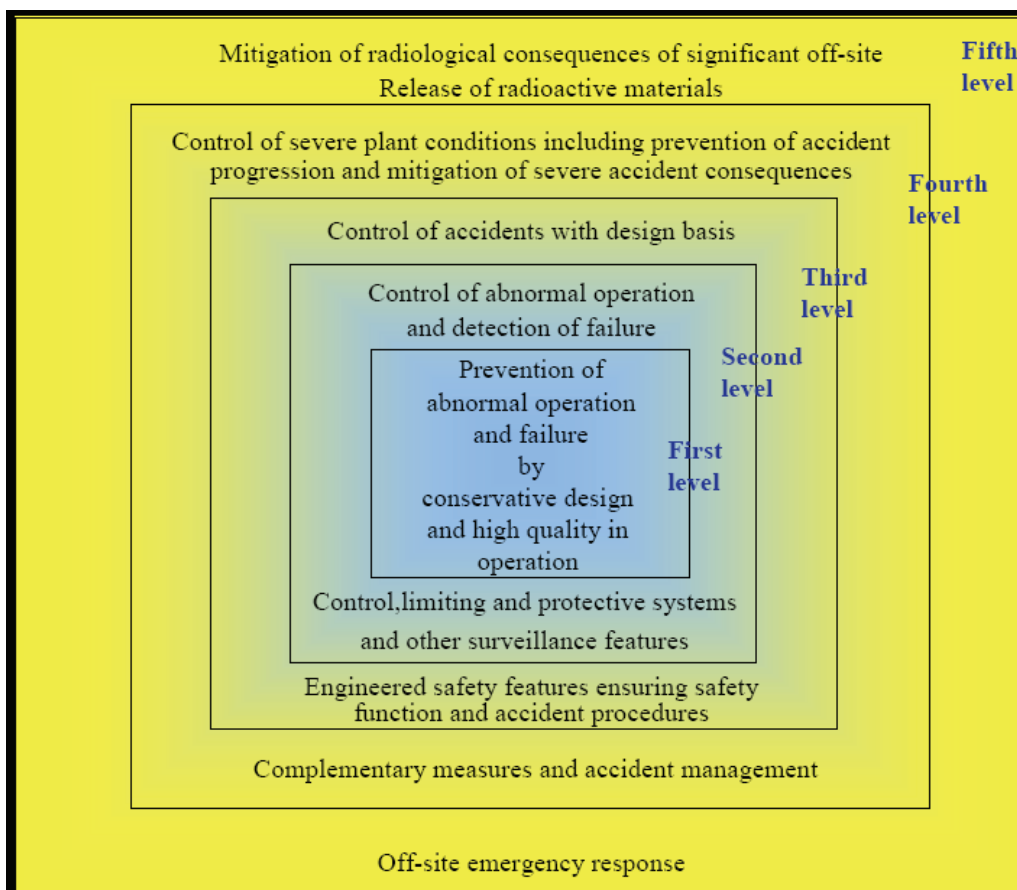


(Source): Japan Atomic Energy Relations Organization, "Nuclear Drawings" 2002/2003 fiscal year edition

Figur 2.2. Illustration af de fem fysiske barrierer for spredning af radioaktive stoffer i henholdsvis PWR og BWR anlæg.

1. barriere: Tæt pakket brændselsmatrix bestående af UO₂
2. barriere: Metalindkapslingen af brændselsstavene
3. barriere: Reaktorens tryktank af stål
4. barriere: Reaktorindeslutning af beton og stål
5. barriere: Reaktorbygningen

Et anlægs sikkerhedssystem bygger på det såkaldte dybdeforsvar (defence-in-depth), hvor man søger at hindre, at en utilsigtet driftshændelse eskalerer til et uheld. Princippet bygger på de fysisk/tekniske sikkerhedsbarrierer kombineret med procedurer for håndtering af unormale driftshændelser, herunder alvorlige uheld. Figur 2.3 viser de fem niveauer man opererer med i dybdeforsvaret.



Figur 2.3. Illustration af princippet om dybdeforsvar med 5 niveauer.

- Niveau 1: At forhindre unormale hændelser og fejl gennem anvendelse af konservativt design og komponenter med verificerede kvalitetsegenskaber (proven technology).
- Niveau 2: At forsyne anlægget med systemer, som er i stand til hurtigt at detektere eventuelle fejl eller unormale hændelser og lukke reaktoren ned, hvis det er nødvendigt.
- Niveau 3: At forsyne anlægget med systemer til at begrænse konsekvenserne af et eventuelt uheld, herunder reaktorindeslutning, nødkølesystemer m.m.
- Niveau 4: At etablere uheldsprocedurer og træne operatørerne i disse for at begrænse konsekvenserne af et eventuelt uheld.
- Niveau 5: At etablere beredskabsplaner for området omkring anlægget.

Et gennemgående træk ved sikkerhedsniveauerne er, at det ved konstruktion og valg af komponenter og systemer sikres, at der er redundans, uafhængighed og diversitet, for at undgå, at en enkelt fejl i et system sætter flere systemer ud af funktion.

Hovedparten af de 440 kraftreaktorer, der er i drift i dag, hører til generation II. Mange af anlæggene undergår i disse år gennemgribende renoveringer med henblik på at kunne sikre en fortsat drift af enhederne, ud over deres designlevetid. Ved godkendelsen af disse ”levetidslængelser” stiller myndighederne typisk krav om, at sikkerheden ved de renoverede anlæg er øget i forhold til det eksisterende anlæg.

Generation III

Denne generation af reaktorer repræsenterer en videreudvikling af reaktordesign baseret på de driftserfaringer, der er indhentet fra Generation II værkerne. Bl.a. har Generation III reaktorerne forbedret brændselsdesignet for at opnå en højere udbrænding, ligesom turbiner og generatorer har fået højere virkningsgrader.

I højere grad end tidligere anvendes standardiserede design, dels for at reducere den tid, som de nukleare myndigheder er om at godkende en ansøgning, dels for at reducere byggetiden og dermed prisen på anlægget.

Generation III reaktorerne inkluderer ABWR enheden, en 1300 MWe enhed fra General Electric, System 80+ fra Westinghouse, samt SWR-1000, en kogendevandsreaktor fra Framatome (nu Areva). Af disse er det endnu kun ABWR og System 80+ enhederne, der er opført.

