



Kärnkraften i vår omvärld

Under de senaste åren, särskilt 2007, har klimatproblemet blivit konkret och tydligt för alla. Globalt sett är elsektorn den dominerande och fortfarande snabbast ökande källan till koldioxidutsläpp beroende på att mer än två tredjedelar av världens elproduktion sker i fossileldade kraftverk.

Reaktorolyckan 1979 i Harrisburg, USA, innebar stopp för utbyggnad av kärnkraften i många länder. Tjernobylikatastrofen cementerade denna attityd i väst. Men i Asien fortsatte kärnkraftutbyggnaden. Under de senaste åren har opinionen svängt i USA och flera europeiska länder.

I många länder finns nu en positiv attityd till utbyggnad av kärnkraft hos allmänheten, framträdande politiker och inom industrin. Detta har lett till att några nya reaktorer beställts i västvärlden och i Asien har viljan att investera i ny kärnkraft ökat. Allt tyder på att de första nya reaktorbeställningarna på 30 år i USA kommer att placeras före 2010. Ett stort utbyggnadsprogram för ny kärnkraft planeras också i Storbritannien.

De viktigaste skälen i många länder för kärnkraftutbyggnaden är:

- *Insikten om framtida stora klimatproblem har ökat*
- *Kärnkraften är praktiskt taget fri från koldioxidutsläpp (ref. 1)*
- *Gamla kol- och kärnkraftverk behöver ersättas*
- *Användningen av el ökar*
- *Ny kärnkraft har god konkurrenskraft på kort och lång sikt*
- *Kärnkraftens driftsäkerhet och drifttillgänglighet är väsentligt bättre än tidigare*
- *Säkerheten vid världens kärnkraftverk har förbättrats (ref. 2 och 3)*
- *Världens tillgångar på uran kommer att räcka under överskådlig tid (ref. 4)*

Global översikt

Vid årsskiftet 2007/2008 fanns 439 kärnkraftreaktorer i drift i 30 länder. Den installerade effekten var 373 000 MW (nettoeffekt). De producerade 15 procent av världens elkraft. Inom EU genereras 35 % av elen som kärnkraft.

Få nya reaktorer har tillkommit de senaste åren men den totala kärnkraftproduktionen har ändå ökat kraftigt. Orsaken är att elproduktionen per reaktor i genomsnitt ökat genom förbättrad drifttillgänglighet och effektökningar, se Figur 3.

33 reaktorer med en total effekt på 27 000 MW håller på att byggas i 13 länder, de flesta i Sydostasien. Dessutom är ett hundratal nya reaktorprojekt med en sammanlagd effekt på 100 000 MW nära beställning. Därutöver planeras

Uran

Från mitten av 1980-talet till början av 2000-talet var efterfrågan på uran nästan stillastående. Skälet var dels att få nya reaktorer byggdes, dels att det fanns ett utbud på den civila kärnbränslemarknaden av höganrikat uran från de amerikanska och ryska lagren av kärnstridsspetsar. Dessutom fanns en osäkerhet om hur reaktormarknaden skulle utvecklas. Prospektering efter nya fyndigheter låg därför nere och inga nya gruvor öppnades.

Under de senaste åren har efterfrågan på uran ökat igen, vilket lett till

Världens elförsörjning

Världens befolkning på 6,5 miljarder människor ökar med drygt 1 procent per år. Världens elförbrukning som år 2007 var drygt 19 000 TWh ökar ännu snabbare, med cirka 3 procent eller 600 TWh per år. En fjärdedel av världens befolkning saknar fortfarande tillgång till el.

Av världens el produceras två tredjedelar med fossila bränslen (kol, olja och naturgas) och två procent kommer från andra förnyelsebara energikällor än vattenkraft. Siffrorna har hämtats från IEAs (International Energy Agency) elstatistik för 2007, se Figur 1.

Enligt IEAs framtidsscenario kommer användningen av kol, olja och gas för elproduktion att öka jämfört med 2007 åtminstone fram till 2030 även i det så kallade alternativa scenariot.

långsiktigt närmare 200 nya kärnkraftreaktorer med en samlad effekt på upp emot 200 000 MW.

