

Technical University of Denmark



Kernekraft og nuklear sikkerhed 2012

Lauritzen, Bent; Nonbøl, Erik; Israelson, Carsten ; Kampmann, Dan ; Ølgaard, Povl Lebeck; Nystrup, Poul E. ; Thomsen, Jimmy

Publication date:
2013

Document Version
Publisher's PDF, also known as Version of record

[Link back to DTU Orbit](#)

Citation (APA):
Lauritzen, B., Nonbøl, E., Israelson, C., Kampmann, D., Ølgaard, P. L., Nystrup, P. E., & Thomsen, J. (2013). Kernekraft og nuklear sikkerhed 2012. DTU Nutech. (DTU-Nutech-R; No. 4(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 2012



DTU-Nutech-4(DA)

Redigeret af B. Lauritzen og E. Nonbøl
November 2013

Forfatter: Bent Lauritzen og Erik Nonbøl (red.), Carsten Israelson, Dan Kampmann, Povl L. Ølgaard, Poul E. Nystrup og Jimmy Thomsen

Titel: Kernekraft og nuklear sikkerhed 2012

Resume (max. 2000 char.):

Rapporten er den tiende rapport i en serie af årlige rapporter om kernekraft og nuklear sikkerhed. Rapporten er udarbejdet af medarbejdere ved DTU Nutech og Beredskabsstyrelsen. Den omhandler den internationale udvikling inden for kernekraft med særlig vægt på sikkerhedsmæssige forhold og nukleart beredskab. Rapporten for 2012 dækker følgende emner: Status for kernekraftens el-produktion, regionale tendenser, reaktorudvikling, beredskabssystemer, sikkerhedsrelaterede hændelser ved kernekraft, tiltag efter EU's stresstest, samt internationale forhold og konflikter.

DTU-Nutech-4(DA)
November 2013

ISSN 0106-2840
ISSN 1604-4177
ISSN 1603-9408
ISBN 978-87-995321-4-8

Kontrakt nr.:

Gruppens reg. nr.:
DTU-Nutech-4(DA)

Sponsorship:

Forside:

Start på konstruktion af De Forenede Emiraters første kernekraftværk Barakah 1, en trykvandsreaktor på 1400 MWe af koreansk design med forventet opstart i 2017. Enheden følges op af tre andre enheder med samme design og opstart i 2018, 2019 og 2020.

Sider: 45

DTU Nutech
Center for Nukleare Teknologier
Danmarks Tekniske Universitet
Postboks 49
4000 Roskilde
Danmark
Telefon 46774900
nuk@dtu.dk
Fax 46774959
www.nutech.dtu.dk

Indhold

Forord 4

1 International kernekraftstatus 5

1.1 Kernekraftens el-produktion 5

2 Regionale tendenser 9

2.1 Vesteuropa 9

2.2 Central- og Østeuropa 12

2.3 Nordamerika 18

2.4 Asien 21

2.5 Andre lande 24

3 Udvikling af reaktorer og sikkerhed 26

3.1 Små modulære reaktorer 26

3.2 Beredskabssystemer 29

4 Nuklear sikkerhed 31

4.1 Efter EU's stresstest 31

4.2 International styrkelse af den nukleare sikkerhed – initiativer og tendenser 32

4.3 Sikkerhedsrelaterede hændelser ved kernekraft 34

4.4 Internationale forhold og konflikter 36

APPENDIKS A: INES, den internationale skala for uheld på nukleare anlæg 37

APPENDIKS B: Internationale organisationer 39

APPENDIKS C: Anvendte forkortelser 42

Forord

”Kernekraft og nuklear sikkerhed 2012” er den tiende rapport i en serie af årlige rapporter om kernekraft og nuklear sikkerhed. Rapportserien, der tidligere blev udgivet af Risø DTU, udarbejdes i samarbejde med Beredskabsstyrelsen og har til formål at informere myndigheder, medier og offentlighed om den internationale udvikling inden for kernekraft med særlig vægt på sikkerhedsmæssige forhold og nukleart beredskab.

Rapporten for 2012 dækker følgende emner: International kernekraftstatus, regionale tendenser, reaktorudvikling, beredskabssystemer, sikkerhedsrelaterede hændelser ved kernekraft, tiltag efter EU’s stresstest samt internationale forhold og konflikter.

Følgende medarbejdere fra DTU Nutech (DTU) og Beredskabsstyrelsen (BRS) har bidraget til denne rapport:

Carsten Israelson	BRS (3.2)
Dan Kampmann	BRS (2.2, 4.3)
Bent Lauritzen	DTU (1.1, 2.4, 2.5)
Erik Nonbøl	DTU (1.1, 3.1, 4.4)
Poul Erik Nystrup	BRS (2.3, 2.4, 4.1)
Jimmy Thomsen	BRS (4.2)
Povl L. Ølgaard (konsulent)	DTU (2.1)

1 International kernekraftstatus

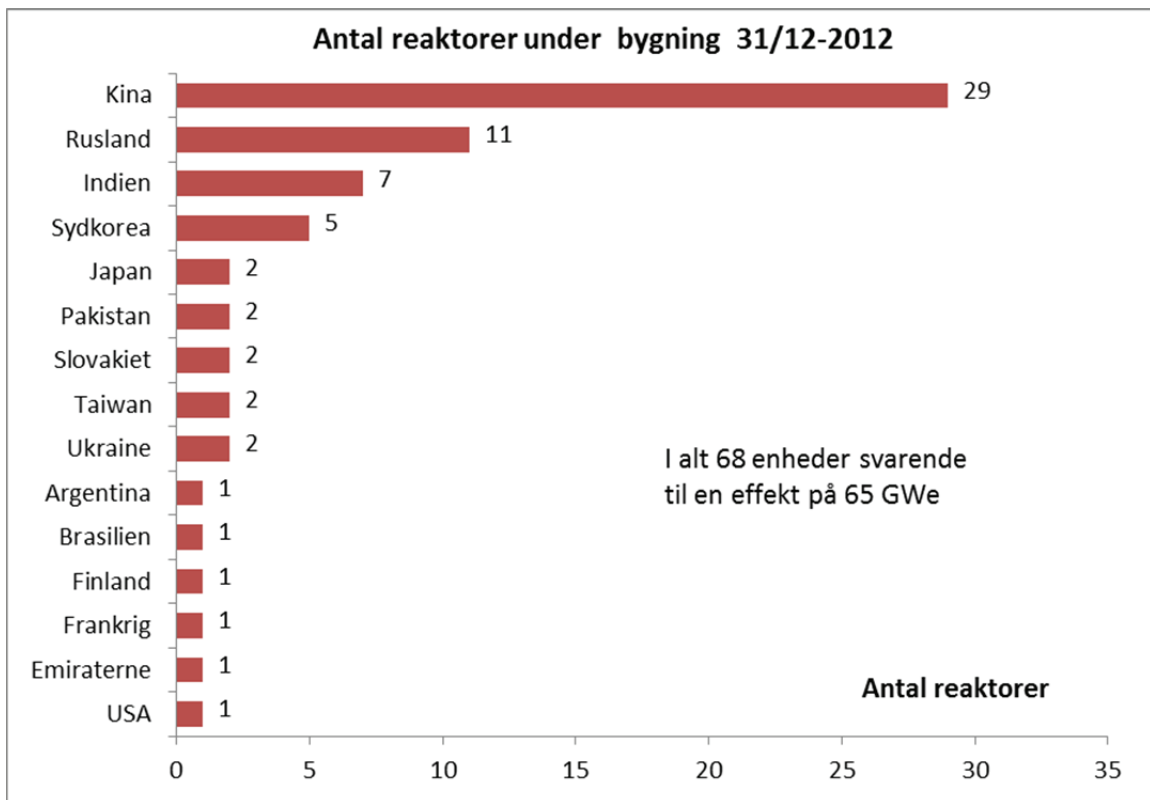
1.1 Kernekraftens el-produktion

Fukushima-ulykken den 11. marts 2011 og den efterfølgende nedlukning af de japanske kernekraftværker kan stadig mærkes på udviklingen af kernekraft verden over. Således faldt den samlede producerede energi fra kernekraft i 2011 fra 2632 TWh året før til 2516 TWh (Figur 1.2). Faldet skyldes hovedsagligt nedlukningen af japanske enheder i forbindelse med ulykken. Af de oprindelige 54 enheder er der således kun 2, der var i drift ved årsskiftet. Globalt udgør kernekraften 12 % af den samlede producerede elektricitet, tabel 1.1, et fald fra 13 % sammenlignet med året før.

I 2012 blev fire enheder nedlagt. Det drejer sig om to i England, Oldbury-A1 og Wylfa-2, begge gaskølede reaktorer, Garona i Spanien, der er af samme konstruktion som den forulykkede Fukushima-1 enhed, samt Gentilly-2 i Canada, en CANDU-enhed.

Tre nye enheder blev koblet til nettet i 2012: Shin-Wolsong-1 (997 MWe, PWR) og Shin-Kori-2 (960 MWe, PWR) i Sydkorea samt Ningde-1 (1000 MWe, PWR) i Kina. Derudover blev to canadiske enheder, Bruce-1 og Bruce-2, koblet til nettet efter at have været nedlukket siden midten af halvfemserne. Nedlukningen dengang skyldtes problemer med trykrørene i CANDU-enhederne. Begge enheder er blevet renoveret og har fået levetiden forlænget med 25 år. Der er således pr 31/12-2012 436 enheder i drift verden over. Derudover har USA i 2011 og 2012 opgraderet effekten på en række enheder svarende til en samlet effektforøgelse på 1000 MWe.

Syv nye enheder er blevet påbegyndt i 2012. Baltic-1 i Kaliningrad Oblast (1082 MWe, PWR af russisk design) med opstart i 2017. Shin-Ulchin-1 i Sydkorea (1340 MWe, PWR), Barakah-1 i De forenede Arabiske Emirater (1340 MWe, PWR af sydkoreansk design), landets første kernekraftværk (billede på forsiden af rapporten). Kina er igen begyndt at udbygge kernekraften efter at have haft et moratorium siden Fukushima-ulykken. I slutningen af 2012 blev det til start på konstruktion af fire nye enheder, Fuqing-4 og Yangjiang-4, begge PWR-enheder på 1000 MWe, Tianwan-3 en PWR-enhed på 930 MWe og Shidaowan-1 en HTGR-enhed på 200 MWe. Pr. 31.12.2012 var der i alt 68 enheder under opførelse verden over.



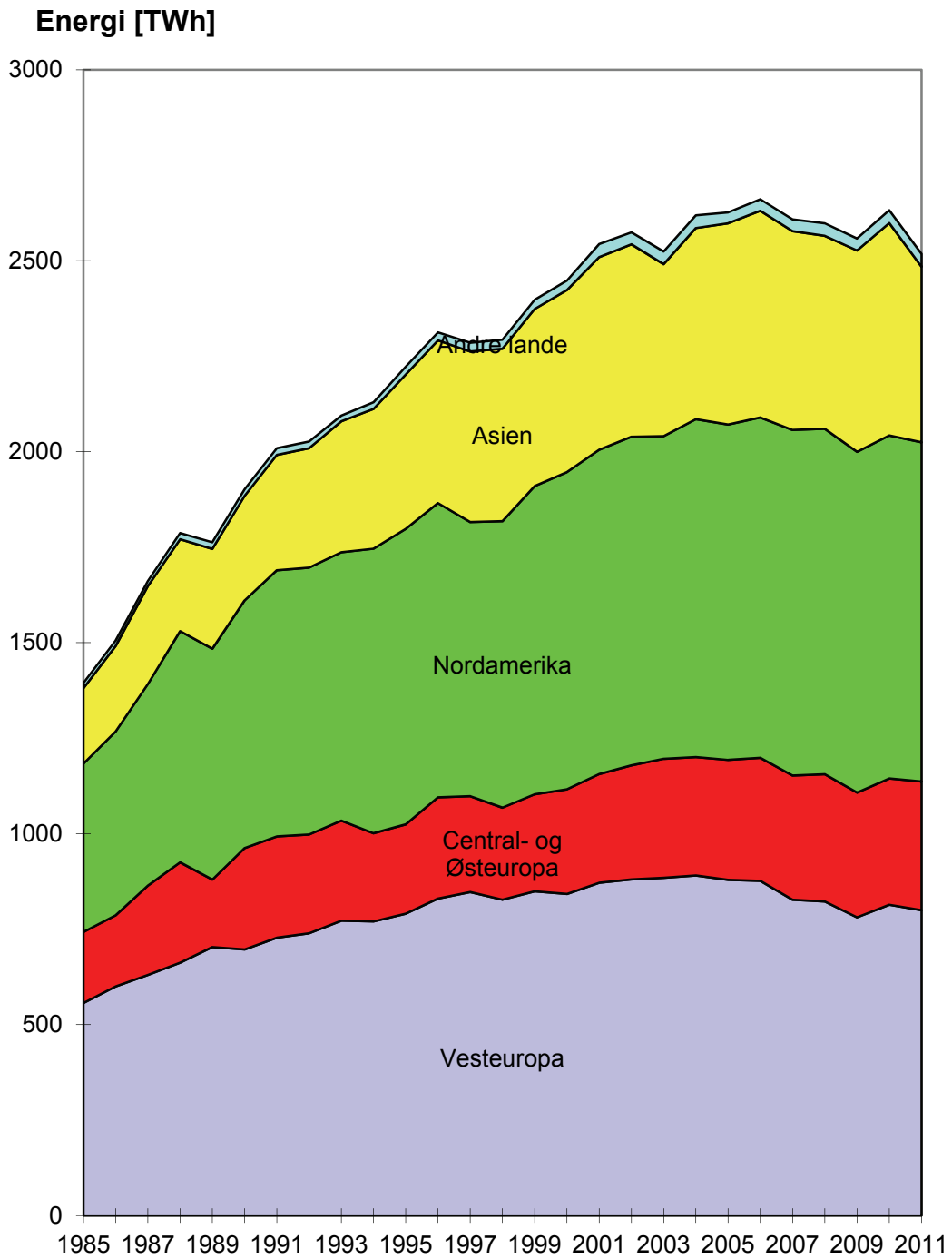
Figur 1.1. Kernekraftenheder under opførelse.