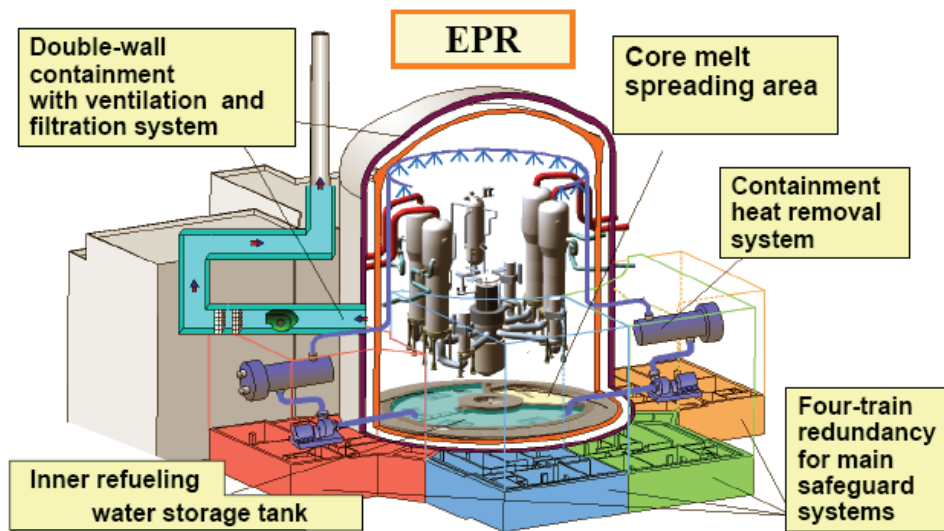
Ved Generation III reaktorerne er sikkerheden forbedret ved at tilstræbe en simplificering af design, hvilket reducerer sandsynligheden for svigt af komponenter, samt i højere grad at anvende såkaldte passive sikkerhedssystemer, der ikke kræver ekstern strømforsyning. Ved ABWR enheden inkluderer disse bl.a. højtliggende vandreservoarer for nødkøling, kondensatorer til køling af reaktorindeslutning, samt passive trykpulstransmittere.

Generation III+

I udviklingen af Generation III+ reaktorer er der foretaget yderligere tiltag for at forbedre sikkerheden, bl.a. gennem en fysisk adskillelse af de redundante sikkerhedssystemer. Man har ved generation III+ introduceret begrebet ”Beyond-Design-Basis-Accident”, hvor man forsøger at tage højde for usædvanlige hændelser, f.eks. terroraktioner. Der er imidlertid ikke nogen helt præcis overgang fra Generation III til Generation III+ designet. I nogen sammenhænge betegnes den finske EPR således som en Generation III reaktor, mens Areva selv betragter den som en Generation III+ reaktor.

AP1000 på 1000 MWe, ESBWR på 1400 MWe, EPR på 1600 MWe og USAPWR, en amerikansk tilpasset reaktor på 1700 MWe er alle eksempler på Generation III+ enheder. ESBWR reaktoren er ligesom Generation III reaktorerne forsynet med passive sikkerhedssystemer. En højere reaktortank og kortere reaktorkerne sikrer, at reaktoren kan køles ved naturlig cirkulation.

Ved EPR-enheden, som er under opførelse i Finland og Frankrig, er der indført en øget fysisk beskyttelse af sikkerhedssystemerne. Reaktoren er forsynet med en dobbeltvægget reaktorindeslutning med en stålliner imellem, der skal sikre, at reaktoren kan modstå et direkte flystyrt. Desuden er der mulighed for filtreret ventilation fra reaktorindeslutningen, og reaktoren er forsynet med en specielt ”core-catcher” i bunden af bygningen, der kan tilbageholde og køle reaktorkernen i tilfælde af en nedsmeltning (figur 2.4).



Nuclear Energy Division

IAEA International Conference - Saclay, September 7th, 2004

4

Figur 2.4. Illustration af nye sikkerhedstiltag på Generation III/III+ reaktorerne.

Generation IV

Denne nye generation af reaktorer, som først forventes i drift fra 2030, kaldes ofte for "Back to the Future", hvilket dækker over, at flere af reaktortyperne bygger på principper, som var på tale allerede i 1960'erne.

Udviklingen af generation IV reaktorerne er fokuseret på seks hovedmodeller:

1. GFR, Gas-cooled Fast Reactor, en gaskølet hurtigreaktor
2. LFR, Liquid-cooled Fast Reactor, en blykølet hurtigreaktor
3. MSR, Molten Salt Reactor, en reaktor med flydende salt som brændsel og kølemiddel
4. SFR, Sodium cooled Fast Reactor, en natriumkølet hurtigreaktor
5. SCWR, SuperCritical Water cooled Reactor, en superkritisk vandkølet reaktor
6. VHTR, Very High Temperature Reactor, en reaktor med meget høj driftstemperatur (1000 °C)

Fire af de seks reaktortyper er hurtigreaktorer, som kan udnytte op til 90% af uranressourcerne, i modsætning til de termiske reaktorer, som kun udnytter ca. 1% af energien i uranet. Dette forudsætter et lukket brændselskredsløb, hvor det brugte brændsel oparbejdes med henblik på indvinding af plutonium og andre aktinider, og hvor mængden af højaktivt affald samtidig reduceres betydeligt. De to højtemperaturreaktorer vil have en høj termisk effektivitet, og vil kunne udnyttes til procesvarme, f.eks. ved produktion af brint.

De overordnede målsætningerne for generation IV reaktorerne er at

- Enhederne skal være økonomisk konkurrence dygtige
- De skal have øget sikkerhed
- Deres produktion af radioaktivt affald skal være mindst mulig
- Risikoen for spredning af fissilt materiale skal være minimal

2.2 Beredskabssystemer

Styrkelse af det nukleare beredskab på Færøerne

Det nukleare beredskab (atomberedskabet) på Færøerne har i mange år været et rigsanliggende, og planen for det nukleare beredskab i Danmark har også været gældende for Færøerne. Dette betød, at de danske myndigheder i tilfælde af en ulykke på et kernekraftværk skulle kontakte de færøske myndigheder (politimesteren og det færøske landsstyre) med orientering og rådgivning om ulykken, således at man på Færøerne havde det bedst mulige grundlag for at kunne træffe fornødne foranstaltninger. Endvidere kunne der fra Danmark fremsendes måleudstyr og eksperter, således at en eventuel radioaktiv forurening kunne kortlægges og vurderes.

Den 1. januar 2007 overtog de færøske myndigheder ansvaret for den civile sektors beredskab og herunder også det nukleare beredskab. I den forbindelse besluttede de danske myndigheder at opbygge et måleberedskab og installere et beslutningsstøttesystem på Færøerne. Den 24. april 2007 blev der i folketinget indgået en aftale om redningsberedskabet for perioden 2007-2010. I aftalen indgår en styrkelse af det nukleare beredskab på Færøerne. Den politiske aftale tilvejebragte de nødvendige bevillinger for en færøsk overtagelse af det nukleare beredskab. Det er Beredskabsstyrelsen, der er ansvarlig myndighed for at gennemføre styrkelsen af det nukleare beredskab på Færøerne. Den vil blive afsluttet i løbet af foråret 2009 med forventet overdragelse omkring juni 2009. Projektet for Færøerne omfatter hjælp til etablering af en beredskabsplan med den dertil hørende organisationsstruktur, levering og opbygning af beredskabssystemer, samt uddannelse i brug af systemerne.

Den nukleare beredskabsplan for Færøerne omfatter bl.a. en 24 timers vagtordning med tilkaldevagt, som den færøske beredskabsmyndighed, Tilbúgingarstovnur Føroya, skal være ansvarlig for. Den vagthavende beredskabsleder alarmeres via Færøernes internationale kontaktpunkt ved Maritime Rescue Co-ordination Center Tórshavn (MRCC), der i forvejen er ansvarlig for redning på havet og overvågning af havmiljøet. Den vagthavende beredskabsleder vil efterfølgende aflæse data fra den dansk leverede målestation, der er opsat på Færøerne, se målinger fra de danske stationer, søge rådgivning hos den danske nukleare beredskabsvagt, få lavet spredningsprognoser på det leverede ARGOS system osv. Herved etableres et tilstrækkeligt beslutningsgrundlag for, at vagten kan tage stilling til, om der skal foretages en aktivering af beredskabet, og om hvad der videre skal ske. På MRCC overvåges data fra målestationen døgnet rundt. Her kan man også hurtigt kobles op til ARGOS. Færøerne har indgået aftale med DMI om adgang til online vejrdata til brug for spredningsprognoser for udslip fra fjerntliggende kernekraftværker (nærmeste ligger mere end 600 km væk) eller fra forbipasserende, nukleart drevne skibe.