I Finland (2005) och i Frankrike (maj 2006) har nya stora kärnkrafttaggregat beställts och anläggningsarbetena har startats. I Finland diskuteras redan ytterligare en eller två nya reaktorbeställningar. Regeringen kommer att ta ställning senast under 2010.

Motsvarande läge finns inte i andra västländer men industrin, myndigheterna och de politiska ledningarna i USA och Storbritannien är inriktade på en vändning under de närmaste åren.

I USA kommer nya beställningar före 2010, kanske redan 2008. I Storbritannien torde det dröja ytterligare några år.

en bristsituation och ökat pris på uranmarknaden.

Nu har synen på kärnkraftutbyggnaden förändrats på flera håll i världen. Därför har urangruvindustrin aktiverat sig och nyprospektering sker nu i många länder och nya gruvor kommer att öppnas. Det innebär att uranpriset så småningom kommer att sjunka trots långsamt stigande efterfrågan på uran.

De internationella gruvbolagen har också startat uranprospektering på flera håll i Sverige. Men någon gruvbrytning torde inte vara av intresse i Sverige under

Även i Schweiz, Spanien, Litauen, Turkiet och Polen finns konkret politiskt och marknadsmässigt intresse för ny kärnkraft. I Turkiet inleddes ett anbuds-förfarande för ett nytt kärnkraftverk i början av 2008. I Belgien påbörjades under 2007 en omvärdering av beslutet att successivt avveckla kärnkraften

I Österrike, Tyskland och Sverige är den officiella attityden fortfarande negativ till ny kärnkraft. Regeringspartierna i Tyskland står fast vid att beslutet om kärnkraftavveckling senast under 2020 inte skall ifrågasättas under innevarande mandatperiod.

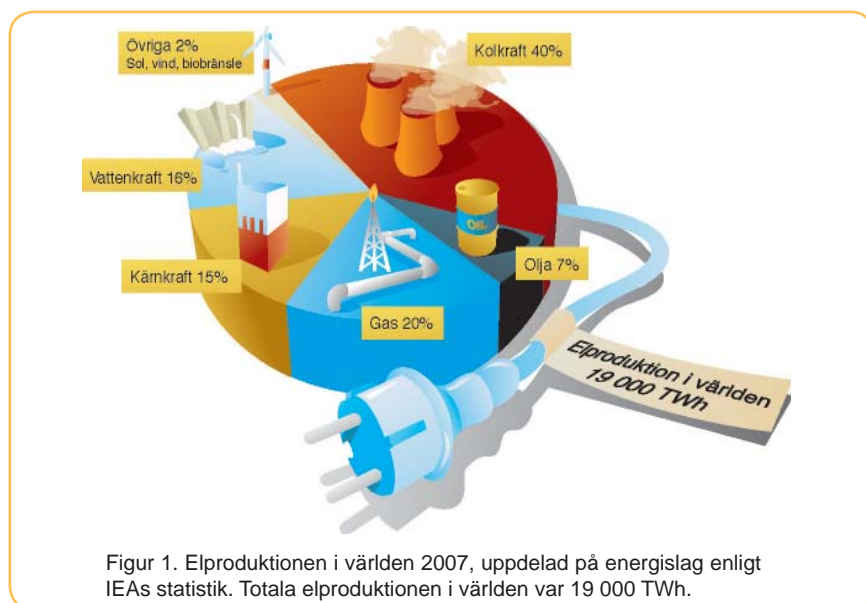
Men i dessa länder finns en ökande opinion för en ändring av kärnkraftspolitiken på grund av klimathotet.

överskådlig tid eftersom uranhalterna genomgående är lägre än på många andra håll i världen.

Kända fyndigheter av uran brytbara till dagens kostnadsnivå räcker att hålla dagens reaktorer i drift i ungefär 50 år.

Kända fyndigheter vid dubbel kostnadsnivå (som innebär en ökning av kostnaden för kärnkraftproduktionen med 1 öre/kWh) skulle räcka i hundratal år.

Med kommande generationer av reaktorer (bridreaktorer) skulle uthålligheten bli tusentals år (ref. 4).



Klimatet och kärnkraften

Enligt FN:s klimatkommitté är elproduktionen i världen den kategori av utsläppskällor som ger mest CO₂-utsläpp. Utsläppen från elproduktionen är drygt dubbelt så stor som för vägtransporter respektive industri, se Figur 2.