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

	Antal enheder (1/1-2013)	Installeret effekt (GWe) (1/1-2013)	Produceret energi 2011 (TWh)	Andel af el- produktion 2011 (%)
Vesteuropa	117	113,3	799,5	27,6
Central- og Østeuropa	68	48,5	337,0	17,7
Nordamerika	125	116,3	888,0	17,7
Asien	120	88,8	458,6	5,7
Andre lande	6	4,6	33,6	-
Globalt	436	371,5	2516,7	12,0

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

	Antal enheder (1/1-2013)	Installeret effekt (GWe) (1/1-2013)	Produceret energi 2011 (TWh)	Andel af el- produktion 2011 (%)
Vesteuropa				
Belgien	7 PWR	5,9	45,9	54,0
Finland	2 BWR, 2 VVER	2,7	22,3	31,6
Frankrig	58 PWR	63,1	423,5	77,7
Holland	1 BWR	0,5	3,9	3,6
Schweiz	2 BWR, 3 PWR	3,3	25,7	40,8
Spanien	1 BWR, 6 PWR	7,2	55,1	19,5
Storbritannien	1 PWR, 1 GCR, 14 AGR	9,2	62,7	17,8
Sverige	7 BWR, 3 PWR	9,3	58,1	39,6
Tyskland	2 BWR, 7 PWR	12,1	102,3	17,8
Central- og Østeuropa				
Armenien	1 VVER	0,4	2,4	33,2
Bulgarien	2 VVER	1,9	15,3	32,6
Rumænien	2 PHWR	1,3	10,8	19,0
Rusland	15RBMK, 17 VVER, 1 FBR	23,6	162,0	17,6
Slovakiet	4 VVER	1,8	14,3	54,0
Slovenien	1 PWR	0,7	5,9	41,7
Tjekkiet	6 VVER	3,8	26,7	33,0
Ukraine	15 VVER	13,1	84,9	47,2
Ungarn	4 VVER	1,9	14,7	43,2
Nordamerika				
Canada	19 PHWR	13,5	88,3	15,3
Mexico	2 BWR	1,3	9,3	3,6
USA	69 PWR, 35 BWR	101,5	790,4	19,2
Asien				
Indien	2 BWR, 18 PHWR	4,4	28,9	3,7
Japan	24 PWR, 26 BWR	44,2	156,2	18,1
Iran	1 VVER	1,0	0,1	0
Kina	14 PWR, 2 PHWR, 1 FBR	12,8	82,6	1,8
Pakistan	2 PWR, 1 PHWR	0,7	2,6	2,6
Syd Korea	19 PWR, 4 PHWR	20,7	147,8	34,6
Taiwan	6 PWR	5,0	40,4	19,0
Andre lande				
Argentina	2 PHWR	0,9	5,9	5,0
Brasilien	2 PWR	1,9	14,8	3,2
Sydafrika	2 PWR	1,8	12,9	5,2



Figur 1.2. Udviklingen i den samlede producerede energi fra kernekraft inden for forskellige geografiske regioner.

2 Regionale tendenser

2.1 Vesteuropa

Belgien

Den belgiske beslutning om at udfase landets kernekraftenheder kan medføre problemer med at sikre elforsyningen, hvorfor lukningen af nogle af enhederne muligvis skal udskydes. De sidste enheder planlægges lukket i 2025.

Der er konstateret revner i tryktanken på kernekraftenhederne Doel-3 og Tiange-2, og disse enheder vil forblive nedlukkede, mens tankene undersøges nærmere. Når revnerne ikke tidligere er blevet opdaget, skyldes det, at de nu anvendte undersøgelsesmetoder er mere nøjagtige end de tidligere benyttede. Der er formentlig tale om en fabrikationsfejl og ikke om en ældningsfejl. Årsagen til revnerne kan være brintindhold i tankens stål. Tryktankene er fremstillet af Rotterdam Tørdok, som har fremstillet 21 reaktortryktanke. Disse vil nu blive undersøgt for revnedannelser.

Finland

Areva er i færd med at bygge en ny 1600 MWe kernekraftenhed, Olkiluoto-3, for det finske elselskab TVO. Enheden vil blive forsynet med en trykvandsreaktor. Den skulle have været i drift i 2009, men er blevet forsinket flere gange, bl.a. på grund af myndighedernes krav om sikkerhedsforbedringer på basis af erfaringer fra Fukushima-ulykken. Enheden ventes nu i drift i 2015. Forbedringerne har medført en væsentlig fordyrelse af enheden, og der er uenighed om fordelingen af udgifterne mellem TVO og Areva.

TVO planlægger at bygge yderligere en kernekraftenhed samme sted, Olkiluoto-4. TVO har påbegyndt indhentning af tilbud på denne enhed. Potentielle reaktorleverandører er Areva, GE Hitachi, Korea Hydro & Nuclear Power, Mitsubishi Heavy Industries og Toshiba.

Det finske el-selskab Fennovoima, som planlægger at bygge en kernekraftenhed, Hanhikivi-1, ved Pyhäjoki i Nordfinland, har modtaget tre tilbud på enheden fra det franske Areva, som tilbyder en 1600 MWe enhed med en trykvandsreaktor, fra det japanske Mitsubishi Heavy Industries, som tilbyder en 1700 MWe enhed med en trykvandsreaktor og fra det japanske firma Toshiba, som tilbyder en 1650 MWe enhed med en kogendevandsreaktor.

Det tyske elselskab E.On ønsker at sælge sin 34% andel i Fennovoima, idet firmaet ønsker at begrænse sine nordiske aktiviteter til Sverige og Danmark. E.On ejer 55% af det svenske Oskarshamn kraftværk.

Firmaet Posiva, som håndterer det finske radioaktive affald, har i 2012 ansøgt om tilladelse til at bygge et slutdeponi til opbevaring af det udbrændte brændsel fra de finske kernekraftværker.

Frankrig

Efter Fukushima-ulykken har de franske sikkerhedsmyndigheder krævet, at landets kernekraftenheder forsynes med nødgeneratorer, der ikke kan oversvømmes, samt med sikrede kontrolrum. Myndighederne kræver også en sikrere forsyning af el og kølevand, en bedre sikring mod jordskælv, samt at der oprettes en særlig nødhjælpsenhed, der kan sættes ind senest 24 timer efter et større uheld på et kernekraftværk. EdF er gået i gang med at etablere en sådan enhed.

Andra, der håndterer det franske, radioaktive affald, planlægger at bygge et dybt underjordisk deponi for radioaktivt affald i Meuse/Haute-Marne-regionen i Østfrankrig. Det skal være færdigt i 2025.

En kommission har foreslået, at levetiden af de franske kernekraftenheder forlænges fra 40 til 60 år, idet man endnu ikke er begyndt at bygge de enheder, der skal erstatte landets ældste kernekraftenheder.

Det franske socialistparti ønsker at reducere kernekraftens bidrag til landets el-produktion fra de nuværende 75% til 50%. Efter valgsejren og regeringsdannelsen i 2012 har partiet angivet at ville lukke de to Fessenheim-enheder omkring 2017. De to enheder vil blive erstattet af Flamanville-3 enheden, som planlægges i drift i 2016.

En uafhængig komite har konkluderet, at Frankrig må levetidsforlænge sine kernekraftenheder, idet man ikke er klar med noget alternativ, når 22 af de i alt 58 enheder når deres 40 års levetid i 2022.

Der arbejdes med udvikling af forskellige nye reaktortyper: En grafitmodereret, gaskølet højtemperaturreaktor, en lille trykvandsreaktor og en lille hurtigreaktor.

Holland

Holland har kun en kernekraftenhed i drift, Borssele-1. Driften af enheden er blevet overtaget af et datterselskab af det franske el-selskab GDF Suez. Der er planer om at bygge endnu en kernekraftenhed ved Borssele, men planerne er udskudt et par år på grund af finanskrisen og tilstrækkelig elforsyning med de eksisterende værker.

Italien

Folkeafstemningen i 2011, som gik imod indførelsen af kernekraft, har medført, at man har opgivet planer om at bygge kernekraftenheder. Den har også medført, at det italienske el-selskab ENEL har trukket sig ud af det franske Flamanville-3-projekt, og selskabet vil heller ikke deltage i EdFs kommende kernekraftprojekter.

Schweiz

Landets Federale Råd ønsker at udfase landets fem kernekraftenheder og ikke tillade bygning af nye, men noget sådant vil skabe store problemer for landets elforsyning, og det vil også øge CO₂-udslippet. 64% af befolkningen mener, at kernekraft er nødvendig.

Undersøgelser har vist, at landets kernekraftenheder er i stand til at modstå et større jordskælv, og de har også bestået EU's stresstests.

Spanien

De spanske kernekraftenheder har i 2012 leveret 21% af landets elforbrug, selv om deres installerede effekt kun er 7% af den samlede installerede effekt.

Spaniens ældste kernekraftenhed, Garona-enheden på 446 MWe blev lukket endeligt ned i december 2012. Nuclenor, der ejer enheden, kunne have fået en 10 års levetidsforlængelse af enheden, men det ville have kostet 120 mio. euro i forbedringer af denne.

Man planlægger at placere et midlertidigt deponi for højaktivt affald i Cuenca-provinsen i den centrale del af landet. Det ventes i drift i 2016 og vil kunne tage 13.000 m³ affald, hvoraf langt det meste vil være udbrændt brændsel. 14 kommuner havde anmodet om at få deponiet.

Det spanske firma Ensa har skrevet kontrakt om levering af 11 dampgeneratorer til udskiftning af sådanne på to franske og et amerikansk kernekraftværk.

Storbritannien

Office of Nuclear Regulation, den britiske nukleare sikkerhedsmyndighed, har typegodkendt Areva's 1600 MWe trykvandsreaktorenhed, EPR, og Westinghouses AP 1000 (1154 MWe) trykvandsreaktorenhed, AP1000.

Horizon Nuclear Power var ejet af de to tyske el-selskaber E.On og RWE, som planlagde at bygge kernekraftenheder på to pladser i Wylfa og Oldbury. Disse planer blev imidlertid opgivet, og Horizon Nuclear Power blev solgt til det japanske firma Hitachi. Dette firma planlægger nu sammen med Rolls-Royce og Babcock International at bygge kernekraftenhederne ved Wylfa og Oldbury.

EDF Energy, datterselskab af det franske EDF, planlægger at bygge to EPR-enheder ved Hinkley Point og to ved Sizewell. EDF Energy har indgået kontrakt med Areva om levering af reaktordelen til den første nye enhed ved Hinkley Point.

Sverige

Vattenfall, som ejer syv af Sveriges 10 kernekraftenheder, har ansøgt de svenske reaktorsikkerhedsmyndigheder om tilladelse til at bygge to nye kernekraftenheder. De skal erstatte enheder, som forventes at blive lukket ned i sidste halvdel af 2020'erne.

Et studie udført af de svenske reaktorsikkerhedsmyndigheder har påpeget et behov for skærpede sikkerhedsforanstaltninger ved de svenske kernekraftenheder, bl.a. en udvidelse af sikkerhedszonen omkring værkerne og forsyning af vagterne med skydevåben. Greenpeace-aktivister trængte i oktober ind i Ringhals- og Forsmarkværkernes sikkerhedszoner, men de kom ikke ind i følsomme sikkerhedsområder ved reaktorerne.

Det svenske reaktortilsyn vil se nærmere på omkostningerne ved dekommissionering af de svenske kernekraftenheder. Hidtil har man baseret sig på erfaringer fra Barsebäck-værket, men dette værk var i drift i kortere tid end de øvrige svenske enheder. De svenske enheder indbetaler årligt til en fond, som skal finansiere dekommissioneringen af de svenske værker og deponeringen af det radioaktive affald. Det anslås, at dekommissioneringen af enhederne vil koste ca. 130 mia. svenske kroner.

Tyskland

Efter Fukushima-ulykken besluttede den tyske regering endeligt at lukke otte af landets kernekraftenheder. De resterende ni enheder skal senest lukkes ned i 2022, og der vil ikke blive tilladt levetidsforlængelser af disse enheder. Nedlukningerne har medført betydelige tab for tyske el-selskaber med kernekraftenheder, og de kræver økonomisk kompensation af regeringen. Det er regeringens ønske, at de nedlukkede kernekraftværker erstattes med grøn energi, men det ønske vil være vanskeligt at opfylde, da sol og vind ikke er konstante energikilder. Elværkerne mener, at lukningen af kernekraftenheder vil betyde øget brug af kul og naturgas til el-produktion.

Der er indført en skat på reaktorbrændsel, som elværkerne hævder er forfatningsstridig. El-selskaberne har derfor lagt sag an mod regeringen.

I Tyskland har man hidtil deponeret radioaktivt affald blandt andet i en salthorst ved Gorleben. SPD ønsker at indstille brugen af Gorleben-deponiet og i stedet at oprette fem nye deponier i Tyskland. Hvor disse skal placeres, er ikke oplyst.

2.2 Central- og Østeuropa

Generelt er det besluttet at bygge mange nye kernekraftenheder i Central- og Østeuropa, men mange af landene har problemer med finansieringen. Ulykken på kernekraftværket i Fukushima ser ud til at have haft en vis indflydelse på planerne om at bygge nye reaktorenheder. I Litauen stemte befolkningen således i en vejledende folkeafstemning med stort flertal nej til at bygge det nye fælles baltiske kernekraftværk i Visaginas. Albanien har udskudt deres beslutning om at bygge et kernekraftværk, Kroatien har tilsyneladende opgivet deres planer, og planerne om en ekstra reaktorenhed ved Krsko i Slovenien er usikre. Til gengæld er der aktivitet på byggepladserne i henholdsvis Kaliningrad og Hviderusland, hvor russiske VVER-1200 reaktorer bygges, og færdiggørelsen af Mochovce-3 og -4 i Slovakiet er fortsat i gang.

Rusland har i denne sammenhæng en særstatus og fortsætter tilsyneladende sin egen udbygning i højt tempo, finansieret med nationale midler efter en plan, der løbende justeres i forhold til den økonomiske udvikling. Rusland er også meget aktiv på eksportmarkedet med flere anlæg under opførelse. Rusland satser på at få flere ordrer ved også at finansiere værker i andre lande.

Albanien

Over 98 % af elektricitetsproduktionen i Albanien baserer sig på vandkraftværker i hovedsageligt de nordlige regioner med store transmissionstab (33-38 %) undervejs til de sydlige dele af landet. Tørre somre skaber alvorlige problemer med strømudfald, og landet er derfor i gang med at udbygge netforbindelser til nabolandene for at kunne øge importen. Det var på denne baggrund, at Albanien i 2010 etablerede den nukleare tilsynsmyndighed "National Nuclear Agency" med henblik på at forberede et nationalt nukleart program.

Efter ulykken i Fukushima har Albaniens regering imidlertid besluttet at udskyde beslutningen om at bygge et kernekraftværk, indtil der foreligger nye undersøgelser af risikoen i forbindelse med jordskælv samt en vurdering af de miljømæssige påvirkninger.

Den albanske delegation udtalte på General Konferencen i IAEA den 19. september 2012, at kernekraft stadig er et element i den nationale energistrategi. Endvidere blev det igen understreget, at Albanien ønsker diversitet i elektricitetsforsyningen og ønsker at blive eksportør af elektricitet.

Armenien

Armeniens eneste kernekraftenhed, Metsamor-2, er forsynet med en VVER-440/230 reaktorenhed, der ikke opfylder vestlige sikkerhedskrav. Regeringen har i princippet godkendt, at enheden lukkes. Dette vil dog ifølge Armeniens regering først ske, når en moderne kernekraftenhed til erstatning af Metsamor-2 står klar.

Begge Armeniens daværende kernekraftenheder blev lukket ned efter et kraftigt jordskælv i 1988 med epicenter kun 75 km fra værket. Selv om jordskælvet ikke påvirkede reaktorerne, stod det dog klart, at reaktorerne ikke var designede til at kunne modstå et lignende jordskælv tættere på værket. I 1995, efter 6,5 års nedlukning, så regeringen sig nødsaget til, trods kraftig international modstand, at genstarte den ene enhed for at imødegå en akut forsyningskrise. Enheden har været i drift siden og har været gennem mange sikkerhedsopgraderinger med hjælp fra det internationale samfund. Den dækker 40-50 % af energiforbruget.

I oktober 2012 godkendte regeringen en 10 års levetidsforlængelse frem til 2022, hvor en ny reaktor påregnes at stå færdig. Både EU og USA er principielt imod at levetidsforlænge, men da denne beslutning nu allerede er truffet af regeringen i

Albanien, har USA givet udtryk for, at der under disse omstændigheder vil kunne forventes fortsat støtte til sikkerhedsopgraderinger på Metsamor-2.

Armenien har valgt at udføre en stress-test efter EU's specifikationer og ligeledes med en efterfølgende transparent "peer-review" proces.

