Bakgrund utges av analysgruppen vid
Kärnkraftsäkerhet och Utbildning AB (KSU)
Box 1039, 611 29 NYKÖPING.
Telefon 0155-26 35 00, Telefax 0155-26 30 74

Sekretariat/distribution:
Analysgruppen, Box 80, 186 22 VALLENTUNA
Telefon 08-511 802 90, Telefax 08-511 798 73

ANALYSGRUPPEN BAKGRUND BAKGRUND

Nr 2 maj 1994 *

Kärnkraften i världen

Ill. M. Lemarye, Paris

Det finns ungefär 430 kärnkraftaggregat i drift i 30 länder. Varje år läggs några gamla, ofta mindre, enheter ner och ett antal nya tas i drift. Den totala kärnkraftproduktionen, som ökar sakta, utgör cirka 17 procent av världens elproduktion. I Västeuropa sker cirka 40 % av elproduktionen i kärnkraftverk.

Sju kärnkraftaggregat är under byggnad i USA och Västeuropa. I Sydostasien, där den största expansionen sker för närvarande, byggs ett 20-tal kärnkraftaggregat.

Tillgången på uran är god och för närvarande finns det ett överskott, bland annat beroende på att tidigare kärnvapenmaterial nu oskadliggörs och återanvänds som reaktorbränsle. Världens tillgångar på väl kända uranfyndigheter till rimliga priser skulle räcka i minst 100 år med nuvarande kärnkraftproduktion.

Driftekonomin är god för kärnkraftverk som varit i drift några år. Vid jämförelse av kraftkostnaderna för ny kärnkraft och ny fossilkraft på kort sikt är loppet jämnt i flera länder. På längre sikt, med risk för koldioxidavgifter och stigande världsmarknadspriser på gas, kol och olja, är kärnkraften det billigaste alternativet.

ISSN 1101-5268 **ISRN** KSU AGR B 94/2 SE

Översikt

Vid årsskiftet 1993/94 var 430 kärnkraftaggregat i drift i 30 av världens länder, enligt FN:s atomenergiorgan IAEA.

Enligt samma statistik var 55 enheter under byggnad. Av dessa var dock 21 projekt i forna Sovjetunionen, och osäkerheten för flera av dem är stor.

Under 1993 producerades 2 100 TWh i världens reaktorer.

Ungefär 17 % av världens elproduktion var kärnkraft och genomsnittliga utnyttjningsfaktorn för världens kärnkraftverk var 70 %.

Som jämförelse kan nämnas att de tolv svenska kärnkraftaggregaten under ett normalår, enligt NUTEK, producerar 72 TWh med en genomsnittlig utnyttjningsfaktor på 82 %.

Vid årsskiftet 1993/94 var den samlade drifterfarenheten av kärnkraftproduktion i världen 6 900 reaktorår, varav 4 700 i lättvattenreaktorer.

Motsvarande siffra för Sverige var 174 reaktorår.

Utnyttjning och tillgänglighet

Med *utnyttjningsfaktorn* menas den verkliga elproduktionen under ett år jämfört med den elproduktion som erhållits om anläggningen körts vid full effekt under årets alla timmar.

Eftersom ett kärnkraftaggregat måste ställas av minst tre veckor per år för bränslebyte är en övre gräns för utnyttjningsfaktorn ungefär 94 procent.

I länder som Sverige och Frankrike, där man regelmässigt nedreglerar kärnkraftverkens effekt då elförbrukningen minskar under veckosluten, används också begreppet *tillgänglighetsfaktorn*.

Därmed menas den el som hade kunnat produceras om aggregatet hade körts vid full effekt även den tid effekten nedreglerats av kraftbalansskäl under ett år jämfört med den elproduktion som erhållits om aggregatet körts vid full effekt under årets alla timmar.

Om ingen nedreglering av kraftbalansskäl förekommer under ett år är de båda faktorerna lika stora.

Vid nedreglering blir tillgänglighetsfaktorn större än utnyttjningsfaktorn.

USA - Biggest in the World

Det största kärnkraftprogrammet finns i USA. Det är nästan dubbelt så stort som det franska, men andelen kärnkraftproducerad el i USA är bara 22 % jämfört med 75 % i Frankrike.

Det största utbyggnadsprogrammet finns för närvarande i Japan.

Under den senaste 10-årsperioden har utbyggnadstakten av kärnkraft minskats bland annat beroende på den negativa opinion som uppstod efter olyckorna vid Harrisburg 1979 och Tjernobyl 1986.

Minskat behov av elkraft och ekonomisk konkurrens med framför allt gaskombikraftverk har dock på en del håll varit avgörande faktorer. Flera reaktorbyggen har stoppats helt eller lagts i malpåse. Några äldre, ofta mindre, anläggningar i drift har lagts ner.

Antalet enheter i drift har under de senaste åren varit nära konstant, medan mängden producerad kärnkraft hela tiden ökat.

Gaskombikraftverk

Gaskombikraftverk drivs med naturgas och består av en gasturbin som driver en elgenerator. Gasturbinens varma avgaser leds därefter till en gaspanna, där vatten bringas till kokning. Ångan som bildas leds till en ångturbin som också kopplas till den tidigare nämnda elgeneratorn.

Verkningsgraden i sådana anläggningar är något högre än 50 %. I moderna kol- eller oljeeldade ångkraftverk är verkningsgraden knappt 45 % och ett kärnkraftaggregat mindre än 35 %.

Gaskombikraftverk finns inte i Sverige, men flera anläggningar har under de senaste åren byggts i bl.a. USA och Storbritannien.

Utbyggnad

I Västeuropa byggs ny kärnkraft bara i Frankrike och Storbritannien. I USA togs ett nytt aggregat i drift juni 1993 och ytterligare två blir färdiga under de närmaste åren. Dessa aggregat beställdes dock i slutet av 1970-talet och sedan dess har inga nya beställts i USA.

För närvarande sker den kraftigaste expansionen i Sydostasien, framför allt i Japan, Sydkorea och Taiwan. I Kina har nu en utbyggnad av kärnkraft inletts.

Totalt byggs för närvarande i Sydostasien 18 kärnkraftaggregat och beslut om ytterligare väntas under 1994.

F. d Sovjetunionen

Situationen i forna Sovjetunionen är svår att tyda.

Enligt officiella uppgifter finns ett stort antal kärnkraftaggregat under byggnad, men det är oklart om de ligger i "malpåse" och om de kommer att fullföljas. Dessutom annonseras från olika organ långsiktiga planer på helt nya projekt.

Den politiska förankringen och finansieringen är dock osäkra faktorer för dessa projekt.

Å andra sidan är det inte troligt med någon nerläggning av kärnkraftaggregat i forna Sovjetunionen på kort sikt eftersom kraftbehovet är stort.

Den officiella inställningen i Ryssland och Ukraina är att kärnkraften skall användas och byggas ut i framtiden.

På sidan 11 finns en detaljerad tabell över kärnkraftssituationen i samtliga länder som har kärnkraft.

Driftekonomi

Driftekonomin är genomgående mycket god för kärnkraftaggregat som varit i drift några år. Det finns dock några undantag, i de flesta fall mindre prototypanläggningar, som startades under 1960-talet eller tidigare.

Vid jämförelse av kraftkostnaderna för *ny* kärnkraft och *ny* fossilkraft är kärnkraften i genomsnitt fördelaktigast, men skillnaderna har minskat under de senaste åren. Orsaken är i första hand att kostnaden för kol- och gaskraft sjunkit.