De fra dansk side leverede beredskabssystemer består af en målestation til måling af det lokale strålingsniveau, håndbåret udstyr til måling af strålingsniveauet, en strålingsmåleenhed til montage under en helikopter eller indsættelse i en målebil samt beslutningsstøttesystemet ARGOS med det tilhørende nukleare informationssystem. Målestationen fungerer i princippet som de 11 danske målestationer, som hver har et ionkammer til måling af det totale strålingsniveau, en spektral natriumjodiddetektor til identifikation af radionuklider, en målecomputer og en regnmåler. Med dette udstyr kan man fratække baggrundsstrålingen fra den målte stråling og herved bestemme en evt. stigning i strålingsniveauet, der skyldes menneskelig aktivitet, f.eks. i form af et udslip fra et kernekraftværk, udslip fra en isotopproduktion eller brug af svejseudstyr nær målestationen.



Figur 2.5. Målestationen ved Sornfelli på Streymoy, Færøerne.

Ved opbygningen af målestationen på Færøerne har man måttet tage hensyn til de meget barske vejrforhold, der hersker i området. Storme med høje vindhastigheder er ikke ualmindelige, og luften er ofte både fugtig og saltholdig. Lynnedslag er ret hyppige, hvorfor lynsikring af det elektriske udstyr er særdeles vigtig. Hertil kommer, at man har måttet finde et område, der af hensyn til målegeometrien er forholdsvis fladt omkring målestationen, og hvor der er let adgang til 230 volt og netværksforbindelse. Ved Sornfelli, som ligger på øen Streymoy 12 km i luftlinie fra Tórshavn, fandt man et plateau, der opfyldte disse betingelser. Området tilhører Færøernes Kommando og har i forvejen en meteorologisk målestation. Stationens måleskab, der indeholder strålingsdetektoren, er robust og klimasikret. Det er boltet fast til en meget kraftig aluminiumsplatform på pæle, 40 cm over terræn, hvorved snefygning kan passere neden under skabet. Af hensyn til målegeometrien skal detektoren befinde sig i 1 meters højde over terræn i et fladt område, hvilket er opfyldt ved at placere detektoren 60 cm over bunden i det 120 cm høje skab. Fundamentet er støbt direkte oven på grundfjeldet, og måleskabet, platform og fundament holdes indbyrdes sammen af en meget kraftig konstruktion. Som det ses i Figur 2.5 er der yderligere spændt barduner ud mellem den øvre ramme og støbte piller et stykke væk fra målestationen. Dette sikrer, at målestationen kan modstå orkaner med vindhastigheder op til 50 m/s. På billedet ser man endvidere regnmåleren og den eksterne termometermåler, der begge er placeret på samme aluminiumshylde. Lynsikringen består af to såkaldte transientsikringer i såvel måleskabet som i servicerummet, der findes i en bygning, som ses i baggrunden på billedet. Selve skabet er sikret mod vandindtræk og har isolerede, dobbelte vægge samt et indbygget klimaanlæg, der sikrer, at elektronikken vil være operationel under selv de mest ugunstige vejrforhold.

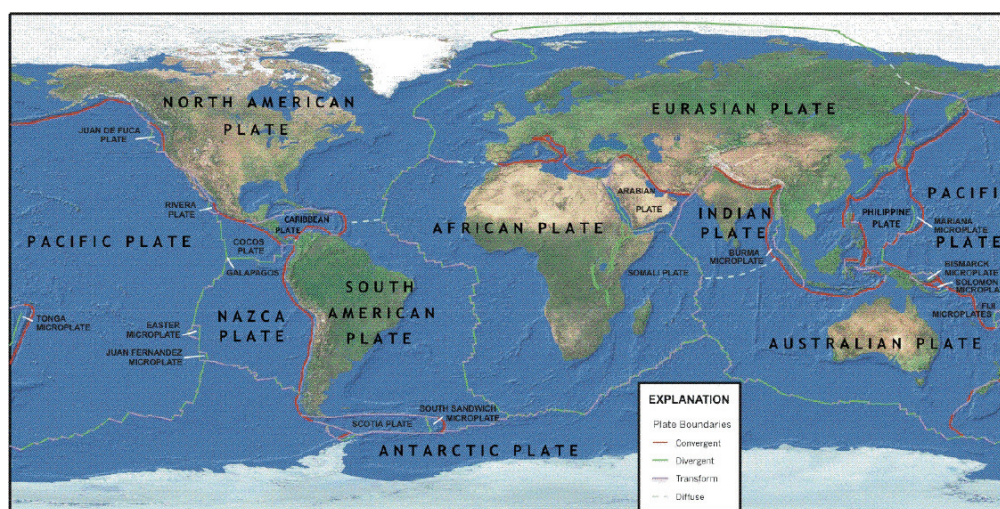
Det bærbare måleudstyr kan ud over gammastråling også detektere betastråling ved påsætning af en betasonde. Til brug for måling fra luften eller fra en målebil er der indkøbt et avanceret måleudstyr, der er monteret i en kraftig metalramme. Denne kan enten monteres i en specielt fremstillet kurv, der kan fastgøres under en Bell helikopter fra Atlantic Helicopters eller monteres i en specielt indrettet målebil. Måleenheden indeholder ligesom målestationen et ionkammer og en natriumjodiddetektor, der benyttes til spektrumanalyse. Under flyvning foretages der en løbende opsamling af måledata. De store datamængder indlæses først i computerprogrammet NucSpec, hvor der foretages en indledende analyse med identifikation af isotoper, og først herefter videresendes de behandlede data til computerprogrammet ARGOS. Ud fra beregninger med ARGOS kan modforholdsregler optimeres. ARGOS kan endvidere lave spredningsprognoser under

anvendelse af aktuelle vejrdata, og på baggrund af disse samt data fra målehold kan overflyvninger planlægges.

Den grundlæggende uddannelse planlægges gennemført inden den forventede systemoverdragelse i juni 2009, men det kræver fortsat træning, uddannelse og deltagelse i øvelser, inden det nukleare beredskab på Færøerne vil være helt indkørt.

2.3 Kernekraft og jordskælv

Alle kernekraftværker rundt omkring på kloden er bygget eller er efterhånden blevet forbedret, således at de opfylder de internationale standarder, der sikrer, at de lukker sikkert ned, hvis de bliver udsat for selv kraftige jordskælv. En egentlig sikring forudsætter naturligvis, at man kan forudsige, hvor voldsomt det kraftigst tænkelige jordskælv i området omkring værkerne vil kunne være. Jordskælv skyldes gradvis opbygning af spændinger pga. bevægelser i undergrunden, og disse spændinger kan udløses ved pludselige forskydninger omkring forkastninger (sprækker i undergrunden), hvorved stor energi kan frigøres og giver anledning til voldsomme rystelser. I Europa er der generelt set lav seismisk aktivitet, men der skal alligevel tages hensyn til de meget sjældent forekommende jordskælv, der kun optræder med et mellemrum på mange generationer. I modsætning til Europa har Japan en af de højeste seismiske aktiviteter i verden. Det betyder, at man i Japan må vælge værkeres placering efter nøje studier, idet ”design-jordskælvets” størrelse varierer meget med den geografiske position – selv inden for samme region. Desuden skal man naturligvis sørge for, at værkerne bliver konstrueret, således at de kan modstå selv de kraftigste jordskælv, og at reaktoren lukkes sikkert ned i tilfælde af et jordskælv.