Regeringen indgik i august 2010 en aftale med Rusland om at bygge en VVER-1000 V-392 kernekraftenhed på 1060 MWe. Rusland har påtaget sig at stå for 50 % af finansieringen, og resten forudsættes dækket af Armenien selv (40 %) samt ved ekstern finansiering. Denne finansieringsmodel kræver, at der anvendes markedspriser ved salg af elektricitet. I december 2012 godkendte regeringen kravene til den planlagte reaktor. Kravene er i overensstemmelse med IAEA's seneste sikkerhedsstandarder. I denne forbindelse skal der foretages en seismisk risikovurdering, som skal godkendes af den armenske nukleare tilsynsmyndighed.

Bulgarien

Bulgarien har et enkelt kernekraftværk med to VVER-1000 reaktorenheder (Kozloduy-5 og -6). I 1986 begyndte det bulgarske statslige el-selskab NEK at opføre et kernekraftværk ved Belene. Byggeriet blev indstillet i 1991 efter Tjernobyl-ulykken og de politiske omvæltninger i Østeuropa, men genoptaget i 2006, hvor NEK samtidig skrev kontrakt med Atomstroyexport om levering af to VVER-1000 enheder, hver på 1060 MWe.

På grund af uenighed med Rusland om økonomien i projektet, har den bulgarske regering den 28. marts 2012 opgivet at færdiggøre byggeriet ved Belene. I april besluttedes det i stedet at installere de færdigbyggede dele til denne reaktor i en ny reaktor ved siden af de to eksisterende reaktorer ved Kozloduy. Der var på dette tidspunkt betalt 2/3 af reaktorens pris. Der vil i stedet blive bygget et naturgasdrevet elektricitetsværk ved Belene. Beslutningen udløste et erstatningskrav fra AtomStroyExport på 1 mia. euro.

I august 2012 valgte Bulgarien Westinghouse til at lave en plan for installation af en 1000 MWe reaktor ved Kozloduy. Planen skal være færdig i foråret 2013.

Design-levetiden på 30 år for de to reaktorer i Kozloduy udløber i 2017 og 2019, hvorfor regeringen har igangsat et program til en levetidsforlængelse på 20 år.

Estland

Elselskabet EestiEnergia gennemførte i 2010 en pladsundersøgelse på øen Suur-Pakri 50 km fra Tallin med henblik på at bygge et kernekraftværk. Fjernvarmeforsyning af Tallin området vil være en mulighed med denne placering. En principbeslutning i parlamentet om dette kan tidligst forventes i 2014.

Hviderusland

Hviderusland er i gang med de forberedende arbejder før byggeriet af landets første kernekraftværk nær grænsen til Litauen. Værket vil bestå af to russiske AES-2006 enheder, hver på 1200 MWe. . Formålet med at bygge værket er at mindske landets store afhængighed af import af russisk naturgas, øge diversiteten af elforsyningen og styrke den svage økonomi.

I juli 2012 indgik Hviderusland en aftale med det russiske selskab Atomstroyexport om levering af de to reaktorer. Rusland yder et lån på op mod 10 mia. dollars over 25 år til finansiering af byggeriet. Reaktorerne skal leveres nøglefærdige, og Rusland skal også levere brændsel i hele reaktorerne levetid samt modtage det brugte brændsel til oparbejdning. Første enhed skal ifølge kontrakten starte drift i 2018 og den anden i 2020. De forberedende arbejder er i gang, og selve byggeriet starter juni 2013.

Litauen

I februar 2007 blev de tre baltiske lande og Polen enige om at bygge et nyt kernekraftværk, Visaginas, ved det nu nedlagte Ignalina-værk. Polen var oprindelig med i dette projekt men trak sig ud i december 2011. I juli 2011 valgte den litauiske regeringen GE-Hitachi som strategisk investor, og GE-Hitachi skal stå for bygningen af den første enhed, Visaginas 1, der forventes at blive en ABWR-enhed på 1350 MWe. Enheden var planlagt til at skulle tages i drift omkring 2020-2022. I marts 2012 underskrev energiministeren en koncessionsaftale med GE-Hitachi som strategisk investor. Ifølge aftalen så den økonomiske fordeling mellem de baltiske lande af de ca. 6,5 mia. USD således ud: Litauen 38 %, GE-Hitachi 20 %, Letland 20 % og Estland 22 %.

Litauen vil i de kommende år få brug for en stigende import af elektricitet, men da man samtidig gerne vil mindske afhængigheden af Rusland, vil import af elektricitet fra Kaliningrad, hvor et nyt værk (50 km fra Vilnius) er under opførelse, næppe komme på tale. En ny kabelforbindelse (NordBalt) mellem Klaipeda i Litauen og Nybro i Sverige samt en forbindelse til Polen (LitPol) vil begge stå færdige i 2015, hvilket vil kunne afhjælpe noget af forsyningsproblemet. Det fremtidige mål er at være synkroniseret med det europæiske net.

Den 28. oktober 2012 var der valg til parlamentet, og den nye socialdemokratiske ledede regering afviste den tidligere regerings projekt, uden at dette betød et definitivt nej til kernekraft. Samtidig viste en vejledende folkeafstemning et stort flertal imod opførelsen af Visaginas værket.

Den nye regering vil nu undersøge mulighederne for en energiforsyning, der er mindre afhængig af Rusland, men vil ikke udelukke, at bygningen af et fælles baltisk kernekraftværk stadig kan komme på tale. Dette vil ifølge regeringen dog kræve en ny folkeafstemning.

Polen

Polens produktion af elektricitet er for størstedelens vedkommende baseret på kul og brunkul (92 %), hvilket hænger sammen med, at Polen har de største forekomster af kul i EU. Der er også import af naturgas fra Rusland. Den store afhængighed af fossilt brændsel ønskes nedbragt, så udledning af CO₂ kan reduceres.

Polen har indgået samarbejdsaftaler med EdF, Areva, GE-Hitachi og Westinghouse og arbejder på at få lignende aftaler med flere leverandører. Samtidigt er der indgået samarbejdsaftaler med Frankrig, USA og Japan om hjælp til opbygning af tilsynsmyndigheder og udarbejdning af den nødvendige lovgivning. Det forventes, at udbudsmateriale sendes til leverandørerne i løbet af 2013. Resultatet af udbuddet forventes i 2015. Miljøvurderinger og pladsundersøgelser skal gennemføres frem til 2014. Der skal vælges mellem placeringerne Zarnowiec, Choczewo og Gaski, hvor førstnævnte ligger ved en sø og de to sidstnævnte ved den baltiske kyst. Hvis alt går efter planen, kan den første beton støbes i 2016. Fire store statsejede selskaber underskrev i september 2012 et "Letter of Intent" om at samarbejde ved den fremtidige deltagelse i byggeriet af værket.

Rumænien

Landets to kernekraftenheder, Cernavoda-1 og -2, er af CANDU-typen, hver med en effekt på 655 MWe. Det rumænske el-selskab, Nuclearelectrica, har sin egen brændselementfabrik i Pitesi, der producerer brændslet til de to enheder. Kernekraft leverer lige under 20 % af elektriciteten, mens kul, vandkraft og gas leverer den resterende del.

Rumænien har over flere omgange forgæves søgt efter investorer til færdiggørelsen af Cernavoda-3 og -4. Det ser foreløbigt ikke ud til at lykkes. Alligevel har den rumænske delegation på Generalkonferencen i IAEA i september 2012 udtalt, at

”Rumænien planlægger at bygge endnu to reaktorer i Cernavoda samt et nyt kernekraftanlæg”. Sidstnævnte mulighed har måske større chance for at lykkes, idet Kinas ”Guangdong Nuclear Power Group” har vist interesse i at bygge to nye reaktorenheder med en tilhørende finansiering på 40 % af projektets samlede pris (5 mia. USD).

Det canadiske firma SNC-Lavalin skal i 2013 installere filtreret trykafledning af reaktorindeslutningerne på Cernavoda-1 og -2 under deres kommende nedlukningsperioder.

Rusland

Produktionen af elektricitet fordelt på energikilder er omtrent 17% fra kernekraft, 48% fra gas, 17% fra kul og 18% fra vandkraft.

Mange af Ruslands kernekraftværker er ved at være gamle, og den oprindelige design levetid på 30 år vil for mange enheders vedkommende blive overskredet i de nærmeste år. Det vil blive nødvendigt at levetidsforlænge disse, indtil der kan etableres alternativer. Der sigtes mod at levetidsforlænge VVER-440 og RBMK enhederne med 15 år og VVER-1000 enhederne med 25 år, og processen startede med de ældste modeller af VVER-440 (Kola-1 og -2 og Novovoronezh-3 og -4) og RBMK (Leningrad-1 til -4 og Kursk-1 og -2). Herefter fortsættes med de øvrige reaktorenheder. De nævnte reaktorenheder, på nær Leningrad-1, har alle fået godkendt levetidsforlængelse. Kursk-1 fik 10 års levetidsforlængelse og de resterende 15 års levetidsforlængelse.

Leningrad-1 blev lukket ned i maj 2012 på grund af problemer med deformation af brændselskanalerne. Omkring november 2013 tages der beslutning om, hvorvidt brændselskanalerne skal renoveres, eller om Leningrad-1 skal tages ud af drift og dekommissioneres.

Den lille formeringsreaktor BN-600 er også blevet levetidsforlænget frem til 2025. Nye og større enheder af lignende type (BN-800) skal inden da være taget i drift. Ideen i programmet til levetidsforlængelse af reaktorenheder er at renovere dem efterhånden, som deres levetid udløber, men samtidig skal der bygges nye reaktorenheder, hvilket vil muliggøre såvel en udbygning af kernekraften som dekommissionering af de ældste modeller. Disse vil blive taget ud af drift omkring 2020, og det drejer sig om følgende ældre reaktorenheder: 4 stk. VVER-440: Kola 1,2 og Novovoronezh 3,4, 2 stk. RBMK: Leningrad-1 og Kursk-1 samt de 3 små Bilibino reaktorenheder.

Da Rusland økonomisk set får mere ud af at eksportere naturgas end ved selv at bruge den til produktion af elektricitet, vil en stadig mindre andel af gassen fremover blive anvendt til indenlandsk el-produktion. Hertil kommer, at gasproduktionen i det vestlige Sibirien frem mod år 2020 vil falde betydeligt. Rusland satser derfor på en udbygning af såvel kernekraft som vandkraft, således at de tilsammen vil nærme sig 50 % af den samlede el-produktion omkring 2030.

Kernekraftens andel af elforsyningen kan øges på forskellige måder. Kapacitetsfaktoren er øget kraftigt gennem årene fra 56 % i 1998 til ca. 80 % i 2009, og der sigtes mod en tilgængelighed på omkring 90 % i 2015. De fleste kernekraftenheder vil få forøget effekten med i første omgang 4-5 %. Denne proces er i gang. Påbegyndte byggerier af kernekraftenheder har været gået i stå på grund af økonomisk vanskelige tider. Op gennem første halvdel af 1990'erne manglede Rusland økonomiske midler efter omstilling til markedsøkonomi, men ikke mindst med aftaler om eksport af reaktorer til Kina og Iran i slutningen af 1990'erne vendte situationen. Fra omkring år 2000 startede færdiggørelsen af flere tidligere påbegyndte kernekraftenheder.

Der har været flere forskellige scenarier for udbygning af kernekraft i Rusland, og forventningerne til antallet af nye reaktorenheder er løbende blevet nedjusteret, så der fremover næppe bliver tale om at opføre mere end ca. to nye kernekraftenheder om året, og måske 17-19 enheder over de næste 10 år. I 2012 startede opførelsen af værket i Kaliningrad og i slutningen af 2013 forventes Leningrad II-1 at stå færdigt. Det er en moderne VVER-1200 enhed magen til den, der nu bliver bygget i Kaliningrad.

Endvidere bygges et 70 MWe flydende kernekraftværk med skibsreaktorer (2x35 MWe KLT40S) til el- og varmeproduktion. Værket har været ramt af talrige forsinkelser pga. problemer med finansiering og kapacitetsproblemer. Det flydende værk hedder "Akademik Lomonosov", og det blev søsat ved et skibsværft i St. Petersborg i juni 2010 og skulle ifølge planen, når det var færdigbygget i 2012, sejles til Vilyuchinsk på Kamchatka-halvøen ved Stillehavet og tilsluttes nettet i 2013. Grundet insolvens blev afleveringen fra skibsværftet forsinket i forhold til de oprindelige planer. Staten overtog efterfølgende skibsværftet, og i december 2012 blev der underskrevet en ny kontrakt med et andet værft om færdiggørelse til levering i 2016. Der er planer om at bygge yderligere syv sådanne enheder.

Rusland har gennemført deres egne "stresstests" på de russiske værker. Metodologien er ligger tæt op af den, der er anvendt i EU.

Slovakiet

Slovakiet har i alt 4 reaktorenheder af typen VVER-440 af den nyere type 213 i drift. De to ældste er Bohunice-3 og -4, og de to seneste, bygget med Siemens instrumentering, er Mochovce-1 og -2. Kernekraften bidrager med 55 % af elektricitetsforsyningen i landet, mens vandkraft udgør 16 %, kul 16 % og gas 8,5 %.

Færdiggørelsen af Mochovce-3 og -4 enhederne, hver på 420 MWe, fortsætter. Grundet forsinkelser på grund af EU's stress tests planlægges de først i drift i 2013 og 2014. I 2016 planlægges de to enheder efterfølgende at blive opgraderet med henblik på at øge effekten.

I 2012 kom projektet imidlertid i vanskeligheder. Det italienske selskab Enel overtog i 2004 omkring 66 % af det slovenske el-selskab "Slovenske Elektrarna" som led i en privatiseringsproces. I selskabets godkendte investeringsplan fra 2005 indgik 1,6 mia. euro, der siden er vokset til 2,7 mia. euro, til færdiggørelsen af de to enheder. I december 2012 bad Enel om yderligere 800 mio. euro samt en forlængelse af projektets løbetid på 22 måneder. Både regeringen og Slovenske Elektrarna har afslået dette.

På Mochovce-1 og -2 er effekten forøget med 7 % og på Bohunice-3 og -4 med ca. 14 %. De to kernekraftenheder Bohunice-3 og -4 er i forbindelse opgraderinger endvidere blevet levetidsforlængede frem til 2025.

Slovenien

Slovenien har med kernekraftværket Krsko en enkelt trykvandsreaktor fra Westinghouse. Værket ejes i fællesskab af Slovenien og Kroatien. Værket leverer ca. 40 % af elforbruget i Slovenien og 15 % af elforbruget i Kroatien. Resten stammer fra kul og vandkraft. Reaktorenheden er fra 1983 med en design levetid på 40 år. Der er søgt om levetidsforlængelse på ekstra 20 år, hvilket er sket i god tid inden udløbet af værkets levetid i 2023.

Regeringen har tidligere foreslået, før ulykken i Fukushima, at der bygges endnu en reaktor i Krsko på 1100-1600 MWe til idriftsætning i 2020. Om dette projekt bliver realiseret er tvivlsomt.

Tjekkiet

Tjekkiet har to kernekraftværker: Dukovany med fire reaktorenheder af typen VVER-440 model 213, og Temelin med to enheder af den mere moderne type VVER-1000. Alle 6 reaktorenheder har fået øget effekten gennem de senere år.

Omkring 33 % af elektricitetsforsyning stammer fra kernekraft. Fordelingen ser således ud: Kul 57 %, kernekraft 33 % og resten fra andre kilder.

I den tjekkiske regerings energistrategi fra november 2012 sættes som mål, at kernekraft i 2040 vil stå for ca. halvdelen af landets produktion af elektricitet. Derved vil Tjekkiet blive mindre afhængigt af svindende kulreserver og samtidig blive bedre i stand til kunne opfylde fremtidige mål for CO₂ reduktioner. Ud over to ekstra reaktorenheder ved Temelin, planlægges på langt sigt opførelsen af en ekstra reaktorenhed ved Dukovany.