Kraft från gaskombianläggningar konkurrerar ut kärnkraften vid höga realräntor och krav på kort avskrivningstid.

Kolkraften är konkurrenskraftig med kärnkraften där transportavstånden för kol är små, miljöavgifter och kraven på rening är små eller obefintliga samt på vissa håll där inhemsk kolbrytning subventioneras.

Underhåll

Den goda driftekonomin på kärnkraftanläggningar som redan är i drift (investeringen är ju redan gjord och måste under alla förhållanden betalas) gör att det finns ett starkt ekonomiskt incitament för ägarna att underhålla anläggningarna så att de kan drivas med hög tillgänglighet under lång tid.

Detta innebär också att reaktorleverantörerna kan bibehålla sin kompetens och personal med hjälp av beställningar på ombyggnader och underhållsarbeten trots låg nivå på nybeställningar.

I Västeuropa och USA har t.ex. bara en enda av 1970-talets reaktorleverantörer (Babcock & Wilcox, som konstruerade TMI-reaktorn) lämnat branschen.

Därtill skall läggas AEG i Tyskland, som dock upphört som leverantör av all sorts elkraftteknisk utrustning.

"Not-In-My-Backyard"

Kärnkraftindustrin världen över har problem med den långsiktiga lösningen av avfallsfrågan trots ett omfattande forsknings- och utvecklingsarbete.

Orsaken är inte längre främst av teknisk natur. Problemen är i stället av grundläggande politisk karaktär. Avfallsteknikens säkerhetsproblem innehåller frågor av nytt slag som tidigare inte behandlats av politiska instanser (bland annat tidsperspektivet).

De konkreta platsvalen för de slutgiltiga avfallsförvaren har försvårats eller omöjliggjorts på grund av omfattande lokalt motstånd av typen "Not-In-My-Backyard".

Plats för slutförvar av det högaktiva avfallet och detaljerad teknisk lösning har inte slutgiltigt bestämts i något land.

Däremot finns grundläggande principbeslut om typ av slutförvaringsteknik (djupförvar i berg, lera eller salt) i flera länder.

Svensk pionjärinsats

I internationella sammanhang värderas det svenska kärnavfallsprogrammet högt och anses vara en värdefull pionjärinsats.

Fortfarande anses det svenska avfallsprogrammet som det mest fullständiga i världen och det som kommit längst vad gäller konkreta åtgärder.

Säkerheten i Öst

I forna Sovjetunionen finns ett stort antal kärnkraftaggregat i drift. Tjernobylolyckan avslöjade fundamentala brister i säkerheten och en dålig säkerhetskultur.

En stor del av de internationella ansträngningarna har under de senaste åren koncentrerats till analys och därefter förbättring av säkerheten vid kärnkraftanläggningar i forna Sovjetunionen.

Ledarna för de s.k. G7-länderna har rekommenderat omfattande ekonomiskt stöd för att förbättra elproduktionssystemen i forna Sovjetunionen.

Analysen har visat att säkerheten vid en del av reaktorerna (av Tjernobyltyp och vissa sovjetiska PWR av första generationen, VVER-440) ej kan förbättras tillräckligt utan stora ombyggnader, som bedöms som oekonomiska.

Andra reaktorer kan ges en rimlig säkerhetsnivå med ekonomiskt acceptabla insatser.

Ett viktigt skäl för västvärldens villighet att ge omfattande bidrag till säkerhetsmässig upprustning av reaktorer med sovjetiskt ursprung är bedömningen att risken för en reaktorolycka med spridning av stora mängder radioaktivitet är tusenfalt större än i de västerländska reaktorerna. Tjernobylolyckan vill man inte se upprepas.

Kontinuerligt säkerhetsarbete

Även i västvärlden pågår ett kontinuerligt arbete med att förbättra säkerheten vid kärnkraftverk som redan är i drift. Japan, USA och Europa har dessutom ambitiösa utvecklingsprogram för nya förbättrade versioner av tidigare levererade grundtyper.

De nya konstruktionerna i Europa och USA torde vara färdiga för typgodkännande och kommersiell marknadsföring med början under perioden 1995 till 2000.

Bridreaktorn

Utvecklingsarbetet på bridreaktorn har successivt minskat i omfattning och en eventuell kommersiell introduktion kan ske tidigast om 25 år.

Skälet är dels oväntade tekniska svårigheter, dels överskott på världsmarknaden av billigt uran. Detta överskott kan förväntas bestå i minst 10 år.

Den stora franska bridreaktorn Super Phenix, som ej varit i drift under de två senaste åren på grund av grundläggande säkerhetsproblem, väntas få nytt drifttillstånd under sommaren 1994.

Internationella kärnkraftsorganisationer

IAEA

International Atomic Energy Agency, IAEA, som är FN:s atomenergiorgan, arbetar framför allt med:
- icke-spridning (NPT) och safeguard
- standarder för reaktorsäkerhet och transporter av radioaktivt gods
- granskning av driftsäkerheten vid kärnkraftverk
- tillämpning av strålning inom medicin, jordbruk och växtförädling.

NEA

Nuclear Energy Agency (NEA) är OECD:s atomenergiorgan. Ett omfattande samarbete mellan nationella reaktorsäkerhetsmyndigheter sker inom NEA:s ram.

Samtliga OECD-stater i Europa samt Australien, Japan, Kanada och USA är medlemmar i NEA. EU-kommissionen deltar också direkt i NEA:s arbete.

Euratom

Euratom är EU:s atomenergiorgan med ett formellt sett vidsträckt ansvarsområde, men i praktiken fungerar Euratom i huvudsak som samordnare av EU-ländernas safeguard-redovisning till IAEA.

I ett tidigt skede svarade Euratom också för ett gemensamt forsknings- och utvecklingsarbete på kärnenergiområdet. Euratom bedriver fortfarande sådant arbete, men i mindre omfattning.

WANO

Kärnkraftföretagen samarbetar globalt i reaktorsäkerhetsfrågor inom WANO, World Association of Nuclear Operators.

Praktiskt viktigt är WANO:s omfattande systematiska arbete med incidentrapportering och erfarenhetsåterföring.

Systemet omfattar samtliga kärnkraftaggregat i världen.

USA

USA är världens ledande kärnkraftnation. Där skedde kärnkraftens tekniska grundutveckling och kommersiella genombrott.

Där finns det största antalet kärnkraftsaggregat i drift och den största totala kärnkraftproduktionen.

Men den dynamiska utvecklingen bromsades upp redan för 15 år sedan, 1978, då den senaste reaktorordern tecknades. Flera av de på sjuttiotalet tecknade beställningarna har senare avbokats eller förskjutits i tiden.

I mitten av 1993 togs en ny reaktor i drift och ytterligare två aggregat, som säkert kommer att färdigställas, är under byggnad.

Några reaktorer har stängts av ekonomiska skäl under de senaste åren.

Bakgrunden är framför allt de krav som ställs upp av *Public Utility Commissions* på delstatsnivå, om vilka kostnader och tilläggsinvesteringar som får inräknas i underlaget för tariffkalkylen.

Public Utility Commissions

Med några enstaka undantag är kraftföretagen i USA privatägda, ofta med aktierna tillgängliga på aktiemarknaden. Eftersom de är verksamma på en monopolmarknad har det ansetts nödvändigt med politisk insyn och hård styrning av investeringar och taxor.