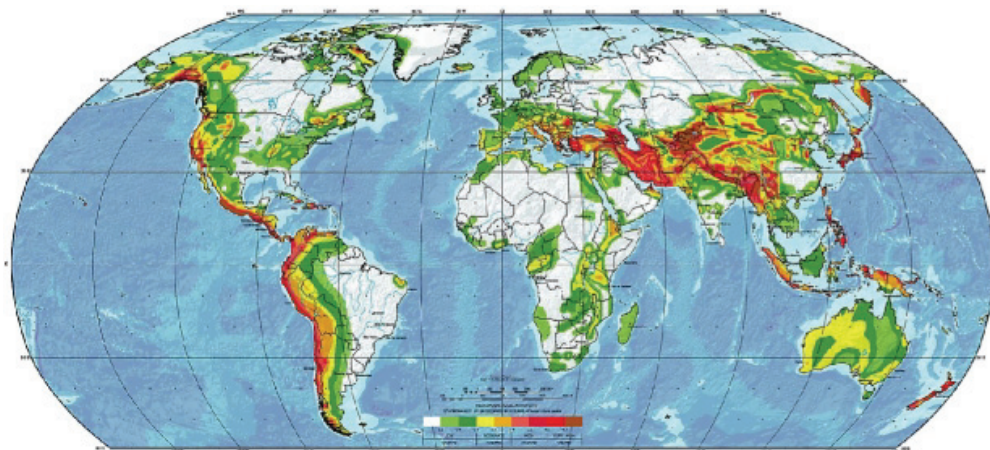


Figur 2.6. Jordoverfladens system af tektoniske plader (fra USGS).

Jordens overflade består af en mosaik af tektoniske plader, som langsomt bevæger sig i forskellige retninger. I randzonerne kan pladerne bevæge sig mod og ind under hinanden (konvergent), bevæge sig sideværts i små ryk (transform) eller bevæge sig væk fra hinanden (divergent). De tektoniske plader, der udgør jordens yderste lag, lithosfæren, flyder oven på asthenosfæren. Denne er mere ”tyndtflydende” end pladerne, hvilket tillader en bevægelse af pladerne på nogle typisk få centimeter om året. Som det ses på Figur 2.6, der viser de tektoniske plader, er hele Atlanterhavsryggen et divergent område, hvor kontinenterne fjerner sig fra hinanden, hvorfor flydende vulkansk lava presser sig op mellem pladerne og udfylder det opståede hulrum. Det oplever man f.eks. i Island. Som det også ses af kortet, er området, hvor den europæiske plade mod syd møder den afrikanske, konvergent. Her bevæger pladerne sig ind mod hinanden, idet den ene plade dykker ned under den

anden. Dette fører til mange og ødelæggende jordskælv. Denne zone bugter sig tværs hen over det sydlige Europa. Tilsvarende konvergenszoner findes også i Nordindien, ved Filippinerne og ikke mindst omkring Japan, hvor omkring 20% af verdens kraftigste jordskælv forekommer. Den sideværts bevægelse (transform), hvor pladerne "skærer tænder" mod hinanden, dominerer især på den amerikanske vestkyst og i lange stræk langs den indiske plade.

Selv om jordskælv er hyppigere og voldsommere langs pladerandene, kan jordskælv også forekomme i det indre af pladerne. Der er mange sprækker rundt omkring i de indre områder af pladerne, hvor der også kan opstå spændinger.



Figur 2.7. Fordelingen af hyppigheden af jordskælv på jordoverfladen (United Nations, USGS m.fl.: Global Seismic Hazard Map).

Ved at sammenholde Figur 2.6 og Figur 2.7, hvor hyppigheden af jordskælv er angivet, kan man se, at der er en tydelig sammenhæng mellem jordskælv og pladerandene, men jordskælv kan også være forårsaget af andre forhold som f.eks. vulkansk aktivitet. Store dele af det nordlige Europa ses at have lav seismisk aktivitet.

Området i undergrunden, hvor jordskælvet har sit udgangspunkt, kaldes hypocentret. Punktet på jordoverfladen direkte oven over hypocentret kaldes epicentret. For mange jordskælv ligger hypocentret i dybder omkring 80 km, men det kan ligge helt ned til 750 km under jordoverfladen. Der registreres omkring 500.000 jordskælv om året, hvoraf omkring 100.000 kan mærkes. Af disse medfører kun omkring 100 jordskælv ødelæggelser.

Størrelsen af et jordskælv angives oftest med et tal på Richterskalaen. Rystelserne måles med seismometre, og Richter-skalaen angiver logaritmen til størrelsen af det største udsving (den største amplitude) målt på seismometret, idet der korrigeres for afstanden til epicentret. Richter-skalaen er et mål for jordskælvet styrke og derfor et mål for den energi, der er udløst ved jordskælvet. Kun 1-10% af den energi, der udløses ved et jordskælv, frigøres til omgivelserne som rystelser eller bølger. Resten omsættes dels ved friktion til varme eller forårsager strukturelle ændringer i lagene i undergrunden. I de måske 30 sekunder et jordskælv af størrelsen 8 på Richterskalaen varer, udløses en energimængde, der ville kunne forsyne hele Canada med elektricitet i samme periode. Et jordskælvs ødelæggelser afhænger ikke kun af den frigjorte energi, men også af afstanden til epicentret. Der findes andre skalaer, der giver et mål for jordskælvenes ødelæggelser.

Den seismiske viden har udviklet sig meget inden for de sidste 30-40 år. Den ny viden har medført et behov for at opgradere sikkerheden på eksisterende kernekraftværker for at opretholde den nødvendige sikkerhedsmargin. I 1989 tog IAEA initiativ til en ny service, "Engineering Safety Review Service", hvor hold af eksperter kunne udsendes til værker for at gennemgå forskellige sikkerhedsaspekter. Resultatet af en række "Seismic Safety Review Missions" til østeuropæiske enheder af trykvandsreakortypen (VVER-440) og af Tjernobyl-typen (RBMK) var, at der generelt set ikke var taget tilstrækkelige hensyn til jordskælv i de oprindelige design. Hvis der ikke er taget hensyn til seismiske forhold i en reaktors oprindelige design, og reaktoren er bygget i et område med svage jordskælv, vil det kun kræve mindre ændringer at opgradere enheden, men hvis stærke jordskælv kan forekomme, vil det kræve væsentlig mere omfattende ændringer af enhedens konstruktion.