Dukovany 1-4 blev sat i drift i årene 1985 til 1987, og med en design levetid på 30 år betyder det udløb af deres levetid i perioden 2015-17. Et projekt til en levetidsforlængelse på 10 år for de 4 reaktorer og til en samlet pris på 560 mio. euro strækker sig over årene 2009-2015. På langt sigt kan det komme på tale at levetidsforlænge reaktorerne helt op til 60 år.

Temelin kernekraftværket har plads til yderligere to kernekraftenheder. CEZ bad i 2008 regeringen om at iværksætte VVM-processen for en sådan udbygning, og en miljøredegørelse blev afleveret til regeringen i maj 2010. Tre leverandører er blevet prækvalificerede i marts 2010. Udbudsrunderen startede i oktober 2011, buddene blev sendt ind i juli 2012, og underskrivelse af kontrakt vil ske sidst i 2013. De tre leverandører var: Et konsortium ledet af Westinghouse (amerikanske AP1000 reaktor), Skoda/AtomStroyExport/Gidoexpress (russiske AES-2006 reaktor) og endelig Areva (franske EPR reaktor). Det franske bud blev imidlertid diskvalificeret i oktober 2012. De to kernekraftenheder vil sandsynligvis være færdigbyggede i 2023-24. Der sigtes mod en effekt på 1200 MWe pr. enhed.

Ukraine

Ukraine har 15 reaktorenheder i drift, to ældre VVER-440 enheder og 13 moderne VVER-1000 enheder. Kernekraft står for omkring halvdelen af landets elforsyning. Resten stammer hovedsageligt fra kul og russisk gas. Landet har egne reserver af uran og kul.

Ukraines kernekraftenheder er fordelt på fire værker: Khmel'nitski, Rovno, South Ukraine og Zaporozhe. Designlevetiden for kernekraftenheder i Ukraine er 30 år, men der er planlagt 20 års levetidsforlængelse for samtlige enheder. Endnu har kun de to gamle VVER-440 enheder (Rovno-1 og -2) fra 1981/82 opnået levetidsforlængelser.

Designlevetiden for South Ukraine-1 udløb den 2. december 2012. Man havde ikke nået at levetidsforlænge den, hvilket er en dyr og kompleks proces, så den kan ikke fortsætte driften på normale vilkår. Det blev den 26. december 2012 besluttet at give værket en midlertidig tilladelse til drift med tilhørende restriktive betingelser. De næste udløb af levetid indtræffer i 2015 for både South Ukraine-2 og Zaporozhe-1. I alt 10 reaktorer skal levetidsforlænges inden 2020.

For fremadrettet at fastholde en andel på 50 % af elforsyningen fra kernekraft vil der blive behov for en fordobling af kernekraftkapaciteten frem til 2030. Ukraine planlægger at bygge op til 20 nye kernekraftenheder over de næste 25 år, men det kniber med finansieringen. Færdiggørelsen af Khmel'nitsky-3 (75 % færdig) og Khmel'nitsky-4 (28 % færdig) har været gået i stå i mange år, men de to reaktorenheder planlægges nu at blive sat i drift i henholdsvis 2018 og 2020. Der er underskrevet kontrakt med AtomStroyExport med tilhørende 85 % finansiering om færdiggørelse af de to russiske VVER-1000 reaktorer. Den resterende del af

betalingen står Ukraine for, og en godkendelse forelå fra regeringens side i august 2012.

Byggeriet af et stort fælles Russisk-Ukrainsk brændselsfremstillingsanlæg påbegyndtes den 4. oktober 2012 ved byen Smolino i Ukraine. Anlægget vil fra 2015 kunne forsyne alle 15 reaktorer i Ukraine med brændselselementer. Berigningen af uran skal foregå i Rusland. Ukraine har egne uranminer og moderat store forekomster af uran. Hertil kommer forekomster af zirconium, som anvendes ved brændselsfremstilling.

Opførelsen af dette anlæg, levetidsforlængelse af reaktorenheder og byggeriet af nye reaktorenheder kræver megen kapital. En stor del af denne skal skaffes til veje ved at hæve prisen på elektricitet.

Ungarn

Ungarn har kernekraftværket Paks med fire VVER-440 enheder. Paks blev renoveret i perioden 2006 til 2009, hvorved effekten af værkets fire enheder blev øget til 470 MWe hver. Samtidig blev kontroludrustning m.v. moderniseret.

Designlevetiden for reaktorenhederne i Paks var oprindeligt 30 år, men en 20-års levetidsforlængelse af enhederne er godkendt af parlamentet, således at enhederne nu forventes at kunne fortsætte driften frem til 2032-37. Parlamentet har godkendt, at der gennemføres en VVM-proces for op til 6000 MWe ny produktionskapacitet med kernekraftenheder. Prækvalifikation af leverandører til to nye kernekraftenheder ved det eksisterende kraftværk i Paks er i gang. I udbudsrunderen deltager følgende 5: Areva (fransk EPR reaktor), Areva-Mitsubishi (fælles fransk/japansk udviklet Atmeal reaktor), AtomStroyExport (russisk VVER-1000 eller -1200 reaktor), Westinghouse (amerikansk AP1000 reaktor) og endelig Korea/KEPCO (koreansk APR-1400 reaktor). I september 2012 etablerede operatøren af værket en projektgruppe, der skal planlægge de nye enheder og opnå licenser. Det er stadig planen, at den første enhed skal sættes i drift omkring 2020 og den anden omkring 2025.

2.3 Nordamerika

Nordamerika

USA og Canada har tilsammen 123 kernekraftenheder, der dækker ca. 18 % af elforbruget. Mexico har et enkelt kernekraftværk med to enheder, der dækker 4 % af landets elforbrug.

Canada

De canadiske kernekraftværker ligger alle i den østlige del af landet: De to store værker, Bruce og Pickering med hver seks enheder i drift, samt Darlington med fire enheder ligger i Ontario. Quebec har en enkelt enhed, Point Lepreau, i drift. Alle enhederne er CANDU-enheder, forsynet med reaktorer, der er udviklet af det canadiske AECL.

To af de oprindeligt otte enheder i Pickeringværket er lukket ned, og flere af enhederne ved Bruce-værket har været lukket ned, men er blevet renoveret igennem de senere år. Bruce-1 og -2 enhederne, der har været ude af drift siden henholdsvis 1997 og 1995, er nu renoverede og fik herved forøget levetiden med 25 år. De blev i 2011 forsynet med brændsel og taget i drift i 2012.

Point Lepreau-enheden har undergået renoveringsarbejder, der sigter på at forlænge dens levetid med 25-30 år, så den kan fortsætte driften til ca. 2040; den er taget i prøvedrift i oktober 2012.

Renovering af enheden i Gentilly blev opgivet af økonomiske årsager, og den blev taget ud af drift ved udgangen af 2012. Reaktoren tømmes nu for brændsel. Egentlig dekommissionering skal først påbegyndes om 40 år.

Provinsregeringen i Ontario udskød i 2009 planerne for opførelsen af to kernekraftenheder ved Darlington værket og besluttede at levetidsforlænge de ældre enheder med 30 år i perioden 2016-2025. Det er dog fortsat planen, at eventuelle nye kernekraftenheder i Ontario i givet fald skal bygges ved Darlington. I august 2012 godkendte lokalregeringen en VVM-rapport, der fandt værksområdet egnet til op til fire nye kernekraftenheder, og der blev givet tilladelse til udførelse af forberedende arbejder. I juni traf kraftværksejeren OPG efter en prækvalifikationsrunde aftaler med Westinghouse (AP1000) og AECL (EC6) om udfærdigelse af detaljerede tidsplaner og tilbud om bygning af to kernekraftenheder ved værket.

Forskningsreaktoren ved Chalk River blev lukket ned i maj 2009, da det blev opdaget, at reaktoren havde en lækage af tungt vand, hvorved små mængder radioaktivt tritium blev ledt ud til omgivelserne, og den kom først i drift igen i august 2010. Chalk River reaktoren anvendes til produktion af radioaktive isotoper, og produktionen dækker over halvdelen af verdens behov for medicinske isotoper. Dens restlevetid er imidlertid begrænset (den er fra 1957), og driftstilladelsen er p.t. gyldig til 2016.

USA

USA har 65 kernekraftværker med i alt 104 enheder i drift. De fleste af værkerne ligger i den østlige og sydlige del af USA. Den samlede installerede kapacitet er på ca. 100 GWe, og kernekraft udgør ca. 20 % af el-produktionen. En enkelt enhed, Watts Bar-2, er under opførelse. Projektet er stærkt forsinket, og enheden ventes først i drift i slutningen af 2015.

I 2011 og 2012 er der i USA godkendt opnormeringer af kernekraftværkernes kapacitet på i alt godt 1000 MWe.

Med USA's Energy Policy Act 2005 blev der igen ydet politisk støtte til opførelse af nye kernekraftværker, og i dag er der tale om en begyndende renæssance for kernekraft. Denne renæssance synes ikke påvirket af ulykken på Fukushima Dai-ichi kernekraftværket, men nogle projekter er dog forsinket af den økonomiske krise. Faldende naturgaspriser har også forringet rentabiliteten for nogle projekter; blandt andet er et projekt med to kernekraftenheder i Victoria County, Texas, nu opgivet helt.

Et centralt element i denne støtte er en lånegarantiordning. Den har imidlertid vist sig at være så dyr i form af garantiprovision, at kun et selskab har søgt støtte via ordningen til opførelse af kernekraftenheder, nemlig Vogtle i Georgia, som har fået tilsagn om en lånegaranti for to AP1000 enheder til planlagt idriftsættelse i 2016 og 2017. Byggeriet er igangsat, men selskabet har endnu ikke udnyttet lånetilsagnet. Andre har fået positive forhåndstilkendegivelser, men har endnu ikke søgt.

Myndighedsbehandlingen blev også forenklet med Energy Policy Act ved at dele den op i tre dele.

En given lokalitet kan efter en miljøgodkendelsesprocedure godkendes til en eller flere kernekraftenheder af godkendt type (ESP, Early Site Permit). Der tages ikke stilling til valg af type, kun egnetheden af pladsen. Med en sådan godkendelse kan visse forberedende arbejder udføres.

En reaktortype kan godkendes til opstilling generelt. Reelt er der tale om en typegodkendelse (design certification).

En kombineret bygge- og driftstilladelse (COL, Construction and Operating Licence), som med de to ovennævnte betingelser opfyldt er forholdsvis ukompliceret at få udstedt.

Der er en ansøgning om typegodkendelse på vej for den koreanske APR-1400 reaktor, der er solgt til de Forenede Arabiske Emirater, ligesom Rosatom har annonceret, at de vil søge om godkendelse af eksportversionen af VVER-1200 reaktoren. Dertil kommer formentlig ansøgninger for tre forskellige modulære reaktortyper (SMR, Small Modular Reactor) fra henholdsvis Westinghouse, Babcock & Wilcox og Holtec.

Efter den politiske beslutning om at opgive etableringen af et slutdepot for brugt brændsel og højaktivt radioaktivt affald i Yucca Mountain i Nevada har tilsynsmyndigheden NRC baseret sin myndighedsbehandling på en "formodningsregel". Essensen i denne regel er, at "selvom der endnu ikke er bygget et slutdepot, så menes der teknisk set ikke at være noget, der hindrer sikker, permanent opbevaring af højaktivt radioaktivt affald eller brugt brændsel".

Denne "formodningsregel" blev i juni 2012 underkendt af en føderal appeldomstol som utilstrækkeligt underbygget. NRC har nu igangsat en procedure, der på samme måde som ved miljøundersøgelser skal underbygge reglen ved udarbejdelse af en teknisk-videnskabelig miljørapport, som derefter skal i offentlig høring, før NRC kan træffe en beslutning i sagen. Indtil denne procedure er afsluttet, vil NRC ikke udstede endelige tilladelser, der bygger på en formodningsregel. Der vil således ikke blive givet tilladelse til opførelse af nye værker, udstedt idrifttagningstilladelser (Watts Bar 2) eller ske forlængelse af driftstilladelser (13 ansøgninger under behandling), før denne procedure er afsluttet. I mellemtiden kan øvrige forberedelser som myndighedsbehandling og miljøundersøgelser dog fortsætte, så forsinkelserne minimeres også for nye ansøgninger.

Inden den ovennævnte dom blev der dog udstedt kombinerede bygge- og driftstilladelser (COL) for i alt fire nye kernekraftenheder, to reaktorer af typen AP1000 ved både Vogtle (i drift 2016 og 2017) og Virgil C. Summer (i drift 2017 og 2018) kernekraftværkerne.

NRC behandler for tiden ansøgninger om kombinerede bygge- og driftstilladelser (COL) for 17 kernekraftenheder; andre ansøgninger er helt eller delvist sat i bero af ansøgerne.

Af ansøgninger med et besluttet færdiggørelsestidspunkt behandler NRC for tiden ansøgninger for Levy County i Florida (to AP1000 enheder i 2024-26), Shearon Harris i North Carolina (to AP1000 enheder i 2020), William States Lee i South Carolina (to AP1000 enheder i 2021-23) og Turkey Point i Florida (to AP1000 enheder i 2022-23).

Derudover behandles der ansøgninger for reaktorer, der endnu ikke er typegodkendt. Der er tale om Comanche Peak-3 og -4 i Texas (to US-APWR enheder), North Anna-3 i Virginia (en US-APWR enhed), Fermi-3 i Missouri (en ESBWR enhed), Calvert Cliffs-3 i Maryland (en US-EPR enhed) og Nine Mile Point-3 i New York (en US-EPR enhed); de to sidstnævnte forsinkes yderligere af, at de amerikanske partnere har trukket sig, så kun det franske selskab EdF er tilbage. South Texas Project-3 og -4 (2 ABWR enheder) er i praksis sat i bero, da den største delejer har trukket sig ud af projektet.

Sikkerhedsanalyserne for USA's kernekraftværker fortsætter. Der er vedtaget en tidsplan, hvor der på baggrund af erfaringerne fra Fukushima og de efterfølgende analyser, både i USA og andre lande, kræves trinvis forbedringer af mulighederne for at hindre skader på anlæggene og udslip til omgivelserne, også efter ekstreme hændelser.

I forbindelse med en damplækage i en dampgenerator på kernekraftenheden San Onofre-3 opdagede man, at der var uventet stor slitage på de dampgeneratorer, der knap et år forinden var blevet udskiftet som led i en levetidsforlængelse. Begge reaktorer på værket havde fået installeret nye dampgeneratorer i 2011. Et efterfølgende eftersyn på San Onofre-2 afslørede lignende problemer, og begge reaktorer har været nedlukket siden.

2.4 Asien

Forenede Arabiske Emirater

De Forenede Arabiske Emirater påbegyndte i 2012 byggeriet af landets første kernekraftenhed, Barakah-værket ved Braka ca. 300 km vest for Abu Dhabi vil komme til at bestå af fire APR-1400 enheder, der alle leveres af KEPCO. Enhederne Barakah-1 og -2 fik byggetilladelse i juli 2012, og de to enheder planlægges at være færdigbyggede i 2017 og 2018, mens de to sidste enheder ventes at kunne sættes i drift i 2019 og 2020. Den samlede pris for de fire enheder er 20 mia. USD.

I tilknytning til Barakah kernekraftværket har de Forenede Arabiske Emirater indgået en række aftaler med bl.a. Canada, Storbritannien, Frankrig, Rusland, Korea og USA om brændselsforsyning til værket, herunder uranforsyning, konversion, berigning og brændselsfremstilling. Sideløbende hermed har landet i 2012 indgået en bilateral aftale med Australien om levering af uran.