Public Utility Commissions (PUC) är en reglermyndighet på delstatsnivå och finns i samtliga delstater i USA. PUC kontrollerar företag som sysslar med el, gas och kommunikation (telefon och kabel-TV).

PUC anger bl.a. regler för vilka kostnader för t.ex. ett kraftföretag, som får utgöra underlag för beräkning av elavgifterna.

Någon motsvarighet till PUC finns inte utanför USA.

USA har fortfarande en stor tillverkning av kärnkraftverk via tre leverantörer: Westinghouse, General Electric och ABB Combustion Engineering

De nu aktuella leveranserna av nya anläggningar gäller i huvudsak Östasien.

Come-back?

Den amerikanska kärnkraftindustrin har länge systematiskt förberett en comeback inom USA och mycket tyder på att en sådan kommer att ske inom fem till tio år. I USA producerades 641 TWh kärnkraft under 1993 i 109 aggregat. Se tabellbilagan för ytterligare detaljer.

Liksom så mycket annat i USA är variationen mellan de olika anläggningarna större än på de flesta andra håll i världen.

De bästa reaktorerna i USA är i klass med de bästa i Europa, men de sämsta har en risk för härdsmälta som är ungefär 10 gånger större.

Samtliga reaktorer är försedda med inneslutningar, men filter liknande dem i Sverige saknas.

Dålig driftekonomi

Driftekonomin är i en internationell jämförelse dålig vid de amerikanska kärnkraftverken. Kostnaderna för drift och underhåll ökade till för något år sedan med 10 till 15 % per år, men ökningen har nu avstannat.

En av anledningarna till de höga kostnaderna är mängden personal vid driftorganisationerna. De har ungefär dubbelt så många anställda som motsvarande i Europa.

Ny reaktorgeneration

Tilltron till kärnkraften minskade i USA efter Harrisburg-olyckan 1979. Såväl kärnkraftbranschen som politiska bedömare är överens om att om ny kärnkraft skall kunna beställas och byggas i USA, måste den tillverkande industrin visa upp en ny generation av reaktorer.

Ett utvecklingsarbete med sådan inriktning har pågått i flera år. Samtliga tre reaktortillverkare är engagerade i ett gemensamt program, som är kostnadsberäknat till 200 miljoner dollar.

De federala myndigheterna svarar för 100 miljoner dollar, en grupp kraftföretag för 50 miljoner dollar och den tillverkande industrin för resterande 50 miljoner dollar.

Enligt uppgift från branschorgan i USA beräknas en första beställning av den nya generationen reaktorer kunna komma senast omkring sekelskiftet.

Urangruvor

USA har flera urangruvor inom landet. Anrikning av uranet sker vid amerikanska federalt ägda anläggningar.

Någon upparbetning av bränslet sker inte utan varje anläggning lagrar sitt använda bränsle vid kraftverket.

Inriktningen är direktdeponering av det använda bränslet i ett slutförvar liksom i Sverige.

Slutförvar

Det finns beslut om att placera slutförvaret av kärnavfallet i Yucca Mountain i Nevada. Det har emellertid under många år funnits en tveksamhet bland delstatspolitikerna att acceptera de federala besluten.

Förutsättningarna för en lösning tycks nu förbättras, men någon slutlig överenskommelse finns inte. Kraftbolagen betalar en avgift i proportion till kärnkraftproduktionen till en federalt administrerad fond.

Ökat förtroende?

Kärnkraften i USA har under de senaste åren indirekt fått ett något ökat förtroende hos allmänheten enligt opinionsundersökningar.

Skälet till förändringen är dock i första hand en ökad misstro mot fossileldning med tanke på växthuseffekten.

Problemet för kärnkraften i allmänhetens ögon är kostnaderna och svårigheterna med avfallet.

Kanada

Redan under 50-talet startades ett nationellt program för utveckling av kärnkraftteknik och man har nu 22 kärnkraftaggregat. Det första togs i drift 1971 och det senaste startade kommersiell kraftproduktion under 1993.

Några ytterligare kärnkraftbyggen pågår ej för närvarande.

Den totala kärnkraftproduktionen under 1993 var 97 TWh.

I Kanada har en egen reaktorkonstruktion utvecklats: PHWR, Pressurized Heavy Water Reactor. Reaktorn är också känd under namnet "CANDU" (Canada Deuterium Uranium).

I reaktorn finns tungt vatten och naturligt (ej anrikat) uran. Bränslebyte kan ske under drift, vilket inte är möjligt i lättvattenreaktorer.

PHWR har också byggts på export i Argentina, Indien, Pakistan och Sydkorea.

Kanada har stora och rika uranfyndigheter. Den största urangruvan ligger i Saskatchewan. En stor del av produktionen exporteras, bl. a. till Sverige.

Mellan och Sydamerika

Cuba

I Cuba pågår sedan mitten av 1980-talet uppbyggnad av två ryska VVER 440.

Den ena är nu färdig, men har ännu inte påbörjat kommersiell kraftproduktion. Framtiden för det andra projektet är osäker.

Mexico

I Mexico finns en BWR, byggd av General Electric, USA, i drift sedan 1990.

En andra enhet av samma typ och storlek beräknas tas i drift under 1994. Kärnkraftproduktionen var 5 TWh -93.

Argentina

I Argentina finns två PHWR i drift. Den ena på 600 MW är en kanadensisk konstruktion och den andra på 340 MW har byggts av Siemens. En tredje PHWR med en effekt på 700 MW, konstruerad av Siemens, beräknas bli ansluten till kraftnätet under 1995.

Utbyggnaden av kärnkraft i Argentina har hittills skett i statlig regi, men under 1994 planeras privatisering av de två färdiga enheterna.

Inkomsterna från försäljningen skall användas för att finansiera färdigställandet av den tredje enheten. Kärnkraftproduktionen under 1993 var 7 TWh.

Brasilien

I Brasilien finns sedan 1984 en 650 MW PWR i drift. Den byggdes av Westinghouse, USA. En 1250 MW PWR byggs för närvarande av Siemens och beräknas bli färdig 1997.

Det senare projektet startades redan 1976 och låg under många år i malpåse. 1992 erhöll Brasilien en kredit från tyska staten på 12 miljarder kronor för att kunna slutföra projektet.

Under 1993 var kärnkraftproduktionen 0,4 TWh.

Frankrike

Frankrike har länge varit det ledande kärnkraftslandet i världen vad avser utbyggnadstakten.

Visserligen finns det mer installerad kärnkraft i USA, men där har utbyggnaden praktiskt taget avstannat.

I Frankrike, däremot, har i medeltal två reaktorer startats per år under de senaste 10 åren. Under 1990-talet har takten minskat och enligt officiella planer skall utbyggnadstakten i fortsättningen vara ett aggregat vartannat år.

Exporten ökar

I Frankrike producerades under 1993, 366 TWh kärnkraft. 78% av landets elproduktion var kärnkraft. En ökande andel el exporteras till Storbritannien, Italien, Tyskland, Schweiz, Belgien, Spanien och Portugal.

14 % av landets elproduktion exporteras och 1993 var exporten drygt 60 TWh. Utbyggnaden av kärnkraft i Frankrike har de senaste åren i huvudsak motiverats med ökad export av el.

I Frankrike fanns 57 kärnkraftaggregat i drift och 4 under byggnad vid årsskiftet 1993/94 . Samtliga reaktorer utom tre är PWR.