I kølvandet på missionerne fulgte opgraderingsprogrammer for reaktorerne i Kozloduy i Bulgarien, i Bohunice og Mochovce i Slovakiet, i Paks i Ungarn og i Krsko i Slovenien. Berlinmurens fald i 1989 og åbningen mod øst var startsignalet til en lang række aktiviteter, der havde til formål at forbedre sikkerheden på reaktorerne i Østeuropa. I september 1990 iværksatte IAEA et program til evaluering af designsvagheder i den ældste udgave af VVER-440 reaktoren (model 230), og i 1992 fortsatte IAEA med den nyere VVER-440 model 213 samt med VVER-1000 og RBMK-reaktorerne. Undersøgelserne gav det nødvendige grundlag for at foretage seismiske evalueringer af disse reaktorer. I 1992 igangsatte IAEA et forskningsprogram, "Benchmark Study for Seismic Testing of VVER Type Nuclear Power Plants". Paks blev valgt som reference for model 213, og Kozloduy-5 og -6 blev valgt som reference for VVER-1000.

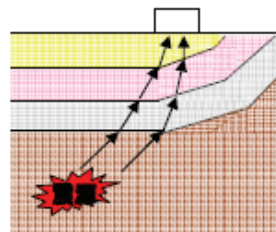
I 1997 besluttede OECD/NEA at foretage en seismisk vurdering af kernekraftværkerne i OECDs 27 medlemslande. I marts 2001 blev "OECD/NEA Workshop on Seismic Re-evaluation of All Nuclear Facilities" afholdt i Ispra i Italien. Af mødet fremgik det bl.a., at de østeuropæiske lande havde nået langt i de seismiske analyser af kernekraftværkerne på basis af IAEA's retningslinjer. Den armenske enhed, Armenia-2, der har en reaktor af typen VVER-440 model 230, er særlig interessant på grund af kombinationen af en gammel russisk reaktortype og risikoen for kraftige jordskælv i området, hvilket har nødvendiggjort omfattende ændringer på værket. Efter et kraftigt jordskælv i december 1989, blev Armeniens to reaktorer lukket ned. I et samarbejde mellem Armenien, IAEA og Rusland, der indledtes i 1993, lykkedes det at forbedre Armenia-2's sikkerhed, herunder også den seismiske sikkerhed, således at den kunne startes igen i november 1995. Enheden leverer ca. 35% af landets el-forsyning. I 1996 fortsatte sikkerhedsopgraderingerne med støtte fra EBRD, TACIS og USA.

I Tyskland skal kernekraftværker kunne modstå jordskælv med den højeste intensitet, som kan tænkes at forekomme inden for en radius af 200 km fra værket. Alle historiske jordskælv registreres efter styrke og hyppighed. Ud fra disse jordskælvsdata kan jordbevægelser ved overfladen omkring værket beregnes. Ud over det maksimale historiske jordskælv skal også det kraftigst tænkelige jordskælv defineres ud fra foreliggende geologiske data, og det jordskælv, værkerne skal kunne modstå, skal have en styrke et sted imellem disse to. Usikkerheden skal også estimeres, idet der er stor usikkerhed forbundet med såvel historiske data som med forståelsen af den tektoniske pladestruktur i undergrunden.

I Frankrig har man lavet en offentligt tilgængelig database til registrering af historiske jordskælv i de sidste 1000 år. Det maksimale, sandsynlige jordskælv kaldes "Séisme Maximal Historiquelement Vraisemblable" (SMHV), og de franske kernekraftenheder skal kunne modstå jordskælv, der er kraftigere end SMHV.

Der er stor usikkerhed forbundet med mange af de parametre, der indgår i seismisk design. Det er derfor vigtigt med en rigelig sikkerhedsmargin gennem et konservativt design. Betydningen af dette blev demonstreret, da værket Kashiwazaki-Kariwa på

den japanske østkyst i juli 2007 blev udsat for kraftige rystelser som følge af et jordskælv ud for kysten, hvor to tektoniske plader, der har en indbyrdes relativ bevægelse mod hinanden på knapt en cm. pr. år, forrykkede sig indbyrdes. Rystelserne ved værket oversteg de eksisterende designkrav til sikker nedlukning. Værkets sikkerhedssystemer led imidlertid ingen skade pga. det konservative design, som medførte, at det havde en rigelig sikkerhedsmargin. Men man kan selvfølgelig ikke forlade sig på at blive ”reddet” af et konservativt design. At myndighedskravene i dette tilfælde ikke var tilstrækkelige, er noget, man ser på med stor alvor hos de japanske myndigheder.



Efterfølgende har undersøgelser af undergrunden omkring værket vist, at da jordlagene under værket krummer og har varierende tæthed blev energien af de seismiske bølger koncentreret omkring værket, hvorfor jordrystelserne her blev voldsommere end forventet, således som vist på figuren.

Japan var vært for den seneste IAEA/OECD workshop, ”Seismic Safety of Nuclear Power Plants – International Workshop on Lessons Learned from Strong Earthquakes”, som blev afholdt i juni 2008 i Kashiwazaki. På mødet var der naturligvis fokus på de japanske nukleare myndigheders undersøgelser af det kraftige jordskælv i området. Ifølge de japanske myndigheder er det den særlige sedimentære struktur i undergrunden, der var årsag til, at styrken af rystelserne ved værket blev langt kraftigere end beregnet. Fremover vil grundige undersøgelser af lagstrukturen under værkerne være en fast del af revurderingen af designbasis for eksisterende værker samt et krav til kommende værker.

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 nukleare hændelser eller ulykker på en konsistent og standardiseret form. Skalaen strækker sig fra niveau 1, som dækker over hændelser med lille sikkerhedsbetydning, 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.

For kraftreaktorenes vedkommende blev der i 2008 kun rapporteret en enkelt INES hændelse på niveau 2 og ingen på højere niveauer. I 2007 forekom der på verdens kernekraftværker til sammenligning ingen hændelser på niveau 2 eller højere, men til gengæld tiltrak en enkelt hændelse uden sikkerhedsmæssig betydning sig stor mediemæssig opmærksomhed. Et kraftigt jordskælv ramte den 16. juli 2007 det japanske kernekraftværk Kashiwazaki-Kariwa. Værket, der består af syv enheder og er verdens største kernekraftværk, har siden været nedlukket for opgradering og inspektion af skjulte fejl, der kan være opstået som følge af jordskælvet. Det forventes atter i drift i løbet af 2009.

Også i 2008 var det en hændelse uden sikkerhedsmæssig betydning, der fik den største mediedækning. Den 6. juni om eftermiddagen opdagede man på det slovenske værk Krsko, som har en enkelt amerikansk Westinghouse trykvandsreaktorenhed på 670 MWe, en mindre lækage i det primære kølekredsløb inde i reaktorindeslutningen. Lækagens størrelse på 3 kubikmeter per time overskred betingelserne for drift, og reaktoren blev lukket ned. Værket overvågede omfanget af lækagen og kunne allerede fra starten konkludere, at lækagen var ubetydelig. Ikke desto mindre udsendte de nukleare sikkerhedsmyndigheder i Slovenien alarm med meddelelsen LOCA (tab-af-kølemiddel uheld) via EU-systemet ECURIE samt via IAEA. Dette medførte en del aktivitet i de nukleare beredskaber i en lang række lande, bl.a. i Danmark. Betegnelse LOCA anvendes normalt kun ved alvorlige hændelser, hvor der er risiko for, at reaktorkernen bliver blotlagt. Det tog nogle timer, før det rundt omkring i Europa stod klart, at det drejede sig om en misforstået brug af betegnelsen LOCA.

Asco-1 hændelsen den 4. april 200 i Spanien. INES-2.