Indien

Indien har en forholdsvis beskeden kernekraftproduktion, men forventer i 2020 at have tredoblet kernekraftkapaciteten til 14.600 MWe og forventer endvidere, at kernekraft i 2050 vil udgøre 25% af den samlede elproduktion. De fleste af de indiske reaktorer er forholdsvis små, i størrelsen 200 MWe, og bortset fra de to ældste, der er af GE-design, er reaktorerne alle indisk udviklede, baseret på CANDU reaktor design.

Syv kernekraftenheder er under opførelse. De første to enheder, Kudankulam-1 og -2, er VVER-1000 enheder, der leveres af russiske Atomstroyexport. Enhederne er forsinket, bl.a. på grund af lokal modstand mod byggeriet, men forventes sat i drift i løbet af 2013. Rusland og Indien har i 2012 indgået en aftale om finansiering af to andre enheder på værket, Kudankulam-3 og -4, der også skal forsynes med VVER-1000 reaktorer. Rusland vil levere brændsel til værket gennem værkets levetid, mens Indien planlægger at oparbejde det brugte brændsel for at kunne udnytte det producerede plutonium til elproduktion.

De resterende 5 enheder, der er under opførelse, er alle af indisk design, og består af en hurtigreaktorenhed (FBR) på 470 MWe, samt fire 670 MWe PHWR enheder, der er en videreudvikling af 200 MWe PHWR serien.

Efter at Indien i 2008 indgik en aftale med Nuclear Suppliers' Group, er der åbnet op for import af såvel reaktorer som brændsel til de anlæg, der er underlagt IAEA kontrol, og den fremtidige udbygning af kernekraft i Indien forventes at blive baseret på såvel indiske som importerede reaktorenheder.

I 2012 åbnede den indiske Tummalapalle uranmine, der vil have en produktion på 220 tU/år. Åbningen af minen betyder, at uranproduktionen i Indien forøges med ca. 50%, og minedriften vil medvirke til gøre Indien mere selvforsynende med uran til kernekraftindustrien.

Iran

Irans første kernekraftenhed, Bushehr-1, blev sat i drift i 2011 efter lange forsinkelser. Bushehr-værket, der oprindeligt blev påbegyndt af Siemens i 1975, blev

færdigbygget af det russiske Atomstroyexport. Værket skal drives af Rusland og Iran i fællesskab og er underlagt fuld IAEA kontrol. Bushehr-1 enheden forsynes med russisk brændsel, der også tager det brugte brændsel retur, hvilket gør uranberigning i Iran unødvendig. Enheden har siden starten været ramt af driftsforstyrrelser, der bl.a. skyldes, at en del af udstyret er af ældre dato.

Japan

Fukushima-ulykken i april 2011 har betydet omfattende ændringer i den japanske energiforsyning: Efter ulykken er samtlige landets 54 reaktorer taget ud af drift, enten direkte som følge af ulykken eller efterfølgende i forbindelse med planlagte driftsstop. Ved udgangen af 2012 var kun to enheder genstartet, 4 enheder (de forulykkede Fukushima Daiichi enheder) permanent nedlagt, mens de resterende 48 enheder afventer beslutning om den fortsatte drift.

De to genstartede enheder, Ohn-3 og -4 beliggende på den japanske vestkyst, er på hver 1127 MWe og er forsynet med trykvandsreaktorer. Genstarten af de to enheder blev mødt med store protester, og der er ikke efterfølgende blevet genstartet flere enheder.

Nedlukningen af de japanske kernekraftværker har betydet udbredt mangel på elektricitet, og at importen af fossile brændsler (især naturgas og kul) samtidigt er øget betydeligt. Samlet vurderes den øgede import af fossile brændsler at koste det japanske samfund 40 mia. USD/år.

Som følge af Fukushima-ulykken foreslog den daværende japanske regering en ny energiplan, hvor kernekraft skulle have en mere begrænset rolle og helt udfases i 2040. Derimod skulle de eksisterende reaktorer genstartes, hvis sikkerheden ved reaktorerne kunne vurderes som tilstrækkelig. Ligeledes skulle det igangværende byggeri af Shimane-3 og Ohma-1 enhederne fortsætte, og oparbejdning af brugt brændsel i Japan fortsat finde sted.

Beslutningen om udfasningen stod imidlertid kun i fire dage, hvorefter den blev modificeret, så tidshorizonten for en udfasning blev fjernet. Efter parlamentsvalget sidst i 2012, hvor det Liberale Demokratiske Parti fik regeringsmagten, ventes den nye regering at være mere positiv over for at genstarte de nedlukkede kernekraftenheder, og for at kernekraft fortsat indgår i landets energiplan.

En ny nuklear tilsynsmyndighed, NRA, erstattede i september 2012 den tidligere myndighed NISA, der har været stærkt kritiseret for sin rolle før og under Fukushima-ulykken. NRA har fået en større grad af uafhængighed end NISA, modelleret efter forbilledet af den amerikanske tilsynsmyndighed, NRC. Mens NISA var underlagt det japanske økonomi-, handels- og industriministerium, er NRA tilknyttet miljøministeriet. Den første opgave for den nye myndighed er at vurdere sikkerheden ved de nedlukkede enheder og tage beslutning om, hvorvidt disse kan genstartes.

TEPCO, Tokyo Electrical Power Company, der stod for driften af Fukushima-værket, blev i 2012 delvist overtaget af den japanske stat, der har købt 76% af aktierne i selskabet for 12,5 mia. USD. Selskabets underskud i regnskabsåret 2012 blev på ca. 9,8 mia. USD, som dels skyldes udbetaling af erstatninger og oprensning efter ulykken og dels de øgede brændselsudgifter for TEPCO's ikke-nukleare kraftværker.

Berigningsanlægget Rokkasho blev i begyndelsen af 2012 genstartet efter 15 måneders nedlukning. Nedlukningen skyldtes behov for udskiftning af centrifuger til anlægget og er ikke relateret til Fukushima-ulykken.

Jordan

Jordan har ikke kernekraft, men har siden 2007 haft planer for at bygge flere kernekraftværker til at indgå i landets elforsyning og til brug for afsaltning. Den jordanske atomenergi kommission (JAEC) har bl.a. forhandlet med KEPCO, Areva-MHI, Atomstroyexport og AECL om levering af en eller to enheder på ca. 1000 MWe, der skulle leveres som nøglefærdige enheder, og JAEC forventede at byggeriet kunne påbegyndes i 2013.

Underhuset i det jordanske parlament suspendede imidlertid i 2012 planerne for at bygge kernekraftværkerne, og samtidig blev planerne om udvinding af uran i Jordan sat i bero. Det er nu uklart, om Jordan vil opgive at indføre kernekraft eller i stedet for vil satse på at bygge mindre, modulære kernekraftenheder, der passer bedre til landets elforsyning.

Kasakhstan

Kasakhstan har ikke kernekraft, men har store uranforekomster og er verdens største producent af uran. I 2011 nåede produktionen op på 19.400 tons uran, hvilket udgjorde ca. 35% af den globale uranforsyning. Kasakhstan leverer ikke alene uran til kernekraftindustrien, men har egne konversions- og berigningsanlæg samt et større anlæg til produktion af uran brændselspiller.

Det statslige selskab, Kazatomprom, der står for såvel minedriften som de nukleare industrielle aktiviteter, regner med i 2015 at have 30% markedsandel af den globale produktion af brændselspiller.

Kina

Kina har verdens største udbygningsprogram for kernekraft, med 29 reaktorer under opførelse og 57 andre reaktorer planlagt til byggestart inden 2020. Derudover er der forslag om opførelsen af yderligere ca. 150 reaktorer, hvilket vil gøre Kina til det land i verden med flest reaktorer i drift. Samlet har Kina planer for at udbygge kernekraftkapaciteten til ca. 60 GWe i 2020, voksende til 200 GWe i 2030 og til 400 GWe i 2050.

I 2012 blev en enkelt ny kernekraftenhed sat i drift: Ningde-1, en kinesisk udviklet CPR-1000 enhed på 1037 MWe. Ved Ningde-værket planlægges det at opføre i alt 6 enheder, formentlig alle CPR-1000 enheder, hvoraf de fire første vil stå færdige i 2015.

Som følge af Fukushima-ulykken i april 2011 blev udbygningen af nye reaktorer sat i bero, for at Kina kunne revurdere sikkerheden ved de eksisterende og nye reaktorer. I en 18 måneders periode blev der ikke givet tilladelse til at bygge nye enheder, mens de igangværende byggeprojekter fortsatte igennem perioden.

En konsekvens af Fukushima-ulykken er, at sikkerheden ved nye reaktorer i Kina, som i andre lande, skal leve op til en højere standard baseret på erfaringerne fra Fukushima-ulykken. Det drejer sig især om en øget sikkerhed over for eksterne hændelser og hændelser, der påvirker flere anlæg samtidigt. I en ny sikkerhedsplan for kernekraft, herunder for forskningsreaktorer og andre nukleare anlæg, skal der sættes nye standarder for beskyttelse mod oversvømmelse, og specielt for forskningsreaktorer skal der sættes nye standarder for beskyttelse mod jordskælv. Sikkerhedsplanen har som målsætning, at alvorlige ulykker (INES niveau 3) ikke må kunne finde sted. Derudover skal kinesiske myndigheder sikre, at de nukleare anlæg fuldt ud implementerer IAEA's sikkerhedsstandarder.

Sikkerheden ved de i alt 46 eksisterende reaktorer og reaktorer, der er under opførelse, skal ligeledes forbedres, og udgifterne til dette anslås at blive ca. 18 mia. USD.

Efter at moratoriet på nybyggeri blev ophævet, har Kina påbegyndt opførelsen af fire nye enheder. To af enhederne, Fuqing-4 og Yangjiang-4, er baseret på Kinas CPR-1000 trykvandsenhed, der udgør hovedparten af det igangværende byggeprogram. Ved Tianwan-værket, hvor der ligger to russisk designede VVER-1000 enheder, er opførelsen af den tredje enhed påbegyndt, ligeledes baseret på VVER-1000 trykvandsreaktoren, der skal leveres af Atomstroyexport. Den sidste enhed, der blev påbegyndt i 2012, er Shandong Shidaowan HTR-PM enheden, der består af en PBMR-reaktor, en modulær høj-temperatur gas-kølet reaktor på 210 MWe. Reaktoren er en demonstrationsenhed, der skal bane vej for opførelsen af yderligere 17 HTR-PM enheder på stedet, så Shandong Shidaowan værket samlet får en kapacitet på 3780 MWe. Beslutningen om at tillade opførelsen af nye enheder ventes i første omgang kun at gælde for kystnære enheder.

Kina har opskrevet landets mulige uran-ressourcer til 200 mio. tons, baseret på fundet af nye uranforekomster i Nord- og Nordvestkina samt i det sydøstlige Kina. Kina er i dag afhængig af import af uran fra bl.a. Kasakhstan, Namibia og Niger, men forventer at blive selvforsynende med uran, når de nye forekomster udnyttes.

Sydkorea

I Sydkorea blev to nye enheder, Shin Kori-2 og Shin Wolsong-1, sat i drift i begyndelsen af året efter ca. 4½ års byggeri. De to enheder er begge koreansk fremstillede OPR-1000 enheder på hver 1001 MWe. Med de to nye enheder har Sydkorea i alt 23 kernekraftenheder i drift.

Fem andre enheder er under opførelse, Shin Wolsong-2, også en OPR-1000 enhed, der ventes at blive færdigbygget i 2013, samt enhederne Shin Kori-3, -4 og Shin Hanul-1,-2, der alle er forsynet med koreansk udviklede APR-1400 reaktorer, og som ventes at blive taget i drift i perioden 2014-18.

Sydkorea planlægger at kernekraft i fremtiden skal udgøre en endnu større del af elforsyningen end de nuværende ca. 30%. I Sydkoreas energiplan fra 2011 antages det, at kernekraften bliver fordoblet, så den nuværende kapacitet på ca. 22 GWe bliver udbygget til 43 GWe i 2030, hvor kernekraft vil dække knap 60% af elforsyningen.

Samtidig forventer Sydkorea at blive en betydelig eksportør af kernekraftteknologi. KEPCO indgik i 2009 en aftale med De Forenede Arabiske Emirater om salg af fire APR-1400 enheder til en værdi af ca. 20 mia. USD, og KEPCO har tilbudt sine 3. generations reaktorenheder til andre lande i Asien, Mellemøsten og Europa.

Tyrkiet

Det russiske firma Atomenergoprospekt forbereder bygning af Tyrkiets første kernekraftenhed ved Akkuyu ved Middelhavskysten.

2.5 Andre lande

I Sydamerika er det kun Argentina og Brasilien, der har kernekraftværker, men andre lande i regionen har vist interesse for indførelse af kernekraft. I Afrika er det kun Sydafrika, som anvender kernekraft.

Argentina

Argentina har to kernekraftenheder, Atucha-1 fra 1974 og Embalse enheden fra 1983, som tilsammen leverer ca. 5 % af elforsyningen. Argentina har opført enheden Atucha-2, der er under afprøvning og forventes at blive sat i drift i 2013. Atucha-1 og -2 enhederne på henholdsvis 330 og 745 MWe er forsynet med tungtvandsreaktorer, der er designet af Siemens. Denne type findes kun i Argentina. Der er skrevet kontrakt med Atomic Energy of Canada Ltd (AECL) om et

moderniseringsprogram for Embalse-enheden, så dens levetid kan forlænges med 25 år.

Det argentinske senat godkendte i 2009 opførelsen af landets fjerde kernekraftenhed, en 740 MWe CANDU-6 enhed fra det canadiske AECL. Siden er andre reaktortyper kommet i betragtning, og op til to enheder kan blive opført i Athuca. Der er gennemført prækvalifikation af leverandører, og en endelig beslutning ventes truffet, når Atucha 2 er taget i drift i første halvdel af 2013.

Brasilien

Angra-værket består af to enheder, Angra-1 og -2, som tilsammen leverer ca. 3 % af elforsyningen. Det er besluttet at færdigbygge Angra-3 enheden, der blev påbegyndt i 1984, men opførelsen blev afbrudt i 1986, inden det egentlige byggearbejde var begyndt. Angra-3 har fået byggetilladelse til byggeriet i maj 2010, arbejdet er genoptaget og enheden på 1400 MWe forventes taget i drift ultimo 2015.

Derudover planlægges opførelsen af fire nye kernekraftenheder, to ved Recife i landets nordøstlige, mindre udviklede del og to på det eksisterende kraftværk ved Angra i den industrielle, sydøstlige del. På grund af finansieringsproblemer ventes denne udbygning først påbegyndt efter 2020.

Chile

Det chilenske energiministerium har siden 2007 forberedt indførelse af kernekraft til erstatning for kulkraft. Der forudsættes bygning af op til 5 kernekraftenheder med idriftsættelse i perioden 2024-2035. I oktober 2012 annoncerede energiministerien iværksættelse af to analyser i 2013, en teknisk analyse af de potentielle enhedstyper og en lokaliseringsanalyse.

3 Udvikling af reaktorer og sikkerhed

3.1 Små modulære reaktorer

SMR, Small Modular Reactors er reaktorer med effekter på op til ca. 300 MWe. Disse har gennem de senere år fået stor opmærksomhed i den nukleare industri og blandt kraftværksejere. Der er flere grunde til denne interesse, bl.a. de reducerede kapitaludgifter, der skal til for at bygge enhederne, ligesom byggetiden vil kunne reduceres. Sporene fra den finske EPR på 1600 MWe skræmmer: Anlægsudgifterne er her næsten steget til det dobbelte og byggetiden ligeledes i forhold til det planlagte.