Undantagen är dels en grafitreaktorer av magnoxtyp, som startades 1972, dels två bridreaktorer. Magnoxreaktorn är liten och kommer att läggas ner inom kort.

Det franska företaget Framatome har byggt samtliga PWR i Frankrike samt kärnkraftverk på export utanför Europa, bland annat i Sydafrika, Sydkorea och Kina.

Bridreaktorer

De två bridreaktorerna Phenix och Super Phenix har en eleffekt på 250 resp 1200 MW. Båda dessa reaktorer är sedan flera år avställda på grund av principiella tekniska fel.

I början av 1994 meddelades att regeringen godkänt fortsatt drift av Super Phenix. Återstart beräknas ske under sommaren 1994.

Takten i bridreaktorprogrammet har minskats under de senaste åren och ett kommersiellt genombrott bedöms nu ligga långt bortom år 2010.

Ny reaktorgeneration

Reaktorleverantören Framatome och det statliga kraftföretaget Electricité de France (EDF) i Frankrike har inlett ett samarbete med Siemens och de större kraftföretagen i Tyskland.

Avsikten är att gemensamt ta fram en ny avancerad PWR-konstruktion, kallad EPR (European Pressurised Water Reactor).

Säkerhetsmyndigheterna i Frankrike och Tyskland har nyligen publicerat de generella krav som bör ställas på en ny generation reaktorer:

- Signifikant minskning av risken för härdskador.
- Signifikant minskning av utsläpp av radioaktiva ämnen till omgivningen givet att en (osannolik) härdsmälta ägt rum.
- Maximalt tänkbart utsläpp av radioaktiva ämnen i samband med härdhaverier skall inte leda till behov av vare sig kort- eller långtidsevakuering av människor som bor i närheten av anläggningen.

Dessa krav uppfylls redan av samtliga svenska anläggningar. Säkerheten vid de flesta franska PWR-anläggningarna är ungefär i nivå med de svenska vad avser risk för härdsmälta.

Samtliga PWR har en reaktorinneslutning, försedd med en filteranordning av enklare slag än i Sverige.

Driftekonomin är hygglig, men strävan är att förbättra den genom att på sikt höja utnyttjningsfaktorn till 80 %.

Bränslekostnaden är högre än i Sverige eftersom den belastas med kostnader för upparbetning av bränslet.

Urangruvor

Frankrike har flera urangruvor inom landet, men importerar större delen av uranbehovet, i huvudsak från egna gruvor utomlands.

Urananrikningen sker inom landet liksom upparbetning av det använda bränslet. Anrikning görs vid Eurodif för landets eget behov och för export.

Efter den konstaterade kraftiga förseningen av bridreaktorprogrammet har man nu börjat använda MOX-bränsle (MOX = Mixed OXide, dvs bränsle bestående av en blandning av naturlig uranoxid och plutoniumoxid) vid drift av en del av PWR-anläggningarna.

MOX-bränsle tillverkas i Frankrike på kommersiella villkor även för export.

Upparbetning

I Frankrike har stora resurser satsats på utveckling av tillförlitliga metoder för upparbetning av utbränt bränsle.

Upparbetningsanläggningen i La Hague är modern och har varit i drift med goda resultat under flera år.

En del av kapaciteten i La Hague utnyttjas för upparbetning av utländskt bränsle. Utvecklingen av metoder för inkapsling och slutförvaring av alla kategorier av avfall har kommit långt, men än dröjer det flera år innan anläggningar för slutförvaring av reaktoravfall och bränsleavfall kan börja byggas. Under tiden förvaras avfallet ovan jord.

Reaktoravfallet och bränsleavfallet skall slutförvaras i djupa geologiska formationer. Fyra platser har nyligen utvalts med inriktning att vid två av dessa bygga laboratorier under jord. Tre av platserna har lerformation och en har granit.

I Frankrike är varje producent av radioaktivt avfall ansvarig för samtliga kostnader fram till och med slutförvaring. Någon statlig avfallsfond finns inte.

Mer än 60 % av befolkningen accepterar det nuvarande kärnkraftprogrammet. Något mindre än 50 % accepterar en fortsatt utbyggnad utöver den som pågår.

Den franska regeringen och en stor majoritet av parlamentet har varit och är anhängare till fortsatt användning och försiktig utbyggnad av kärnkraften.

Tyskland

I Tyskland är 21 kärnkraftaggregat i drift. Det äldsta togs i drift 1969. De fyra nyaste startade kommersiell elproduktion under perioden 1987-89.

Inga nya reaktorbyggen har startats sedan 1982. En PWR, som blev färdig 1987 har tagits ur drift av juridiska och politiska skäl. Ärendet finns nu hos Högsta Domstolen för slutgiltigt avgörande.

Några officiella planer på nya reaktorbyggen finns inte, delvis beroende på att eltillgången fram till sekelskiftet är god, men också på grund av ett hårdnande politiskt motstånd mot fortsatt utbyggnad.

Totalt producerades 154 TWh kärnkraft under 1993.

Före sammanslagningen av Öst- och Västtyskland fanns fem sovjetbyggda reaktorer (VVER 440) i drift i Greifswald i forna Östtyskland. Samtliga dessa stängdes av säkerhetsskäl 1990. I forna Västtyskland har några mindre äldre reaktorer av prototypkaraktär stängts.

Säkerheten mot härdsmälta i de flesta tyska reaktorerna ligger på ungefär samma nivå som i Sverige. Samtliga har reaktorinneslutning. En komplettering med inneslutningsfilter pågår.

Anrikning av uran sker bland annat vid Urencos anläggningar, varav en ligger i Tyskland.

Slutförvar

Platserna för slutförvaring av reaktoravfall och högaktivt avfall har redan i princip utsetts.

Det utbrända bränslet upparbetas (i Frankrike och senare också i Storbritannien) och slutförvaringen av det högaktiva avfallet kommer med all sannolikhet att ske drygt 800 meter under marknivån i en stor sammanhängande saltdom.

Slutförvaret beräknas vara i drift omkring 2010. Parallellt studeras slutförvaring av använt bränsle utan föregående upparbetning.

För finansiering av de framtida avfallskostnaderna finns det ett federalt fondsystem liknande det svenska.

Politiskt motstånd

I Tyskland startades en prototypanläggning för tillverkning av MOX-bränsle 1974. Driften stoppades av delstatens kärnkraftmyndighet 1991.

En ny kommersiell anläggning har byggts, men något drifttillstånd har ännu inte beviljats på grund av politiskt motstånd på delstatsnivå.

Kärnkraftmotståndet i Tyskland har tidvis varit häftigt och militant, liksom på andra miljöområden. Demonstrationer av den typ, som var vanlig för några år sedan, förekommer dock inte längre.

Den politiska tveksamheten om kärnkraften är stor och debatten i Tyskland under de senaste åren har haft stora likheter med den svenska.

Det existerar i praktiken ett politiskt förbud mot fortsatt utbyggnad av kärnkraften, men något beslut om avveckling finns inte.

Storbritannien

Storbritannien valde tidigt en egen linje för utbyggnaden av kärnkraften. Den första kommersiella kärnkraftanläggningen togs i bruk i Windscale (nu Sellafield) redan 1956 och är fortfarande i drift.

De flesta brittiska reaktorer är små och av Magnoxtyp. De använder naturligt (metalliskt) uran som bränsle, som är kapslat i en metallegering kallad magnox (magnesium/aluminium).

Reaktorerna är koldioxidkylda, använder grafit som moderator och saknar reaktorinneslutning.