Værket Asco, der består af to PWR enheder, ligger i det nordøstlige hjørne af Spanien ved bredden af floden Ebre. De to enheder er på henholdsvis 930 og 940 MWe.

Den 2. april 2008 og i dagene derefter fandt man på værket adskillige radioaktive partikler såvel inde i bygningerne som på værkområdet omkring bygningerne. De spanske nukleare



sikkerhedsmyndigheder blev informeret om hændelsen den 3. april, og den 4. april i begyndte myndighederne at forberede inspektionshold, der skulle sendes til værket.

Hændelsen havde sin oprindelse allerede den 26. november 2007, hvor man i forbindelse med et brændselsskift skulle rense gulvet for noget kontamineret vand og slam, der stammede fra det primære kølekredsløb. Det meste af de 50 liter vand og slam havnede i de dertil indrettede afløb, mens resten blev fjernet manuelt med

vakuumsugere. Indholdet af disse blev hældt ud i brændselsbassinet tæt på indsugningen til ventilationsanlægget. Herved blev noget af det kontaminerede vand og slam uventet trukket op i ventilationsanlægget. I første omgang fik dette ingen betydning, da ventilationsanlægget kørte i "emergency mode". Dette betyder, at luften filtreres gennem et HEPA filter, så alle radioaktive partikler filtreres bort inden udblæsning via skorstenen til omgivelserne. Både filteret og indersiden af ventilationskanalen op til filteret blev på daværende tidspunkt kontaminerede, hvilket ikke blev opdaget. Tre dage senere blev ventilationsanlægget omstillet til normal drift, hvorved radioaktive partikler blev blæst uden om filteret ud til omgivelserne. I løbet af december og januar rengjorde personale på værket ventilationskanalen for radioaktive partikler, men myndighederne blev stadigvæk ikke orienteret om hændelserne. Radioaktive partikler er på dette tidspunkt blevet spredt til både bygninger og omgivelser.

De radioaktive partikler stammer oprindeligt fra metalliske komponenter i det primære kølekredsløb. Den samlede aktivitetsmængde var ikke stor nok til at aktivere alarmsystemet i ventilationsanlægget, og på målestationerne omkring værket var der heller ingen registrering af forhøjet strålingsniveau.

Hændelsen er som udgangspunkt en INES-1 hændelse, dvs. en hændelse med ringe sikkerhedsmæssig betydning, men den blev senere opgraderet til niveau 2, da hændelsen afslørede en dårlig sikkerhedskultur på værket. Der var tale om manglende information fra værket til de nukleare sikkerhedsmyndigheder, manglende instruktioner til værkspersonalet og mangler i den radiologiske overvågning. Ansvar lå i sidste ende hos værkets øverste leder samt lederen af den radiologiske overvågning, som begge blev afskediget.

3.2 Internationale forhold og konflikter

Indien

Indgåelsen af den nukleare samarbejdsaftale mellem Indien og USA i 2009 (se kap. 1.2) er et brud med Nuclear Supplier Group's hidtidige regler, der har været, at der kun må eksporteres nukleare anlæg og materialer til lande, der ikke er tilsluttet IAEAs Ikke-Sprednings Aftale (NPT), såfremt disse lande tillader, at IAEA kontrollerer alle deres nukleare anlæg og materialer. Dette princip har man nu opgivet for Indiens vedkommende, idet kun landets civile, nukleare aktiviteter underkastes IAEA-kontrol. Aftalen betyder også en formel accept af Indien som kernevåbenmagt, hvilket ikke er i overensstemmelse med NPT, som kun anerkender fem kernevåbenmagter: USA, Rusland, Storbritannien, Frankrig og Kina.

Indien har p.g.a. sine begrænsede uranforekomster haft problemer med at skaffe uranbrændsel nok til sine reaktorer, såvel de civile som de militære. Med USA-Indien-aftalen bliver Indien i stand til at importere uran til sine civile nukleare enheder, hvorved landets begrænsede uranforekomster kan forbeholdes militære anvendelser. Herved bliver Indien i stand til at øge sin produktion af kernevåben.

Pakistan og Israel

Indgåelsen af den nukleare aftale mellem Indien og USA har fået såvel Pakistan som Israel til at kræve, at de får lignende aftaler, således at de kan importere civile kernekraftenheder, uden at det påvirker de to landes militære, nukleare aktiviteter. Israel har nævnt, at såfremt den amerikanske kongres ratificerer den fuldstændige prøvestopaf-tale, vil Israel gøre det samme, forudsat at landet får samme aftale med USA som Indien, d.v.s. at Israels fremtidige kernekraftenheder underkastes IAEA-kontrol, men at landets kernevåbenrelaterede anlæg holdes uden for international kontrol.

Hvis denne udvikling realiseres, og NPT i stigende grad bliver undergravet, må det forventes, at også Nordkorea vil stille tilsvarende krav, ligesom det kan blive vanskeligt at få såvel Iran som arabiske lande til at afstå fra udvikling af kernevåben.

Iran

Iran har fortsat med at udbygge sit berigningsanlæg (Fuel Enrichment Plant) i Natanz. Udover de 3000 IR-1 centrifuger, der var i drift i november 2007, var der et år senere yderligere godt 800 centrifuger i drift, mens godt 2000 var under installation og afprøvning. Siden februar 2007 er der blevet ført knap 10.000 kg UF₆ ind i anlægget, og der er produceret godt 600 kg lavt beriget uran (mindre end 5%). I forsøgsanlægget (Pilot Fuel Enrichment Plant) har man arbejdet med nye centrifugekonstruktioner, IR-2 og IR-3. I det iranske anlæg til produktion af UF₆ i Isfahan er der siden marts 2004 produceret 348 tons UF₆. Denne produktion såvel som berigningsanlæggene overvåges af IAEA.

IAEA har ikke fundet tegn på oparbejdningsaktivitet, men har konstateret, at uranregnskabet for Irans brændselementfabrik stemmer. IAEA har på basis af satellitbilleder kunnet konstatere, at en fabrik, der producerer tungt vand, ser ud til at være i drift, og at byggeriet af den iranske forsøgsreaktor IR-40, der er en tungtvandsmodereret reaktor med naturligt uran som brændsel, fortsætter.

En række usikre punkter om de iranske, nukleare aktiviteter er blevet afklaret, men der eksisterer fortsat uklarheder. Forskellige medlemslande har i IAEA fremlagt dokumenter, baseret på efterretningsvirksomhed, i følge hvilke Iran skulle arbejde med projekter med relation til kernevåbenudvikling. Et projekt omfatter fremstilling af UF₄, som benyttes til fremstilling af uranmetal, et andet udvikling af sprængladninger, der kan benyttes til kernevåben, og et tredje design af raketspidser til kernevåben. Fra iransk side anføres, at selv om enkelte deloplysninger i dokumenterne, som kan findes i offentligt tilgængelige kilder, er korrekte, er der tale om forfalskede dokumenter om projekter, der ikke eksisterer.

Fra vestlig side har man forsøgt at presse Iran til at opgive uranberigingen, dels ved at tilbyde udviklingsassistance og forbedrede relationer, dels ved at stramme de indførte sanktioner, men hidtil har dette været uden resultat.