Man forestiller sig, at SMR-enhederne vil kunne fremstilles næsten nøglefærdige på fabrik, for siden at blive transporteret til det planlagte sted og sat i drift (Plug and Play). De små modulære enheder vil kunne passe ind i mindre elektriske net, men vil også kunne sættes sammen til større enheder. Da enhederne fremstilles på fabrik forventer man, at omkostningerne reduceres så meget, at de kan kompensere for den økonomiske gevinst, der ellers er ved at etablere store enheder.

Tabel 3.1 viser forskellige SMR-design, hvoraf flere fortsat er på planlægningsstadiet.

Tabel 3.1. SMR-design forslag.

Name	Capacity	Type	Developer
KLT-40S	35 MWe	PWR	OKBM, Russia
VK-300	300 MWe	BWR	Atomenergoproekt, Russia
CAREM	27-100 MWe	PWR	CNEA & INVAP, Argentina
IRIS	100-335 MWe	PWR	Westinghouse-led, international
Westinghouse SMR	200 MWe	PWR	Westinghouse, USA
mPower	150-180 MWe	PWR	Babcock & Wilcox + Bechtel, USA
SMR-160	160 MWe	PWR	Holtec, USA
SMART	100 MWe	PWR	KAERI, South Korea
NuScale	45 MWe	PWR	NuScale Power + Fluor, USA
ACP100	100 MWe	PWR	CNNC & Guodian, China
HTR-PM	2x105 MWe	HTR	INET & Huaneng, China
EM2	240 MWe	HTR	General Atomics (USA)
SC-HTGR (Antares)	250 MWe	HTR	Areva
BREST	300 MWe	FNR	RDIPE, Russia
SVBR-100	100 MWe	FNR	AKME-engineering (Rosatom/En+), Russia
Gen4 module	25 MWe	FNR	Gen4 (Hyperion), USA
Prism	311 MWe	FNR	GE-Hitachi, USA
FUJI	100 MWe	MSR	ITHMSO, Japan-Russia-USA

Babcock & Wilcox design mPower SMR

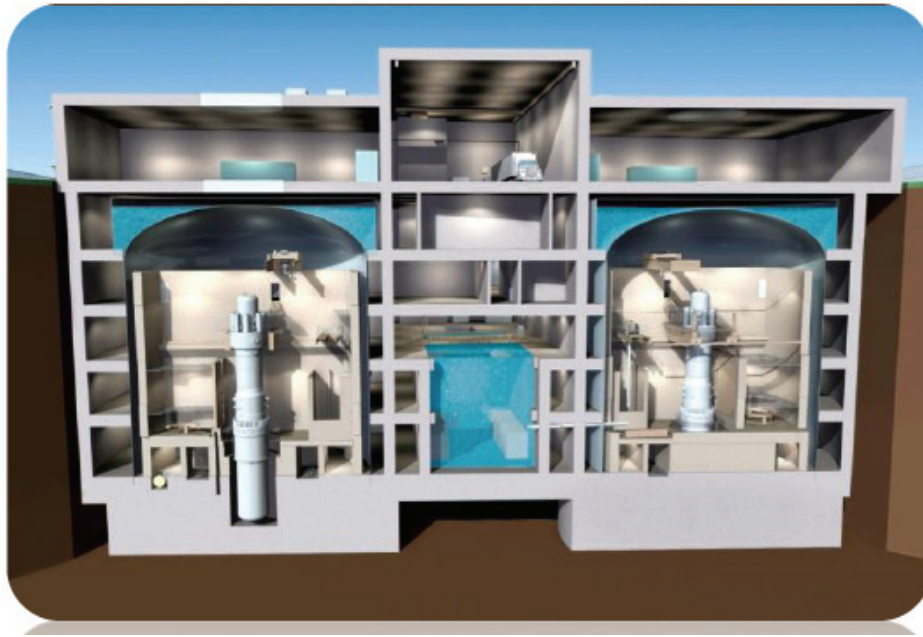
Department of Energy i USA, DOE, har udvalgt Babcock & Wilcox til at lede et projekt med det formål, at udvikle og certificere et SMR-design i USA baseret på B&W's 180 MWe mPower forslag. Projektet blev udvalgt blandt tre andre, og der er bevilget 450 mio. USD over 5 år til projektet.

En hensigts erklæring om at bygge fire enheder er underskrevet med elektricitetsværket Tennessee Valley Authority, TVA, og den første ventes i drift år 2020-2022.

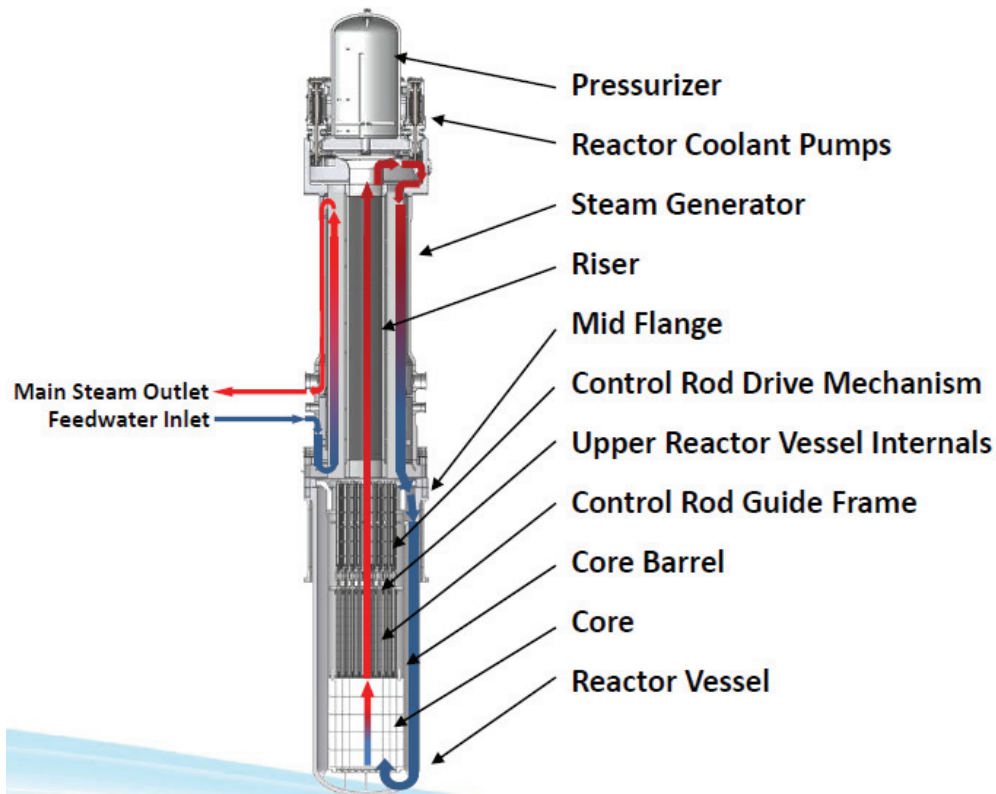
mPower designet er en avanceret trykvandsreaktor, hvor reaktor og dampgenerator er integreret i samme tank. Effekten er 150-180 MWe pr. modul, og brændslet er standard PWR brændsel med en berigning på 5 %. Reaktoren vil kunne have fire års

drift uden brændselsskift. Reaktoren indeholder 69 brændselselementer, reaktorkernen er blot 2x2 meter og levetiden for enheden er dimensioneret til 60 år. Bassinet for opbevaring af brugt brændsel er dimensioneret til at kunne indeholde brændsel fra 60 års drift. Reaktorens driftstryk er 150 bar som ved normale PWR anlæg. Hele enheden inklusiv reaktorindeslutning er 4,5 m i diameter, har en højde på 23 m og vil blive placeret under jordniveau.

Figur 3.1 viser layout af en dobbelt enhed placeret under jorden. Det blå bassin mellem de to enheder er til opbevaring af det brugte brændsel. Den termiske del af designet er konventionelt med høj- og lavtryksturbine og generator, som ved en normal trykvandsreaktor.



Figur 3.1 Reaktor, reaktorindeslutning og reaktorbygning for en dobbelt mPower enhed placeret under jord-niveau.



Figur 3.2 mPower reaktortank med integreret PWR reaktor og dampgenerator.

mPower reaktortank med integreret reaktor og dampgenerator er vist i figur 3.2. Det karakteristiske ved designet er, at de få eksterne rørføringer, som findes, er placeret højt på tanken. Det betyder, at en ulykke forårsaget af et rørbrud ikke vil være i stand til at tømme reaktorkernen for vand. Yderligere er nødstrømsforsyning fra dieselgeneratorer ved sådanne ulykker ikke nødvendig, da anlægget er forsynet med højtliggende passive vandreservoarer og kan klare sig med batteristrøm. Ved tab af ekstern elforsyning kan anlægget klare køling af brændslet ved naturlig cirkulation. Endelig er effektætheden lav sammenholdt med store enheder og vandreservoirene store, hvilket medvirker til en høj grad af passiv sikkerhed. Man vurderer byggetiden for en enhed til at være 3 år, med en pris på ca. 6000 USD/kWe.

3.2 Beredskabssystemer

Beslutningsstøttesystem ARGOS

Danmark har igennem mange år benyttet sig af beslutningsstøttesystemet ARGOS (Accident Reporting and Guiding Operational System). ARGOS kan blandt andet beregne konsekvenser af et uheld på et kernekraftværk, hvor der har været udslip af radioaktive stoffer til atmosfæren. Programmet benytter sig af matematiske spredningsmodeller og vejrprognoser fra Danmarks Meteorologiske Institut (DMI), men kan også anvende vejrdata fra andre kilder. Derudover kan ARGOS vise interaktive kort med resultater fra målinger af stråling foretaget i felten af målehold med håndbårne og med fly- og bilbårne måleinstrumenter. Systemet kan også vise andre geografiske og befolkningsmæssige oplysninger, som blandt andet kan bruges til at vurdere hvor mange personer, der er berørt af et uheld.

De atmosfæriske spredningsmodeller, som er en del af ARGOS, er opdelt i 3 dele: En kort og mellemdistancemodel (RIMPUFF), en byspredningsmodel, Urban Dispersion Model (URD) og forskellige langdistancemodeller. I Danmark bruges DMIs langdistancemodel, DERMA. Dette sikrer, at man kan foretage modelleringer af radioaktive udslip og dosisberegninger på en skala fra 10 meter til globalt niveau. URD spredningsmodellen kan ud fra detaljerede 3D bykort beregne spredningen af en vindbåren forurening omkring bygninger.

Data fra spredningsmodellerne kan anvendes som inputdata til fødevaremodulet, AgiCP (Agricultural Countermeasure Program), som kan beregne doser fra indtag af fødevarer, der er forurenede med radioaktive stoffer efter et nedfald. ERMIN modellen (EuRopean Model for INhabited areas), som også er en integreret del af ARGOS, kan beregne doser og konsekvensen af forskellige modforholdsregler i tilfælde af radioaktiv forurening af beboede områder.

ARGOS indeholder informationer om alle reaktorer fra IAEAs "Power Reactor Information System" (PRIS). Modellerede kildedata ("source term") med oplysninger om isotopsammensætning i reaktorerne fra blandt andet det amerikanske reaktorsikkerhedsstudium, WASH 1400, er en del af ARGOS systemet og er grundlaget for beregning af spredningsprognoser og dosisberegninger. ARGOS bliver løbende opdateret med de nyeste source term værktøjer heriblandt fra det svenske RASTEP projekt, som fortsat er under udvikling.

Beslutningsstøtte i forbindelse med en radioaktivt forurenende bombe ("dirty bomb") er også mulig i ARGOS. Systemet benytter sig i denne forbindelse af amerikanske data baseret på forsøg med sprængning af radioaktivt forurenende bomber, også kaldet "Radioactive Dispersal Device (RDD)", og af data fra den amerikanske beredskabsstyrelse, FEMA (Federal Emergency Management Agency). Bymodellen (ERMIN) kan også anvendes i forbindelse med "dirty bombs".

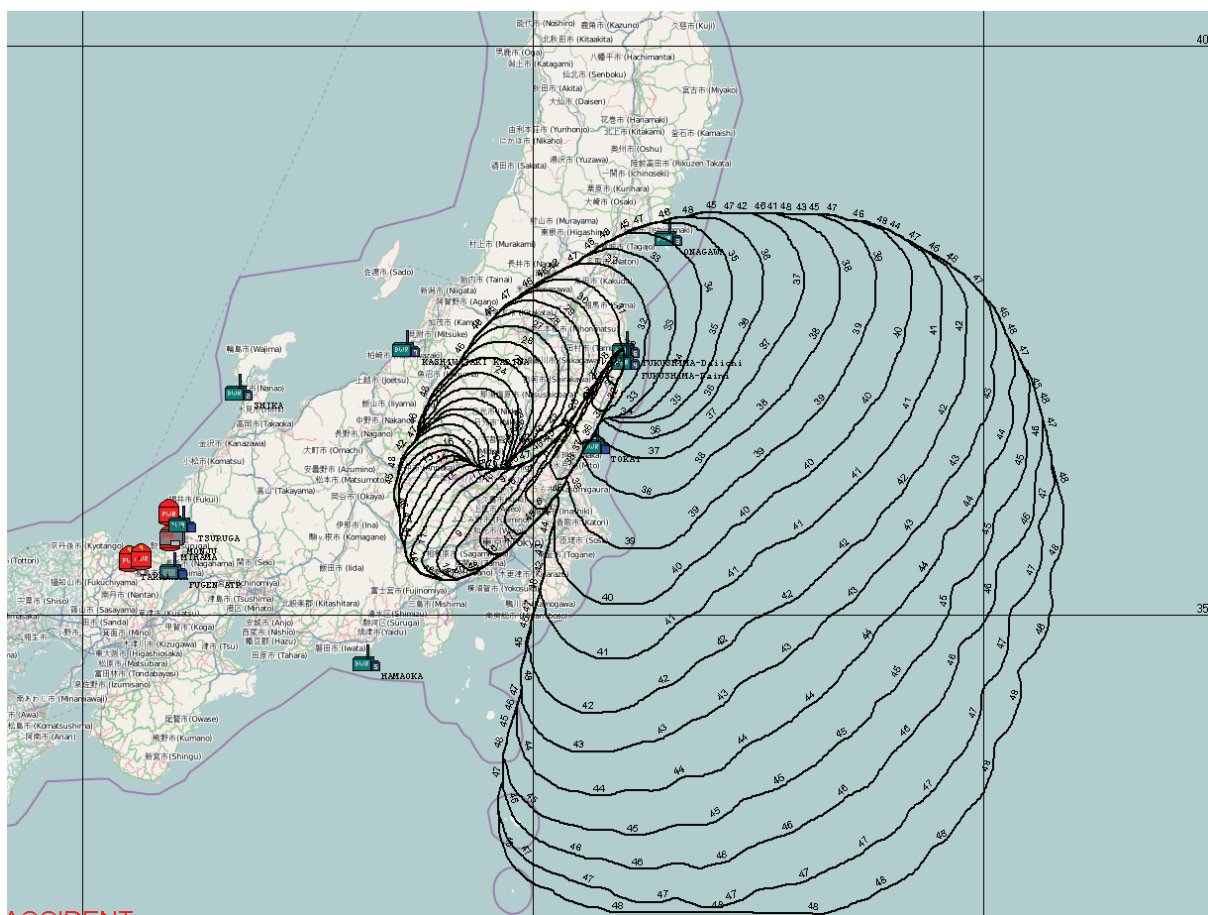
Beredskabsstyrelsen udvikler ARGOS i samarbejde med det private softwarefirma, PROLOG-ARGOS, og et internationalt konsortium af i alt 14 lande, der alle benytter programmet i deres beredskab. Konsortiet er med til at finansiere ARGOS, dels gennem en årlig afgift og dels ved at tilkøbe forskellige funktionaliteter, der ofte kan komme alle medlemmerne af konsortiet til gode. Konsortiet er også med til at beslutte, hvordan programmet skal udvikles på længere sigt, og det er ejer af modeldata. ARGOS er senest blandt andet blevet udviklet til bedre at integrere måledata foretaget direkte i felten og til GIS visning af disse. Beredskabsstyrelsen forventer at tage en ny version af programmet i brug i løbet af 2013.