Senare utvecklades en avancerad gaskyld reaktor (AGR) med urandioxidbränsle och heliumkylning, men de tekniska svårigheterna var stora och kostnaderna blev höga.

Gaskylda reaktorer byggs inte längre i Storbritannien. Den reaktor som nu byggs (Sizewell B) är en PWR och beräknas bli klar under 1994.

Några beslut om ytterligare kärnkraftutbyggnad finns inte i Storbritannien men under 1994 kommer ett föreslag till nybyggnadsprogram att bli föremål för politisk prövning.

I Storbritannien finns 35 kärnkraftaggregat i drift med en total produktion på 89 TWh.

Driftekonomi

De genomsnittliga kostnaderna för kärnkraftproduktionen i Storbritannien är höga, dels därför att Magnoxreaktorerna är små (normalt på 100 - 200 MW), dels beroende på bränslets egenskaper, som innebär att det använda bränslet måste upparbetas inom ett år efter uttag från reaktorn.

Driftekonomin vid de dubbelt så stora AGR-anläggningarna är bättre, men de belastas med höga anläggningskostnader.

Magnoxreaktorernas säkerhet uppfyller standardmässiga grundkrav. Frånvaron av reaktorinneslutning motiveras med den enkla och säkra kylkretskonstruktionen och den låga effektbelastningen på bränslet.

THORP

En upparbetningsanläggning för metallbränsle (från Magnoxreaktorer) har varit i drift i Sellafield sedan 1968.

En ny upparbetningsanläggning för urandioxidbränsle (från BWR och PWR) kallad THORP (Thermal Oxide Reprocessing Plant) har nu byggts färdig och fick slutgiltigt starttillstånd av regeringen vid årsskiftet 1993/94.

Huvuddelen av det bränsle som skall upparbetas i THORP är utländskt och

kommer framför allt från Tyskland och Japan. Hela kapaciteten under de första tio åren har redan sålts.

Slutförvaring

Flera olika metoder för slutförvaring av det högaktiva avfallet har studerats. Den troliga lösningen är förvaring på cirka 1000 meters djup i berg.

Någon plats har ännu inte utsetts och troligen kommer det att dröja 15 till 20 år innan en sådan anläggning tas i drift.

Det finns ingen statlig fond för de framtida avfallskostnaderna utan avsättningen av sådana medel sker inom kraftföretagen.

Kärnkraften ej privatiserad

Då kraftindustrin privatiserades för några år sedan beslöts att staten skulle bibehålla ägandet av kärnkraften.

Orsaken, förutom dålig driftekonomi, var att det dåvarande statliga kraftföretaget CEGB inte hade några fonder för de framtida avfallskostnaderna och osäkerheten om dessa ansågs mycket hög. En förnyad bedömning av denna fråga är planerad att ske under 1994.

Rationalisering

Kärnkraftens ekonomi har förbättrats under de senaste åren dels genom att några små, gamla och olönsamma enheter lagts ner, dels genom en grundlig rationalisering av driftorganisationerna.

Det statligt ägda produktionsbolaget Nuclear Electric anser att nya PWR, av samma typ som Sizewell B, skulle kunna byggas med en kalkylerad kWh-kostnad lägre än nya fossileldade kraftverk.

Gaskombikraftanläggningar har under de senaste åren ansetts som mera ekonomiskt intressanta än kärnkraften. Orsaken har bl.a. varit att privatiseringen av kraftindustrin drivit fram kraven på korta avskrivningstider.

Om man undantar den under 1993 aktuella frågan om starttillstånd för THORP förekommer det inte någon egentlig kärnkraftdebatt i Storbritannien för närvarande.

Finland

Finland har 4 kärnkraftblock i drift, två är ryskbyggda och två är konstruerade av svenska ABB Atom. Under 1993 producerades 20 TWh kärnkraft.

De två ryska reaktorerna byggdes under tiden 1971 till 1981 och modifierades från början av skickliga finländska tekniker så att de uppfyllde västerländsk säkerhetsstandard.

Kylsystemet kompletterades, kontrollutrustningen levererades från väst och reaktorn försågs med en inneslutning.

De två andra reaktorerna har levererats av ABB Atom och är av ungefär samma typ som Forsmark 1 och 2. De togs i drift under perioden 1979 till 1982.

Ett omfattande tekniskt samarbete har sedan dess utvecklats mellan det finska kraftföretaget och Forsmark.

Reaktorsäkerheten ligger i nivå med den svenska. Driftsekonomin är utomordentligt god.

Avfall

Finlands avfallssystemet är likt det svenska, med ett undantag. Bränslet till de ryskbyggda reaktorerna leasas från Ryssland.

Efter användning går det tillbaka till Ryssland för slutlig bearbetning och slutförvaring. Detta avtal har nyligen förlängts.

Elimport från Ryssland

Finland behöver utöka sin elproduktionskapacitet i god tid före år 2000.

En bidragande faktor är att 15 % av elkraften importeras från Ryssland och möjligheterna att förlänga kontraktet efter 1998 är osäkra.

Sedan flera år har därför de finländska kraftföretagen planerat för utbyggnad av den egna kraftproduktionen. Vattenkraft har inte varit något alternativ av samma skäl som i Sverige.

Valet har stått mellan ny kolkraft och ny kärnkraft. Även torv, naturgas (från Norge och Ryssland) och bioenergi har utretts, men har successivt uteslutits som realistiska alternativ.

Ingen kärnkraftutbyggnad

Kraftindustrin gjorde för några år sedan bedömningen att ny kärnkraft skulle vara det fördelaktigaste alternativet och tog då in offerter från tillverkare i Frankrike, Tyskland, Ryssland och Sverige.

Då regeringen behandlade ansökan våren 1993 blev beslutet positivt, men då riksdagen skulle ta ställning i början av juni sköts beslutet upp.

Under hösten 1993 beslöt riksdagen att inte acceptera bygget av ett femte kärnkraftaggregat.

Kraftindustrin har därefter förklarat att kärnkraften inte är ett realistiskt utbyggnadsalternativ under de närmaste åren.

Övriga Västeuropa

Kärnkraft finns också i drift i Belgien, Nederländerna, Schweiz och Spanien, utöver de västeuropeiska länder som behandlats i särskilda avsnitt.

Några nya kärnkraftblock är inte planerade för närvarande i något av dessa länder. I Schweiz finns ett politiskt beslut som innebär att inga nya kärnkraftprojekt får startas före år 2000.

I Spanien och Nederländerna är situationen liknande. Även i Belgien råder i praktiken stopp tillsvidare för fortsatt utbyggnad. Något beslut om avveckling finns inte.

Fem kärnkraftaggregat i Spanien är formellt under byggnad, men sedan flera år tillbaka ligger de i malpåse. Det är osäkert om något av dessa projekt kommer att fullföljas.

I Belgien har det länge funnits en mindre anläggning för tillverkning av MOX-bränsle. Den har nu utvidgats och moderniserats. Under hösten 1993 gav regeringen tillstånd för drift med MOX-bränsle i belgiska reaktorer.

Tillverkning av MOX-bränsle offereras nu också till utländska kunder.

I Nederländerna finns en kommersiell anrikningsanläggning, som drivs av Urenco, ett företag som också driver motsvarande anläggningar i Tyskland och Storbritannien.

I Italien fanns tidigare tre reaktorer (varav två små av prototypkaraktär) i drift, men dessa lades ner genom politiska beslut under perioden 1987 till 1990.