Nordkorea

Nordkorea afleverede med et halvt års forsinkelse i juni 2008 en redegørelse for landets kerneenergi-program, og under sekspartsforhandlingerne i Beijing mellem Nordkorea, Kina, Rusland, Sydkorea, USA og Japan erklærede Nordkorea sig den 12. juli parat til under international kontrol at afvikle landets nukleare aktiviteter mod til gengæld at få leveret brændselolie. Men i august meddelte Nordkorea, at man alligevel ikke ville opgive sine nukleare anlæg, fordi USA ikke havde holdt sin del af aftalen.

I juli sprængtes køletårnet til 5 MWe produktionsreaktoren i Yongbyon, og august var over halvdelen af reaktorens brændsel udtaget. Men i samme måned meddelte Nordkorea, at man ville standse dekommissioneringen af reaktoren. På det kemiske oparbejdningsanlæg er vigtigt udstyr blevet fjernet, men i september bad Nordkorea IAEA om at fjerne forseglinger og overvågningsudstyr for at tillade afprøvning af anlægget. I begyndelsen af oktober blev IAEA's inspektører nægtet adgang til landets nukleare anlæg, men senere på måneden kunne de igen få adgang til anlæggene.

I december blev sekspartsforhandlingerne i Beijing genoptaget. Et forhold, som ikke gør situationen mere overskuelig, er, at landets leder, Kim Jong Il, ikke har vist sig offentligt i adskillige måneder og formodes at være syg.

Syrien

I september 2007 ødelagde israelske bombefly et anlæg ved Dair Alzour nordøst for Damaskus. Senere blev ruinerne fjernet af syrerne. Fra israelsk og amerikansk side er det blevet hævdet, at anlægget var en grafitmodereret produktionsreaktor, der var opført med hjælp fra Nordkorea, men som endnu ikke var i drift. Fra syrisk side er det blevet hævdet, at der er tale om et militært anlæg, der intet har med nuklear aktivitet at gøre. I slutningen af juni besøgte et hold inspektører fra IAEA området. Inspektørernes rapport blev forelagt IAEAs Board of Governors i november, men den er endnu hemmeligholdt. IAEAs generaldirektør har dog oplyst, at der er fundet et betydeligt antal uranpartikler i området, og uranet i disse har været kemisk oparbejdet. Fra syrisk side hævdes det, at dette må skyldes, at de israelske missiler, som ødelagde anlægget, indeholdt uran. IAEA har bedt om tilladelse til at undersøge ruinresterne fra bygningerne for at undersøge deres uranindhold og eventuelt indhold af moderatorgratit. IAEAs generaldirektør har også nævnt, at mens det ikke kan udelukkes, at anlægget har tjent et ikke nukleart formål, så udelukker bygningernes udformning og tilstedeværelsen af betydelig pumpekapacitet for kølevand heller ikke, at der var tale om en reaktor.

Sikring mod spredning af kernevåben

IAEA

Inden for rammerne af IAEA arbejdes der på at oprette et system af internationale centre, der kan forsyne kernekraftlande med nukleart brændsel, således at lande, der har indført kernekraft, altid vil være sikre på, at de kan få det nødvendige brændsel, uden at de selv skal bygge berigningsanlæg eller kemiske oparbejdningsanlæg.

GNEP

Global Nuclear Energy Partnership (GNEP) blev oprettet på amerikansk initiativ i 2006 for at sikre, at den øgede anvendelse af kernekraft i nye lande ikke skal give anledning til spredning af kernevåben, blandt andet ved at undgå, at nye lande bygger berigningsanlæg eller kemiske oparbejdningsanlæg.

I 2008 udsendte USAs Department of Energy et ”Environmental Impact Statement” om GNEP. Ifølge dette vil man satse på et lukket brændselskredsløb, hvor det brugte brændsel oparbejdes. Der nævnes også, at formeringsreaktorer på et senere tidspunkt kan blive nødvendige.

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 figuren). Hændelser, der ikke har nogen sikkerhedsmæssig betydning, placeres i klasse 0, mens alvorlige ulykker med udslip af store mængder radioaktivt materiale hører til klasse 7.

Uheldsklassen bestemmes ud fra tre kriterier:

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

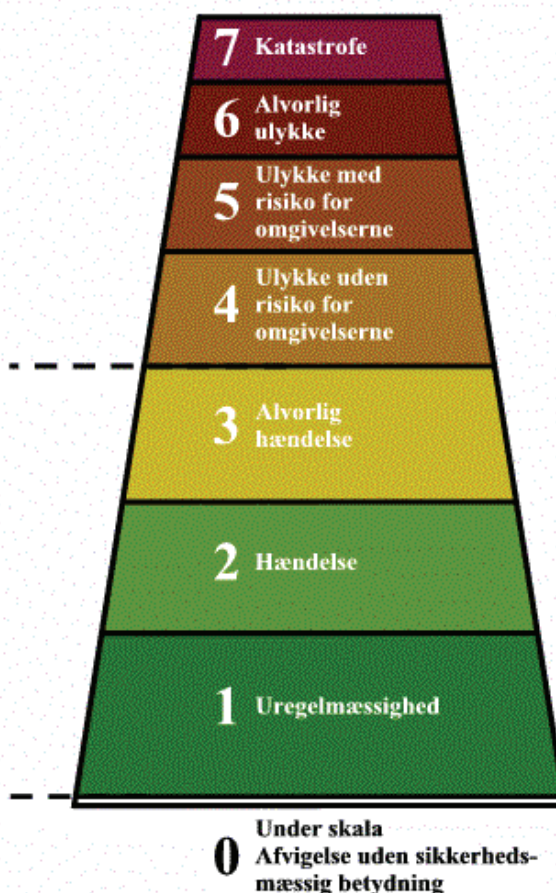
Uheld med påvirkning af omgivelserne ved udslip af radioaktivt materiale er det mest alvorlige kriterium og dækker klasse 3 til 7. Uheld, hvor der udelukkende sker en påvirkning af anlægget, f.eks. skader

på reaktorkernen 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 efter behov efterfølgende korrigerer klassificeringen, hvis myndigheden ved nærmere analyse finder en anden klasse mere korrekt.

Eksempler på INES-klassifikation

- INES-7: Tjernobyl, 1986. Havarieret 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; og 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; og hændelse som resulterer i en betydende radioaktiv forurening i dele af anlægget.
1 Uregelmæssighed	Hændelse, hvor betingelserne for drift overskrides, f.eks. ved afvigelse fra tekniske specifikationer eller brud på transportregulativer, men hvor dybdeforsvaret fortsat er betydeligt.