Til daglig beregner ARGOS automatiske udslipsprognoser for de kernekraftværker i Sverige og Tyskland, der er tættest på Danmark. Derudover modtager ARGOS kontinuerligt måleresultater fra Beredskabsstyrelsens 11 permanente nukleare målestationer i Danmark samt fra 3 målestationer i Grønland.

Hvis Beredskabsstyrelsen iværksætter sit mobile måleberedskab kan resultaterne fra målehold og fra bilbårne og flybårne målinger vises i ARGOS umiddelbart efter, at målingerne er fortaget.

I tilfælde af et uheld på et kernekraftværk eller andet nukleart uheld uden for Danmarks grænser vil beregningerne og datapræsentationerne i ARGOS danne grundlag for beslutninger om beredskabstiltag og for målrettet indsættelse af det mobile måleberedskab på landjorden og i luften. Hvis beregningerne f. eks viser, at uheldet kan medføre skypassage eller nedfald af radioaktive stoffer på dansk område, kan et beredskabstiltag for eksempel være at give besked til borgerne i de berørte områder om at blive inden døre. I tilfælde af særlig stor sundhedsfare kan man iværksætte evakuering. Hvis målinger i de berørte områder senere viser radioaktiv forurening, kan ARGOS beregne konsekvenserne for mennesker, dyr og fødevarerproduktion i områderne.

Planen er yderligere at udvikle ARGOS, så det bliver fuldt integreret med alle de data, der er tilgængelig for beslutningstagere i tilfælde af et nukleart uheld i og uden for Danmarks grænser.



Figur 3.3. ARGOS beregning af "Time of Arrival" af skypassage i forbindelse med ulykken på Fukushima kernekraftværket i 2011.

4 Nuklear sikkerhed

4.1 Efter EU's stresstest

Jordskælvet i Japan i marts 2011 med den deraf følgende tsunami medførte ikke bare omfattende ødelæggelser i Japan, men førte også til den voldsomme ulykke på kernekraftværket Fukushima Daiichi. Ulykken understregede, at følgerne af en ulykke på et kernekraftværk kan være både omfattende og vidtrækkende, ikke kun lokalt, men også regionalt og globalt.

Mens ulykken var en følge af jordskælvet og tsunamien, blev ulykkens omfang imidlertid forstærket af sammenfaldet af hændelserne. Omfanget af ulykken var ikke forudset ved etableringen og myndighedernes godkendelse af værket. Nedenfor beskrives kun processen i EU og de øvrige deltagere i EU's stresstest, men lignende processer gennemføres i de øvrige kernekraftlande.

Selve stresstesten

Som følge af ulykken på Fukushima Daiichi værket i Japan besluttede Det Europæiske Råd i marts 2011, at alle kernekraftværker i EU's medlemsstater skulle underkastes en såkaldt stresstest med henblik på at afdække, om værkerne ville kunne modstå en række naturskabte eller menneskeskabte katastrofer.

De deltagende lande, EU's kernekraftlande, samt Schweiz og Ukraine, gennemførte allerede i 2011 analyser af sikkerheden på deres kernekraftværker, og de nationale myndigheders bedømmelse forelå ved udgangen af december 2011, hvor de nationale myndigheder indgav landerapporter til Kommissionen.

Der er lagt stor vægt på åbenhed i processen, hvorfor en række dokumenter angående gennemførelsen af stresstests i EU, herunder de fælles og nationale rapporter, er offentligt tilgængelige på ENSREG's hjemmeside; <http://ensreg.eu/EU-Stress-Tests>. Tilsvarende er en række dokumenter tilgængelige på Kommissionens hjemmeside, herunder Kommissionens konklusioner fra oktober 2012 og tekniske sammenfatninger; http://ec.europa.eu/energy/nuclear/safety/stress_tests_en.htm.

I første halvdel af 2012 blev der gennemført såkaldte peer-reviews, hvor de nationale rapporter blev gennemgået af et ekspertpanel. Sikkerhedsanalysen vedrører:

- Naturkatastrofer: Jordskælv, oversvømmelser og ekstreme vejrforhold
- (Uventet) bortfald af sikkerhedssystemer: Strømfald, herunder totalt udfald af strømforsyning og nødstrømsforsyning, tab af kølesystem og kombination af strømfald og tab af kølesystem
- Modforanstaltninger ved omfattende ødelæggelser: Foranstaltninger til sikring af reaktorindeslutning, anvendelse af ventilationssystemer, bortledning af varme, aflastning af tryk m.v.

På baggrund af de nationale rapporter og de gennemførte peer-reviews har ENSREG i april 2012 afleveret sin sammenfattende rapport til EU Kommissionen. Et hovedresultat af den europæiske stresstest var, at alle kernekraftværker overholder de eksisterende krav i forhold til ydre påvirkninger og tab af elforsyning eller køling. Der var derfor ikke behov for øjeblikkeligt at lukke nogen af hensyn til sikkerheden.

Ulykken i Japan har givet anledning til, at risikobillederne for alle europæiske kernekraftværker er blevet revurderet; samtidigt er mulighederne for at standse lignende ulykkesforløb blevet studeret grundigt, hvilket har udløst mange nye ideer hertil. De konkrete konklusioner og anbefalinger vedrørte især flg. områder:

- Sikkerhedsmarginer i forhold til naturlige, ydre påvirkninger er meget forskellige for de enkelte kraftværker
- Periodisk revurdering af sikkerheden er et vigtigt værktøj til løbende forbedring af sikkerheden på kernekraftværkerne
- Mulighederne for at forbedre reaktor-indslutningerne bør undersøges for alle anlæg
- Midler til at hindre, at hændelser udvikler sig til ulykker, og til at sikre sig overblikket i en ulykkesituationen, bør overvejes for alle anlæg

De nationale handlingsplaner er mest rettet mod praktiske foranstaltninger på og ved kernekraftværkerne. ENSREG's rapport understreger, at de eksisterende samarbejdsfora bør udnyttes mest muligt for at fremme sikkerheden på nukleare anlæg. Her spiller især de europæiske nukleare tilsynsmyndigheders samarbejdsorgan, WENRA, en stor rolle. Her bliver den praktiske udnyttelse og gennemførelse af internationale standarder og anbefalinger koordineret ved udsendelse af vejledninger, der letter medlemsstaternes revision og udstedelse af egne regler og forordninger.

Parallelt med dette er der gennemført et tilsvarende arbejde for så vidt angår beskyttelse af nukleare anlæg mod angreb fra terrorister og lignende trusler; dette arbejde blev udført af en særlig arbejdsgruppe nedsat af Rådet.

4.2 International styrkelse af den nukleare sikkerhed – initiativer og tendenser

Efter Fukushima Daiichi ulykken blev der igangsat en række initiativer, som på globalt plan skal føre til en styrkelse af den nukleare sikkerhed og tilhørende beredskab.

Ulykken i Japan understregede behovet for at styrke det internationale samarbejde om såvel sikkerhed som beredskab, og det præger således de mest betydningsfulde initiativer, at de er rejst i et bredt internationalt samarbejde.

EU's stats- og regeringsledere besluttede allerede på Det Europæiske Rådsmøde i marts 2011 – få dage efter ulykken – at der skulle gennemføres en stresstest af alle kernekraftværker i EU's medlemsstater, og IAEA's Generalkonference vedtog senere i september 2011 en handlingsplan, som skal føre til en styrkelse af den nukleare sikkerhed. Desuden indbød IAEA til en konference i august 2012, der skulle diskutere ændringer af den nukleare sikkerhedskonvention i lyset af de forskellige erfaringer, som kan drages af ulykken i Japan.

EU

Med resultaterne af den gennemførte stresstest af kernekraftværkerne i EU's medlemsstater peges der på en række konkrete foranstaltninger af teknisk karakter, som kan medvirke til at styrke den nukleare sikkerhed. Arbejdet med at beslutte og implementere disse foranstaltninger påhviler dog de enkelte medlemsstater, idet den nukleare sikkerhed, herunder krav og vilkår til operatører af kernekraftværker, er et nationalt anliggende og således ikke et fællesskabsretligt anliggende.

EU Kommissionen forventes dog i 2013 at fremsætte forslag om ændring af EU's sikkerhedsdirektiv, det nukleare sikkerhedsdirektiv, og herved sker der også en fællesskabsretlig opfølgning på ulykken i Japan: Kommissionen oplyste i forbindelse med offentliggørelse af resultaterne af stresstest-arbejdet i oktober 2012, at det nukleare sikkerhedsdirektiv skal revideres med henblik på at opnå fælles og konsistent implementering af forbedringer/styrkelse af sikkerheden på baggrund af

erfaringerne fra ulykken i Japan. Kommissionen peger konkret på fire områder, som skal indgå i revisionsarbejdet;

1. Procedurer og rammer for sikkerhed; det nugældende nukleare sikkerhedsdirektiv rummer overordnede principper angående nuklear sikkerhed, som skal udmøntes i nationale bestemmelser, men direktivet indeholder ikke konkrete tekniske bestemmelser eller rammer, som skal overholdes af medlemslandene. Kommissionen peger derfor på, at der ved revision af sikkerhedsdirektivet skal indføres bestemmelser af konkret karakter angående bl.a. beredskab på kernekraftværker, herunder hvilke midler og udstyr, der skal være til rådighed på selve kernekraftværket.
2. Sikring af tilsynsmyndigheders uafhængighed; de nugældende bestemmelser skal styrkes for at sikre tilsynsmyndighedernes uafhængighed og disses handlekraft.
3. Åbenhed/gennemsigtighed; åbenhed vedrørende tilsynsmyndighedernes afgørelser og regelmæssig information fra operatører af kernekraftværker skal styrkes gennem bestemmelser om offentliggørelse af bestemte typer af information/oplysninger.
4. Overvågning; de nugældende bestemmelser om eftersyn af de nationale rammer og bestemmelser for nuklear sikkerhed skal udvides, således at bedømmelse og eftersyn angår yderligere områder.

IAEA

IAEA afholdt i juni 2011 en ministerkonference, som drøftede initiativer i kølvandet på ulykken i Japan. Ministerkonferencen besluttede, at IAEA skulle udarbejde en handlingsplan, som IAEA's Generalkonference i september 2011 godkendte. Overordnede nøgleord for handlingsplanen er åbenhed og gennemsigtighed. Åbenhed og gennemsigtighed skal medvirke til at alle medlemsstater iværksætter initiativer til styrkelse af den nukleare sikkerhed, og at det synliggøres.

Handlingsplanen omfatter i alt 12 punkter, hvoraf nogle naturligt retter sig mod kernekraftlande. Handlingsplanen omfatter bl.a., at medlemsstaterne skal vurdere deres beredskaber, parathed, kapaciteter og bistandsaftaler, at medlemsstaterne skal bedømme deres tilsynsmyndigheder, herunder nærmere bedømme myndighedernes faktiske uafhængighed, faglige og økonomiske ressourcer samt behovet for teknisk og videnskabelig støtte. Handlingsplanen omfatter også, at medlemsstaterne tilskyndes til at implementere og anvende IAEA Safety Standards, og at medlemsstaterne tilskyndes til at tilslutte sig og implementere alle relevante konventioner og etablere retlige bestemmelser om erstatninger for de konsekvenser, der kan følge af nukleare uheld/hændelser.

Handlingsplanen udgør en overordnet ramme, som landene skal udfylde. Herved er der ikke umiddelbart tale om konkrete retlige forpligtelser, men IAEA's medlemsstater skal løbende rapportere til IAEA om gennemførelse af initiativer, som udmøntes i handlingsplanen.

Også i Danmark er der iværksat initiativer som led i opfyldelse af handlingsplanen. Eksempelvis er der i 2012 iværksat en revision af den nationale nukleare beredskabsplan, og heri indgår bl.a. konkrete erfaringer, som hidrører fra beredskabet i forbindelse med ulykken i Japan. I 2011 og 2012 blev der gennemført en styrkelse og kvalitetssikring af et landsdækkende nukleart målesystem, hvorved strålingsniveauer i Danmark og Grønland monitoreres døgnet rundt. Målesystemet forsyner henholdsvis Beredskabsstyrelsen og en række andre myndigheder med måledata, lige som data indgår i det europæiske måledataudvekslingssamarbejde EURDEP.

Ulykken i Japan har naturligvis først og fremmest haft voldsom indflydelse på det japanske samfund, men ulykken har ført til et bredt internationalt ønske om mere forpligtende samarbejde og mere forpligtende rammer for anvendelse af kernekraft. Ulykken i Japan må således forventes at trække spor gennem det internationale nukleare samarbejde i en årrække fremover.

4.3 Sikkerhedsrelaterede hændelser ved kernekraft

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

De af IAEA's medlemslande, der er tilsluttet INES-systemet, er forpligtet til at indrapportere hændelser klassificeret på niveau 2 og opetter 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.

Der forekom i 2012 en enkelt niveau 2 hændelse på kernekraftværket Kori i Sydkorea. En hændelse på kernekraftværket Penly i Frankrig, som blev klassificeret som en niveau 1 hændelse, tiltrak sig imidlertid stor opmærksomhed i medierne, og vil derfor blive beskrevet.

Kori-1 hændelsen den 9. februar 2012 i Sydkorea, INES-2

Værket Kori-1 er beliggende i den sydøstlige del af landet lige over for den japanske kyst. Kori-1 er landets ældste reaktor fra 1978, en trykvandsreaktor med en effekt på 556 MWe.

Reaktoren var nedlukket for vedligehold og brændselsskift, da den mistede strømmen fra det eksterne net via en ekstern transformator. Reaktoren har to nøddieselgeneratorer med automatisk opstart (trykluft) plus en ekstra med manuel opstart. Begge de to dieselgeneratorer med automatisk opstart var utilgængelige, den ene fordi den var taget ud for vedligehold, og den anden kunne ikke starte (problemer med en kontrolventil til tryklufften), hvilket resulterede i en såkaldt "Station Blackout" hændelse. Man valgte nu at genetablere den eksterne strømforsyning, hvilket tog tolv minutter. En anden mulighed ville have været manuel opstart af den tredje dieselgenerator. Der gik i alt 19 minutter, inden man havde fået startet pumpen til fjernelse af restvarmen. I denne periode manglede der køling af kernen og brændselbassinet. Temperaturen i det udgående kølevand fra kernen steg med godt 20 grader til omkring 58 grader, og temperaturen i brændselbassinet steg med en halv grad. Hændelsen havde ingen konsekvenser for omgivelserne, men sikkerheden var forringet, men dog stadig tilstrækkelig til at undgå en ulykke. Der var således mulighed for at starte en ekstra dieselgenerator eller at genetablere en af de to forbindelser til det eksterne net. Dertil kom reaktorens sædvanlige nødkølesystemer, som kunne aktiveres.

Der lå en menneskelig fejl bag hændelsen, idet en medarbejder ved en sikkerhedsinspektion ved en fejl kom til at blokere for adgangen til den eksterne strøm.