En omprövning av kärnkraftpolitiken är planerad att ske under 1994.

Östeuropa och f.d. Sovjetunionen

Kärnkraftsituationen i Östeuropa och före detta Sovjetunionen är svåröverskådlig och svårbedömbar.

Totalt finns i dessa länder drygt 60 kärnkraftsaggregat men troligen kom-

mer ett antal av dem som nu är i drift att stängas inom fem till tio år.

Av de redovisade utbyggnadsplanerna kan bara de siffror som redovisas för Tjeckien betraktas som säkra.

För något år sedan angavs att 17 reaktorer höll på att byggas i Ryssland. I IAEA:s officiella statistik anges för årsskiftet 93/94 endast fyra kärnkraftaggregat vara under byggnad.

Utveckling av säkrare typer av reaktorer pågår. Något beslut om start av helt nya kraftreaktorprojekt har dock ej tagits sedan Tjernobylolyckan.

Nästan alla aggregat i östeuropa är av rysk konstruktion och tillhör någon av de tre typerna RMBK (Tjernobyltyp), VVER 440 eller VVER 1000 (båda är av PWR-typ).

Många västerländska säkerhetsexperter anser att en ombyggnad till västerländsk säkerhetsnivå inte är ekonomisk möjlig för RMBK och kanske heller inte för reaktorer tillhörande första generationen VVER 440.

De rekommenderar istället att reaktorerna stängs av så snart det är möjligt med tanke på elförsörjningen. men det kan i de flesta fall inte ske förrän inom fem till tio år. Därför görs vissa grundläggande förstärkningar av säkerheten vid dessa båda reaktortyper.

Däremot anses det fullt möjligt att med rimliga insatser få upp VVER 1000 och i viss mån andra generationen VVER 440 till en acceptabel säkerhetsnivå.

Rumänien bygger tungvattenreaktorer. Med hjälp av tekniskt och ekonomiskt stöd från Kanada kan den första reaktorn tas i drift under 1995.

Hjälpprogram för säkerhet

Omfattande planer för ekonomiskt och teknisk stöd för analys och förbättring av säkerheten vid de östeuropeiska reaktorerna har redovisats av västländerna, via G 7, EG och enskilda länder, bl.a. Sverige.

Hjälpprogrammet har redan startats, men några omfattande ombyggnader har ännu inte kommit igång.

En svårighet är att frågan om den hjälpande organisationens juridiska och ekonomiska ansvar vid en eventuell olycka ännu ej lösts på ett tillfredsställande sätt.

I ett samarbete mellan svenska och litauiska myndigheter löstes vid årsskiftet 1993/94 problemet för Ignalina i Litauen.

Uranöverskott

I Ryssland finns ett stort överskott av anrikat uran som nu säljs på världsmarknaden till attraktiva priser.

De svenska kraftföretagen har under de senaste åren köpt stora delar av sitt anrikade uran från Ryssland.

Sydafrika

I Sydafrika finns två franskbyggda PWR på vardera 920 MW i drift. De startades 1984 respektive 1985. Några nybyggen pågår inte.

Kraftproduktionen i de två enheterna var 8 TWh under 1993.

Sydostasien

Huvuddelen av reaktorerna i Kina, Sydkorea och Taiwan är PWR, men i Sydkorea finns också ett antal CANDU-reaktorer konstruerade i Kanada.

Utbyggnaden av kärnkraften i Japan, Sydkorea och Taiwan har fortsatt även efter Tjernobylolyckan.

Också i Kina finns det stort intresse för en ökad utbyggnad av kärnkraften.

Kina

Kinas andra reaktor togs i drift i juli 1993 och den tredje beräknas starta i september 1994.

Ytterligare tre anläggningar planeras.

Taiwan

I Taiwan finns sex aggregat i drift och beställning av ytterligare två kärnkraftaggregat planeras under det närmaste året.

Utvärdering av offerter pågår och driftstart planeras till år 2000.

Sydkorea

Sydkorea har nio aggregat i drift och nyligen beställdes två nya kärnkraftaggregat från ABB Combustion Engineering för driftstart 1998 och 1999.

Ytterligare två enheter kommer troligen att beställas under 1994 eller 1995.

Kraftindustrins planer är att ha 20 aggregat i drift år 2006.

Nordkorea

Enligt uppgifter från IAEA finns inga kraftreaktorer i drift i landet. Sedan några år pågår uppförandet av två mindre reaktorer för kraftproduktion, en på 50 MW (prototyp) och en på 200 MW.

Reaktorerna ska utnyttja naturligt uran som bränsle och grafit som moderator. Kylmedlet är troligen luft eller koldioxid.Uppgifter saknas om planerad tidpunkt för start.

I Nordkorea finns också urangruvor och en mindre upparbetningsanläggning.

Japan

I Japan finns 48 aggregat i drift. Utöver de sex aggregat som är under byggnad gav japanska regeringen under 1993 principtillstånd för ytterligare sju.

År 2000 beräknas 56 enheter vara i drift med en installerad effekt på 50 000 MW (nu 37 400 MW).

Samtliga reaktorer utom en är av västerländsk typ, dvs BWR och PWR, ungefär lika många av varje slag. Reaktorerna har inneslutning, men saknar filter.

Säkerhetsnivån motsvarar den i västerländska reaktorer.

Japan importerar allt sitt uran. Huvuddelen av anrikningstjänster köps för närvarande från utlandet, men 1992 startade Japans första anrikningsanläggning.

En utbyggnad har redan inletts och avsikten är att Japan så småningom skall bli självförsörjande på anrikningsresurser.

Det använda bränslet upparbetas i Frankrike och Storbritannien. Under 1993 startade bygget av en upparbetningsanläggning i Japan med en kapacitet på 800 ton per år.

MOX-bränsle

Plutoniumet som utvinns från upparbetningen av det använda bränslet skall på kort sikt användas som s.k. MOX-bränsle i de reaktorer som nu är i drift.

Man räknar med att en tredjedel av bränslet på sikt skall bestå av MOX-bränsle.

På längre sikt är Japan inställt på att använda plutoniumet som bränsle i bridreaktorer

Några konkreta detaljerade planer för hur det högaktiva avfallet från upparbetningen skall slutförvaras har inte offentliggjorts.

Opinionen

Motståndet mot kärnkraftutbyggnaden har varit svagt i Japan, även om ekonomiska kompensationskrav från olika fiskebyar i flera fall fördröjt byggstarten av reaktorprojekt.

Under senare år har det lokala motståndet mot anläggningar för upparbetning och avfallslagring vuxit i omfattning. Regeringen är pådrivande när det gäller kärnkraftutbyggnaden.

Den viktigaste orsaken för det politiska kärnkraftintresset var tidigare i första hand viljan att minska beroendet av import av olja och kol.

Senare har också miljöargumenten varit framträdande (koldioxidutsläppen skall år 2000 ligga på samma nivå som år 1990).

Indien

I Indien finns nio kärnkraftaggregat i drift, sju är PHWR av kanadensisk konstruktion och två är BWR byggda av General Electric, USA. De två BWR är små, 150 MW vardera, och har båda varit i drift sedan 1969.

Den första PHWR startade kraftproduktion 1973 och den senaste 1993. Varje PHWR-aggregat har en effekt på 220 MW. Enligt IAEA är ytterligare fem kärnkraftaggregat, samtliga PHWR, under byggnad i Indien.