APPENDIKS B: Internationale organisationer

EURATOM

EURATOM-traktaten 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 kernekraft-teknologi. 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 2006 havde organisationen 144 medlemsstater og der var indgået safeguard-aftaler med 156 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. 2300 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, Bulgarien, Finland, Frankrig, Holland, Italien, Litauen, Rumænien, Schweiz, Slovakiet, Slovenien, Spanien, Storbritannien, Sverige, Tjekkiet, Tyskland og Ungarn. Sammenslutningens formål er at udvikle en fælles tilgang til kernekraftsikkerhed med hovedvægten på EU-området.

www.wenra.org

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 Strålebeskyttelse (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

Strålsäkerhetsmyndigheten (SSM), Sverige

www.stralsakerhetsmyndigheten.se

APPENDIKS C: Anvendte forkortelser

ABWR	Advanced Boiling Water Reactor, den avancerede kogendevandsreaktor
ACR	Advanced CANDU Reactor, tungtvandsmodereret reaktor med letvandskøling og svagt beriget uran
AECL	Atomic Energy of Canada Ltd
AEOI	Atomic Energy Organization of Iran
AGR	Advanced Gas-cooled Reactor, den engelske, avancerede gaskølede reaktor
AHWR	Advanced Heavy Water Reactor, indisk udviklet tungtvandsreaktor
ATMEA-1	Reaktor under udvikling af Areva og Mitsubishi Heavy Industries
AP-1000	Westinghouse's Advanced Power reactor (PWR) på 1000 MWe
APR-1400	Advanced Pressurized Reactor, sydkoreansk trykvandsreaktor på 1400 MWe
APWR	Advanced Pressurized Water Reactor
Areva	Fransk kerneenergikonserntium
ARGOS	Accident Reporting and Guiding Operational System, Beredskabsstyrelsens beslutningsstøtteprogram
ASE	Atomstroyexport, russisk firma, der eksporterer kernekraftværker
ATEL	Schweizisk elforsyningselskab
BN	Hurtig reaktor (russisk)
torfirma	
BRS	Beredskabsstyrelsen
BWR	Boiling Water Reactor, kogendevandsreaktor
CANDU	Canadian Deuterium Uranium, den canadiske tungtvandsreaktor af trykrørstypen
CFHI	China First Heavy Industries
Cngpc	China Power Investment Corporation, kinesisk kernekraftselskab
CNNC	China National Nuclear Corporation, kinesisk kernekraftselskab
CNP-1000	China Nuclear Plant 1000, kinesisk 1000 MWe PWR enhed
COL	Construction and Operation Licence, kombineret amerikansk bygge-driftstilladelse
CO ₂	Kuldioxid
CPR-1000	Kinesisk udviklet trykvandsreaktor
DDP	Demonstration Power Plant (PBMR)
DMI	Danmarks Meteorologiske Institut
DTU	Danmarks Tekniske Universitet
EBRD	European Bank for Reconstruction and Development, den europæiske udviklingsbank for Central- og Østeuropa
ECURIE	Europæisk varselssystem for nukleare hændelser
EdF	Electricité de France, det franske, statslige el-selskab
EPG-6	Lille russisk reaktor af RBMK typen
EPR	European Pressurized Reactor, trykvandsreaktor udviklet i et samarbejde mellem Framatome og Siemens
ESBWR	Economic Simplified Boiling Water Reactor, økonomisk, forenklet kogendevandsreaktor
ESP	Early Site Permit, forhåndsgodkendelse i USA af arealer til bygning af kernekraftenheder
EU	Den Europæiske Union
EURATOM	EU-traktat om nukleare forhold
FAE	De Forenede Arabiske Emirater
FBR	Fast Breeder Reactor, hurtig formeringsreaktor
GCC	Gulf Cooperation Council, samarbejdsorgan for lande på den arabi-

	ske halvø
GCR	Gas Cooled Reactor, gaskølet reaktor
GE	General Electric, amerikansk reaktorfirma
GNEP	Global Nuclear Energy Partnership, USA ledet samarbejde om etablering af internationale brændselscentre
GWe	Gigawatt elektrisk
HEPA	High Efficiency Particulate Air, højeffektivt partikelfilter
IAEA	International Atomic Energy Agency, FN's atomenergiagentur
IEA	International Energy Agency, OECEs energiagentur
INES	International Nuclear Event Scale, IAEA's skala for radiologiske og nukleare uheld
JSFR	Japanese Sodium Fast Reactor, japansk hurtigreaktor
KHNP	Korea Hydro & Nuclear Power Company, sydkoreansk elselskab
KLT	Russisk trykvandsreakortype
LWR	Light Water Reactor (BWR og PWR)
MHI	Misubishi Heavy Industries, japansk reaktorfirma
MOX	Mixed OXide fuel, reaktorbrændsel fremstillet af en blanding af plutonium- og urandioxid
MWe	Megawatt elektrisk
NEA	Nuclear Energy Agency, OECD's kerneenergiorganisation
NEK	Bulgarsk statsligt el-selskab
NPT	Non Proliferation Treaty, ikke-spredningsaftalen
NRC	Nuclear Regulatory Commission, USA's reaktorsikkerhedsmyndighed
NRG Energy	Amerikansk elselskab
NSG	Nuclear Suppliers Group, international gruppe, der kontrollerer eksport af komponenter til nukleare anlæg
NuStart	Konsortium af amerikanske el-selskaber og reaktorleverandører
OECD	Organisation for Economic Co-operation and Development
QEEC	Organisation for European Economic Co-operation
OPG	Ontario Power Generation, canadisk elselskab
OPR-1000	Sydkoreansk Optimized Power Reactor (PWR) på 1000 MWe
PBMR	Pepple Bed Modular Reactor, højtemperatur reaktor med kugleformede brændselselementer
PHWR	Pressurized Heavy Water Reactor, tungtvands-modereret trykvandsreaktor
PRIS	Power Reactor Information System, IAEA's database for kraftreaktorer
PWR	Pressurized Water Reactor, trykvandsreaktor
RBMK	Reaktor-stor-effekt-kanaltype, russisk reaktor med grafit moderator og kogendevandskøling (Tjernobyl-typen)
RWE	Rheinisch-Westfälisches Elektrizitätswerk, tysk el-selskab
SIS	Statens Institut for Strålehygiejne
SMHV	Séisme Maximal Historiequivalent Vraisemblable, fransk karakterisering af kraftigt jordskælv
SSM	Strålsäkerhetsmyndigheten (Sverige)
STP	South Texas Project, amerikansk kernekraftværk
STUK	Den finske myndighed for nuklear- og strålingssikkerhed
SWR-1000	Fransk-tysk udviklet kogendevandsreaktor
TACIS	Technical Aid to the Commonwealth of Independent States, del af det europæiske EuropeAid program
Tepco	Tokyo Electric Power Company, et japansk elselskab
TVA	Tennessee Valley Authority, amerikansk elektricitetselskab
TVO	Teollisuuden Voima Oy, finsk el-selskab
TWh	Terawatt-time, 1 TWh = 1 milliard kWh
UNISTAR	Joint venture mellem Constellation Energy og EdF

UNSCEAR	United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, videnskabelig komité under FN om virkninger af stråling
USAPWR	Mitsubishi's Advanced Pressurized Water Reactor for det amerikanske marked
USD	Amerikanske dollar
USEPR	Amerikansk udgave af den franske EPR
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, organ for europæiske reaktorsikkerhedsmyndigheder
WNA	The World Nuclear Association, global sammenslutning af virksomheder inden for den nukleare industri

Risø DTU er Nationallaboratoriet for Bæredygtig Energi. Forskningen er rettet mod udviklingen af klimavenlige energiteknologier og energisystemer, og bidrager til innovation, uddannelse og rådgivning. Risø har store forsøgsfaciliteter og tværfaglige forskningsmiljøer og inkluderer kompetencecenteret for nukleare teknologier.

Risø DTU
Nationallaboratoriet for Bæredygtig Energi
Danmarks Tekniske Universitet

Frederiksborgvej 399
Postboks 49
4000 Roskilde
Telefon 4677 4677
Fax 4677 5688

www.risoe.dtu.dk