Lederen af værket begik herudover alvorlige fejl, idet han ikke straks beordrede etablering af alarmberedskab efter de gældende regler. Der skulle i denne forbindelse endvidere have været udsendt en meddelelse til lokalbefolkningen. Ej heller blev hændelsen indberettet til de nukleare myndigheder før en måned senere, hvilket også var imod reglerne.

IAEA foretog efterfølgende en inspektion af værket, og kom med en række anbefalinger, som der efterfølgende blev fulgt op på. Man gjorde bl.a. også opmærksom på, at ledelsesstrukturen er meget autoritær, hvilket ikke er godt for sikkerheden.

Grundlæggende var det en niveau 1 hændelse, men på grund af dårlig sikkerhedskultur, blev den opgraderet til niveau 2.

Penly-2 hændelsen den 5. april 2012 i Frankrig, INES-1

Værket Penly er beliggende i det nordlige Frankrig ved den Engelske Kanal, som leverer kølevand til reaktorerne. Værket har to trykvandsreaktorer på hver 1382 MWe.

Den 5. april 2012 kl. 12, blev de nukleare sikkerhedsmyndigheder oplyst om, at der var udbrudt brand i reaktorbygningen på Penly-2, hvorefter reaktoren automatisk blev lukket ned. Værkledelsen øgede beredskabet og informerede myndigheder såvel som lokalbefolkning efter reglerne. Det drejede sig om noget brændende olie ved en af de fire hovedcirkulationspumper, og branden blev hurtigt slukket. Årsagen til problemet var et leje, der mistede olie og blev for varmt, hvilket skabte kraftig røgudvikling. ”Branden” havde mere karakter af røgudvikling end en egentlig brand.

Kl. 19:30 samme dags aften, blev sikkerhedsmyndighederne atter kontaktet, da der nu ved en af de fire hovedcirkulationspumper blev konstateret en lækage, der oversteg det tilladte niveau. Pumpen med det ødelagte leje lækkede kølevand. Efter at trykket i den primære kølekreds var sænket, stoppede lækagen. Det viste sig, at det ikke var røgudviklingen, men skaderne på pumpen, der udløste den automatiske nedlukning. Der slap ingen radioaktive stoffer ud af reaktorbygningen. De primære cirkulationspumper bruger selv primært kølevand til egen køling for at kunne fungere, og ved mangel på køling ødelægges pakningerne med lækage af primært kølevand til følge.

Næste dags morgen kl. 7 blev det fra værket meddelt, at nu var lækagen stoppet.

Hændelsen blev vurderet til niveau 1.

4.4 Internationale forhold og konflikter

Iran

Iran har 3 IAEA deklarerede berigningsanlæg, Pilot Fuel Enrichment Plant (PFEP) og Fuel Enrichment Plant (FEP) ved Natanz samt Fordow Fuel Enrichment Plant (FFEP) ved Qom. Anlæggene anvendes til at berige uran til senere anvendelse i Irans forskningsreaktorer samt på længere sigt også i Bushehr værket. Berigningsanlæggene har tilladelse til at berige op til 20 %, hvor det ikke er muligt at anvende til bomber. Rygter om skjulte, ikke deklarerede berigningsanlæg kan ikke bekræftes.

Nordkorea

I begyndelsen af 2012 indbød Nordkorea USA til forhandlinger om deres atomprogram og proklamerede, at de var indstillet på et moratorium for deres atom- og rakettest program. Moratoriet blev brudt allerede i februar 2012 og forhandlingerne med USA kom aldrig i gang. Derimod svarede Nordkorea igen med at foretage en atombombe-prøvesprængning i midten af februar. FN's sikkerhedsråd har gentagne gange opfordret Nordkorea til at tillade IAEA's inspektører at inspicere landets atomanlæg, men uden succes. Kina har også opfordret Nordkorea til at standse atomprøvesprængninger og raketaffyringerne.

Nordkorea har et berigningsanlæg i YongByon med 2000 centrifuger. Anlægget skal anvendes til at berige uranbrændsel til deres 25 MWe letvandsreaktor, som er under opførelse. Reaktoren skal producere elektricitet.

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).

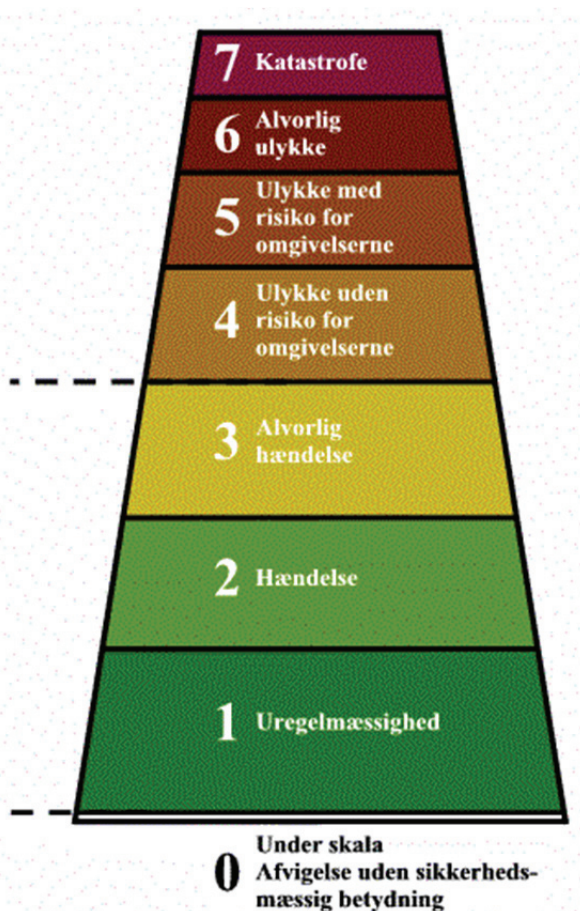
Uheld med påvirkning af omgivelserne ved udslip af radioaktivt materiale er det mest alvorlige kriterium og dækker klasse 3 til 7. Uheld, hvor der udelukkende sker en påvirkning af anlægget, f.eks. skader på reaktorkernen eller bestråling af personale, placeres i klasse 2 til 5. Det sidste kriterium, 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.

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 31 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

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

WENRA

Western European Nuclear Regulators' Association (WENRA) er en sammenslutning af lederne af en række vesteuropæiske landes nukleare tilsynsmyndigheder. S sammenslutningen omfatter Belgien, Bulgarien, Finland, Frankrig, Holland, Italien, Litauen, Rumænien, Schweiz, Slovakiet, Slovenien, Spanien, Storbritannien, Sverige, Tjekkiet, Tyskland og Ungarn. Desuden deltager Danmark, Norge, Irland, Luxembourg, Polen, Østrig, Armenien, Rusland og Ukraine i samarbejdet med observatørstatus og i nogle tilfælde også i WENRA's arbejdsgrupper. S sammenslutningens formål er at udvikle en fælles tilgang til kernekraftsikkerhed med hovedvægten på EU-området.

www.wenra.org

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
ADS	Accelerator Driven System
AECL	Atomic Energy of Canada Ltd
AERB	Atomic Energy Regulatory Board (Indien)
AES-2006	Russisk PWR-enhed
AGR	Advanced Gas-cooled Reactor, den engelske, avancerede gaskølede reaktor
AHWR	Advanced Heavy Water Reactor, indisk udviklet tungtvandsreaktor
ALLEGRO	Prototype gaskølet hurtigreaktor
ANS	Fransk nukleart sikkerhedsagentur
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
ARGOS	Accident Reporting and Guiding Operational System, Beredskabsstyrelsens beslutningsstøtteprogram
ASE	Atomstroyexport, russisk firma, der eksporterer kernekraftværker
ASTRID	Advanced Sodium Technological Reactor for Industrial Demonstration, prototype natriumkølet hurtigreaktor
ATEL	Schweizisk elforsyningselskab
BARC	Bhaba Atomic Research Center (Indien)
BN	Hurtig reaktor (russisk)
BREST	Russisk blykølet hurtigreaktor
BRS	Beredskabsstyrelsen
BWR	Boiling Water Reactor, kogendevandsreaktor
CANDU	Canadian Deuterium Uranium, den canadiske tungtvandsreaktor af trykrørstypen
CDF-Suez	Fransk el-selskab
CEA	Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives, fransk statslig atomenergikommission
CEFR	China Experimental Fast Reactor
CEZ	Tjekkisk el-selskab
CFHI	China First Heavy Industries
CGNPC	China Guangdong Nuclear Power Company, kinesisk kernekraftselskab
CIAE	China Institute of Atomic Energy
CIRUS	Indisk forsøgsreaktor, leveret af Canada
CNNC	China National Nuclear Corporation, kinesisk kernekraftselskab
CNP-600	China Nuclear Plant 600, kinesisk 600 MWe PWR enhed
CNS	Council of Nuclear Safety (Indien)
CO ₂	Kuldioxyd
COL	Construction and Operation Licence, kombineret amerikansk byggedriftstilladelse
CPR-1000	Kinesisk udviklet trykvandsreaktor
DoE	Department of Energy (USA)
DTU	Danmarks Tekniske Universitet
EBRD	European Bank for Reconstruction and Development, den europæiske udviklingsbank for Central- og Østeuropa

EdF	Electricité de France, det franske, statslige el-selskab
ENSREG	European Nuclear Safety Regulators Group
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
EURDEP	Europæisk platform for udveksling af radiologiske data
EVN	Electricity of Vietnam
FAE	De Forenede Arabiske Emirater
FEP	Fuel Enrichment Plant, iransk berigningsanlæg
FFEP	Fordow Fuel Enrichment Plant, iransk berigningsanlæg
FBR	Fast Breeder Reactor, hurtig formeringsreaktor
FBTR	Fast Breeder Test Reactor, indisk formerings-forskningsreaktor
GCC	Gulf Cooperation Council, samarbejdsorgan for lande på den arabiske halvø
GCR	Gas Cooled Reactor, gaskølet reaktor
GE	General Electric (USA)
GIF	Generation IV Forum, samarbejdsorganisation vedrørende 4. generations reaktorer
GFR	Gas cooled Fast Reactor, gaskølet hurtigreaktor
GNEP	Global Nuclear Energy Partnership, USA ledet samarbejde om etablering af internationale brændselscentre
GPS	Global Position System
GWe	Gigawatt elektrisk
HTGR	Højtemperatur gaskølet reaktor
HTR-PM	Højtemperatur reaktor (Kina)
IAEA	International Atomic Energy Agency, FN's atomenergiagentur
IEA	International Energy Agency, OECES energiagentur
IERP	Integrated Electricity Resource Plan (Sydafrika)
IGCAR	Indira Gandhi Centre for Atomic Research (Indien)
INES	International Nuclear Event Scale, IAEA's skala for radiologiske og nukleare uheld
IPR	Intellectual Property Rights
IRSN	Institut de Radioprotection et de Surete Nuclaire
JAEC	Den jordanske atomenergikommission
JINED	International Nuclear Energy Development of Japan Co. Ltd., japansk kernekraftkonsortium
JSFR	Japanese Sodium Fast Reactor, japansk hurtigreaktor
KEPCO	Korea Electric Power Corporation, sydkoreansk elselskab
KHNP	Korea Hydro & Nuclear Power Company, sydkoreansk elselskab
KLT40S	Russisk skibsreaktor
kWh	Kilowatttime
KWU	Kraftwerkunion (tysk reaktorfirma)
LFR	Lead cooled Fast Reactor, blykølet hurtigreaktor
LWR	Light Water Reactor (BWR og PWR)
MBIR	Russisk multi-formåls hurtigreaktor
METI	Ministeriet for Økonomi, Handel og Industri (Japan)
MeV	Megaelektronvolt
MEXT	Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology (Japan)

MHI	Misubishi Heavy Industries, japansk reaktorfirma
MOX	Mixed OXide fuel, reaktorbrændsel fremstillet af en blanding af plutonium- og urandioxid
MSR	Molten Salt Reactor, reaktor med flydende brændsel
MWe	Megawatt elektrisk
MYRRHA	Multi-purpose hybrid research reactor for high-tech applications, belgisk hybrid ADS-LFR reaktor
NDA	Nuclear Decommissioning Authority, britisk tilsynsmyndighed for dekommissionering
NEA	Nuclear Energy Agency, OECD's kerneenergiorganisation
NEK	Bulgarsk statsligt el-selskab
NISA	Nuclear and Industrial Safety Agency, japansk nuklear sikkerhedsmyndighed (indtil 2012)
NMP	Nuclear Management Partners (UK)
NPCIL	Nuclear Power Corporation of India Ltd, indisk kernekraftselskab
NPT	Non Proliferation Treaty, ikke-spredningsaftalen
NRA	Nuclear Regulatory Authority, japansk nuklear tilsynsmyndighed (fra 2012)
NRC	Nuclear Regulatory Commission, USA's reaktorsikkerhedsmyndighed
NSG	Nuclear Suppliers Group, international gruppe, der kontrollerer eksport af komponenter til nukleare anlæg
NSRA	Nuclear Safety Regulatory Authority (Indien)
OECD	Organisation for Economic Co-operation and Development
OEEC	Organisation for European Economic Co-operation
OKG	Svensk elselskab under E.On Sverige, operatør af Oskarshamn kernekraftværk
OPG	Ontario Power Generation, canadisk elselskab
OPR-1000	Syd-koreansk Optimized Power Reactor (PWR) på 1000 MWe
PBMR	Pepple Bed Modular Reactor, højtemperatur reaktor med kugleformede brændselselementer
PFEP	Pilot Fuel Enrichment Plant, iransk berigningsanlæg
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 (Tjernobył-typen)
RWE	Rheinisch-Westfälisches Elektrizitätswerk, tysk el-selskab
SCR-CEN	CEN står for Centre Energie Nuclaire. SCR står formmentlig for nogenlunde det samme på flamsk
SCRO	State Council Research Office (Kina)
SCWR	SuperCritical Water cooled Reactor, superkritisk vandkølet reaktor
SFR	Sodium cooled Fast Reactor, natriumkølet hurtigreaktor
SIS	Statens Institut for Strålehygiejne
SNC-Lavalin	Canadisk reraktorfirma
SNI	Sviluppo Nucleare Italia, italiensk-fransk elselskab
SPD	Det tyske socialistparti
SSM	Strålsäkerhetsmyndigheten (Sverige)
STUK	Den finske myndighed for nuklear- og strålingsikkerhed
SVBR	Svintsovo-Vismutovy Bystryi Reaktor, russisk bly-bismuth-kølet reaktor
SWR-1000	Fransk-tysk udviklet kogendevandsreaktor

TEPCO	Tokyo Electric Power Company, japansk elselskab, operatør af Fukushima-værket
TVA	Tennessee Valley Authority, amerikansk elektricitetselskab
TVO	Teollisuuden Voima Oy, finsk el-selskab
TWh	Terawatt-time, 1 TWh = 1 milliard kWh
UF ₄	Urantetrafluorid
UF ₆	Uranhexafluorid
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
VHTR	Very High Temperature Reactor, meget høj temperatur reaktor
VVER	Vand vand energi reaktor, russisk udgave af trykvandsreaktoren
VVM	Vurdering af Virkninger på Miljøet
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

The Center for Nuclear Technologies (DTU Nutech) at the Technical University of Denmark is the Danish center of competency for nuclear technologies. With roots in research in the peaceful use of nuclear power, DTU Nutech works with the applications of ionizing radiation and radioactive substances for the benefit of society.

DTU Nutech
Center for Nukleare Teknologier
Danmarks Tekniske Universitet

Frederiksborgvej 399
Postboks 49
4000 Roskilde
Telefon 4677 4900
Fax 4677 4959

www.nutech.dtu.dk