De första PHWR byggdes av kanadensiska leverantörer, de tre därpå följande av ett kanadensiskt-indiskt konsortium. De två senaste aggregaten liksom de fem som nu är under byggnad, är alltigenom indiska projekt.

Pakistan

I Pakistan finns en liten kanadensisk PHWR på 125 MW i drift sedan 1972.

Ett andra aggregat, en 300 MW PWR, påbörjades under 1993.

Det är en anläggning som är konstruerad i Kina och den byggs med ekonomiskt stöd från Bank of China.

Kärnkraftproduktionen i Indien under 1993 var 6 TWh och i Pakistan 0,4 TWh.

Uran, anrikning och bränsletillverkning

Uran är ett vanligt förekommande grundämne i naturen och finns tillgängligt i alla världsdelar.

Berggrunden innehåller i genomsnitt fyra gram uran per ton bergmassa och havet cirka fyra milligram uran per ton vatten.

I de rikaste gruvorna är halten uran 20 000 gram per ton (dvs 2 %).

De kända tillgångarna, där man kan utvinna uran till en kostnad som motsvarar upp till 3 öre per producerad kWh, räcker till produktion av 3 400 000 ton uran.

Med nuvarande världsförbrukning räcker denna mängd uran i cirka 100 år.

Under de senaste åren har svenska kraftföretag köpt in natururan för en kostnad som motsvarar 0,8 öre per kWh.

Priset har varit lågt på grund av överskott på marknaden.

Spotmarknad

Ungefär hälften av Sveriges behov av natururan köps i fasta långtidskontrakt från gruvor i Australien och Kanada.

Den andra hälften har under de senaste åren köpts på spot-marknaden framför allt från Ryssland. Där finns överskott på anrikat uran till kostnader som understiger världsmarknadspriset.

Andra länder med kommersiell uranbrytning i stor skala är: USA, Frankrike,Niger, Gabon, Namibia, Sydafrika, Kina, Kazakstan och Uzbekistan.

Anrikning

Det i naturen förekommande uranet innehåller 0,7 % av den klyvbara isotopen uran-235. För drift av de flesta reaktorer i världen måste bränslet innehålla cirka 3 % av uran-235.

Därför måste natururanet isotopanrikas för att bli användbart som reaktorbränsle. Uranet anrikas med två olika tekniska metoder, som används kommersiellt i stor skala: gasdiffusion och gascentrifug.

I USA, Frankrike och Kina finns anläggningar, som utnyttjar gasdiffusion medan gascentrifuger används i England, Holland och Tyskland (dessa tre länder samarbetar genom företaget URENCO) samt i Ryssland och Japan.

Bränsleelement

Det färdiga bränslet består i nästa alla reaktorer av urandioxid, som är ett keramiskt material. Bränsleelementen tillverkas i ett stort antal länder. I Västeuropa sker det i Frankrike, Storbritannien, Tyskland och Sverige.

ABB Atom i Västerås svarar för större delen av det svenska behovet samt exporterar färdiga bränsleelement till Spanien, Frankrike, Schweiz, Tyskland, Belgien, Finland och USA.

Sandvik AB är en av världens ledande tillverkare av kapslingsrör för kärnbränsle.

Vanligtvis sker en upphandling av reaktorbränsle i tre steg: natururan, anrikning och bränsletillverkning. Under senare år har det varit vanligt att köpa anrikat uran i en enda upphandling från Ryssland.

Svärdet till plogbill...

I januari 1994 undertecknades ett avtal mellan presidenterna Clinton och Jeltsin om försäljning av 500 ton höganrikat uran (mer än 90 % uran-235) som tagits bort från nedmonterade ryska kärnvapen.

Vapenmaterialet skall oskadliggöras genom inblandning av naturligt uran så att halten uran-235 blir 4,4 procent och därefter levereras till USA för att användas som bränsle i civila kärnreaktorer.

Blandningsproceduren skall utföras i Ryssland under kontroll av amerikanska myndigheter och eventuellt IAEA.

Ökad utbränning av uran

Det har skett en omfattande utveckling av reaktorbränslet och utnyttjningen av detta sedan 1960-talet. Detta har lett till att ca 15 % mer energi per kg ursprungligt natururan kan tas ur bränslet jämfört med situationen på 1970-talet.

Den ökande utbränningen innebär också att det plutonium som nybildas i bränslet under drift får en hög halt av icke klyvbara isotoper. Det gör att detta plutonium efter en eventuell upparbetning är helt odugligt för kärnvapen.

Ekonomi

OECD/NEA har under många år följt utvecklingen av kostnaderna för att producera el med hjälp av kärnkraft, kol och gas.

Under 1992 publicerades två rapporter i ämnet: *Broad Economic Impact of Nuclear Power, Projected Costs of Generating Electricity, Update 1992*

Fakta och värderingar i detta kapitel har hämtats från dessa två rapporter.

Prispress på fossilbränslen

Under 1990 producerades i OECD-länderna 1530 TWh kärnkraft, vilket var 23 % av deras totala elproduktion.

Denna kärnkraftproduktion innebar en besparing av 550 miljoner ton kol, som vid förbränning skulle ha resulterat i utsläpp av 1500 miljoner ton koldioxid under ett år.

(I Sverige är det totala koldioxidutsläppet per år ungefär 60 miljoner ton, varav 1.5 miljoner ton från elproduktionen).

Kärnkraften har inneburit en prispress på kostnaderna för fossila bränslen i OECD-länderna.

Om kärnkraften av någon anledning skulle överges torde resultatet kunna bli kraftiga höjningar av priserna på kol, olja och naturgas.

Kärnkraftindustrin världen över är sammansatt av :

- Reaktor- och komponenttillverkare
- Kraftföretag
- Gruvföretag
- Anrikningsverk
- Bränsletillverkare
- Upparbetningsanläggningar
- Organisationer som svarar för omhändertagandet av avfall och utveckling av ny avfallsteknik.
- Tillsynsmyndigheter

Antalet anställda inom kärnkraftindustrin i OECD-länderna uppskattas till närmare 700 000 personer.

Om man även medräknar forna Sovjetunionen och asiatiska länder torde totalsiffran bli dubbelt så hög.

Jämförande studier

OECD har genomfört detaljerade jämförande studier av kostnaderna för att producera elektricitet med hjälp av kärnkraft, kol och naturgas i fyra studier sedan 1983.

Kostnaden för el producerad i nya kärnkraftaggregat är i genomsnitt 20% lägre än i motsvarande för kol. För naturgas är skillnaden mindre.

I figurerna visas resultaten av jämförelser mellan totala kostnaden för produktion av kärnkraft och kol i nya anläggningar enligt 1992 års studie.

De gemensamma förutsättningarna för de ekonomiska kalkylerna är 30 års livslängd och 75 % utnyttjningsfaktor.

I OECD-rapporten finns också absolutvärden på kostnaderna, men de är i allmänhet av mindre intresse eftersom förhållandena variera kraftigt mellan de olika länderna.

De finska kärnkraftkostnaderna, som presenteras i rapporten, torde emellertid vara av intresse för den svenska debatten.

Totalkostnaden anges till 3.06 cents/kWh i 1991 års penningvärde. Om man använder kursen i februari 1994, 8:- kr per US dollar, blir den totala kostnaden för ny kärnkraftsproduktion i Finland 24 öre/kWh.

Icke-spridningsavtalet

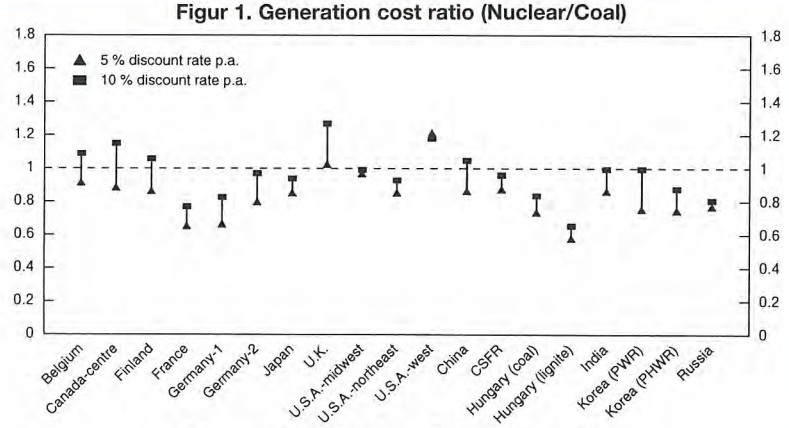
Det finns en väl fungerande kommersiell internationell marknad för natururan, anrikningstjänster och kärnbränsletillverkning.

En avgörande förutsättning för denna marknad är NPT (Non Proliferation Treaty, Icke-spridningsavtalet) som slutits mellan ungefär 140 länder och som ger FN:s atomenergiorgan IAEA möjlighet att utöva internationell kontroll av det globala flödet av uran.

NTP skall omförhandlas under 1995.

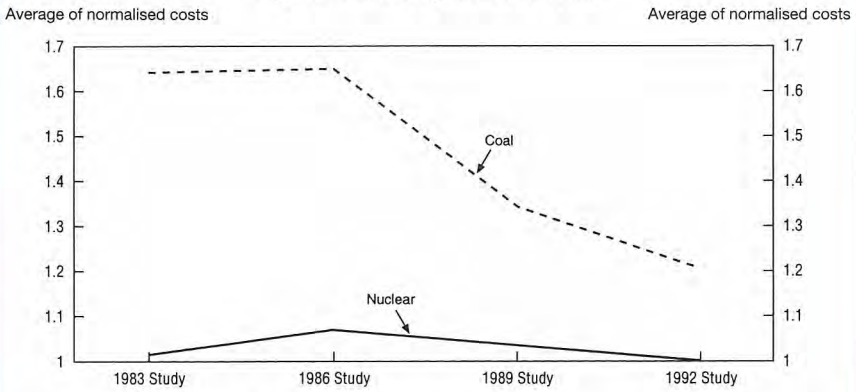
Carl-Erik Wikdahl

Figur 1. Generation cost ratio (Nuclear/Coal)



1. Germany - Domestic coal 2. Germany - Imported coal

Figur 2. Trends of generation costs



Cost results of Belgium, Canada-Centre, Finland, France, Germany, Japan, U.K., and U.S.A.-midwest were converted into July 1991 money, standardised to 5% p.a. discount rate, 30 year lifetime, and 75% load factor, and normalised to 1992 study nuclear cost results.

Kärnkraften i världen under 1993 respektive vid årsskiftet 93/94

Land	Reaktorer i drift **Antal**	Under byggnad **Antal**	Produktion **TWh**	Andel kärn-kraft, %	Utnyttjnings faktor, %
Nordamerika					
Kanada	22	0	89	17	70
USA	109	2	610	21	71
Sydamerika					
Argentina	2	1	7	14	87
Brasilien	1	1	0,4	0,2	8
Cuba	0	2	-	-	-
Mexico	1	1	4	3	83
Västeuropa					
Belgien	7	0	40	59	83
Finland	4	0	19	32	93
Frankrike	57	4	350	78	69 (80)
Nederländerna	2	0	4	5	86
Schweiz	5	0	22	38	85
Spanien	9	0	54	36	85
Storbritannien	35	1	80	26	66
Sverige	12	0	59	42	67 (75)
Tyskland	21	0	145	30	69
Afrika					
Sydafrika	2	0	7	5	46
Östeuropa					
Bulgarien	6	0	14	37	44
Kazakstan	1	0	0,5	0,5	?
Litauen	2	0	12	87	?
Rumänien	0	5	-	-	-
Ryssland	29	4	120	13	65
Slovakien	4	4	11	54	?
Slovenien	1	0	4	43	68
Tjeckien	4	2	13	29	70
Ukraina	15	6	75	33	60
Ungern	4	0	13	43	86
Sydostasien					
Indien	9	5	5	2	37
Japan	48	6	246	30	73
Kina	2	1	2,5	0,3	?
Nordkorea	0	2	-	-	-
Pakistan	1	1	0,4	1	34
Sydkorea	9	7	55	40	87
Taiwan	6	0	33	35	76

I Frankrike och Sverige nedregleras effekten vid kärnkraftverken regelbundet, till skillnad från andra länder. Därför har för dessa båda länder inom parentes angetts tillgänglighetsfaktorn, som är ett riktigare mått än utnyttjningsfaktorn vid en internationell jämförelse.

Uppgifterna om antalet reaktorer i drift och under byggnad avser situationen vid årsskiftet 1993/94. Uppgifterna om produktion, andel kärnkraft och utnyttjningsfaktor avser driftåret 1993.

Siffermaterialet är hämtat från IAEA och från tidskiften Nucleonics Week. I några fall har uppgifterna kompletterats med hjälp av löpande nyhetsmaterial från kärnkraftindustrin.

Kärnkraftsäkerhet och Utbildning AB (KSU) *ägs av de svenska kraftföretagen:*
OKG AB, *med kärnkraftverket i Oskarshamn*
Sydkraft AB, *med kärnkraftverket i Barsebäck*
Vattenfall AB, *med kärnkraftverken i Forsmark och Ringhals*

KSU driver säkerhetsfrågor som lämpar sig för samordnande insatser från ägarföretagen. Främst gäller det grundutbildning och årlig återträning av kraftverkens driftpersonal i fullskalesimulatorer vid huvudanläggningen i Nyköping. Simulatorerna återskapar så naturtrogna förlopp som möjligt av processerna i de svenska kärnkraftverken.
Därutöver ges högre teoretisk utbildning i kärnkraftteknik på högskolenivå och däröver.

KSU utvärderar också inträffade störningar såväl i Sverige som utomlands. Stockholmskontoret är den svenska länken i flera internationellt organiserade system för utbyte av drifterfarenheter:
INPO *(Institute of Nuclear Power Operation)*
WANO *(World Association of Nuclear Operators).*
Verksamhetens innehåll ger även grund för samhällsinformation om kärnkraftsäkerhet, joniserande strålning samt riskjämförelser mellan olika energislag. Detta sker efter utvärdering av en särskild analysgrupp.

Analysgruppen vid KSU

Jean-Pierre Bento, civilingenjör, K S U
Per-Åke Bliselius, tekn lic, Sydkraft AB
Monika Eiborn, fil. kand, ABB Atom AB
Monica Gustafsson, docent, IAEA, WIEN
Ingemar Lindholm, tekn. lic, Sv Kärnbränslehantering AB
Gustaf Löwenhielm, tekn dr, Vattenfall AB
Anders Pechan, utredn. sekr, Analysgruppen vid KSU
Agneta Rising, fil. kand, Vattenfall AB, Ringhals
Evelyn Sokolowski, docent, K S U
Gunnar Walinder, professor
Carl-Erik Wikdahl, civilingenjör, EnergiForum AB