Det framgår också tydligt av diagrammet att elsektorns koldioxidutsläpp ökat snabbast, särskilt efter år 2000. Skälet är den ökande efterfrågan på el och det stora beroendet av kol även för ny elproduktion i utvecklingsländer som Kina och Indien.

Det finns beräkningar som visar att kärnkraften är den elproduktion som är mest kostnadseffektiv för att minska koldioxidutsläppen. I bl.a. den brittiska vitboken om kärnkraften från januari 2008 (se ref. 12) anges att kärnkraften är väsentligt mera kostnadseffektiv än till exempel vindkraft.

I flera länder, däribland Sverige, har man hittills betonat att kraven på minskade koldioxidutsläpp och hållbar utveckling inom energiområdet måste innebära en hård prioritering av förnyelsebara energikällor som sol, biobränsle, vind och vatten. Dessa anses som outtömliga, om än med begränsat effektuttag.

Beräknat över en hel livscykel (från gruvan till graven, dvs inkluderande bygget av kraftverket, bränsleframställning, drift, avfall och skrotning) släpper kärnkraften ut ungefär lika mycket koldioxid per producerad kWh el som vattenkraft eller vindkraft (ref. 1).

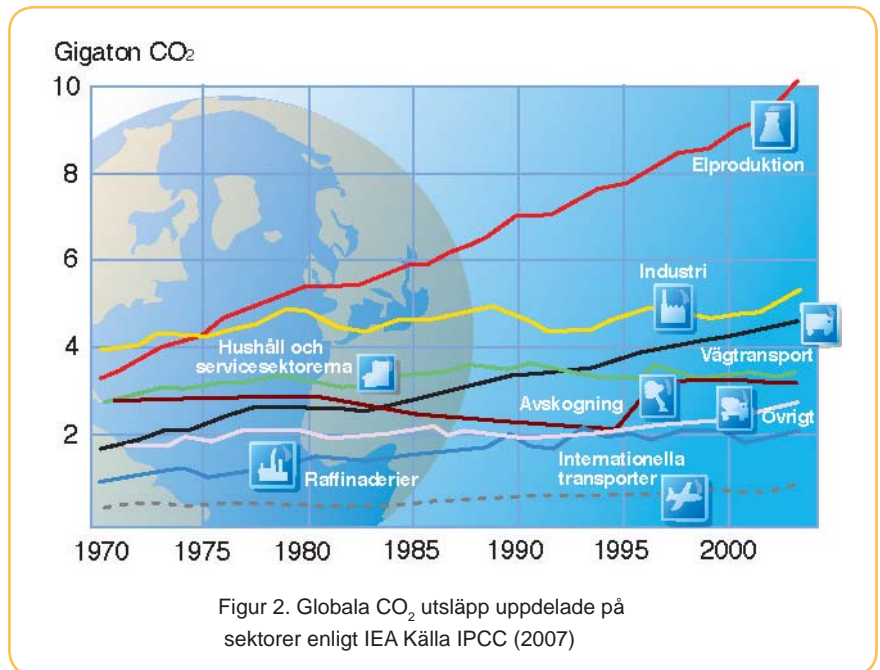
Kärnkraftens säkerhet och ekonomi

Ett omfattande internationellt samarbete för att höja säkerheten vid världens kärnkraftverk pågår sedan 1980-talet. Det sker dels inom kärnkraftföretagen, dels mellan myndigheter och olika internationella organ (ref. 2 och 3).

Dessutom har – parallellt med säkerhetsförbättringarna – ekonomin förbättrats genom högre drifttillgänglighet och ökad effekt vid kärnkraftverken.

FN:s kärnkraftorgan IAEA har visat hur den genomsnittliga drifttillgängligheten (antalet drifttimmar per år i förhållande till årets alla timmar) hos världens kärnkraftverk ökat från 71 procent 1990 till 83 procent 2006.

Enligt IAEA har kärnkraftproduktionen i världen ökat med 41 procent från 1990 till 2006, se vidstående Figur 3.



Figur 2. Globala CO₂ utsläpp uppdelade på sektorer enligt IEA Källa IPCC (2007)

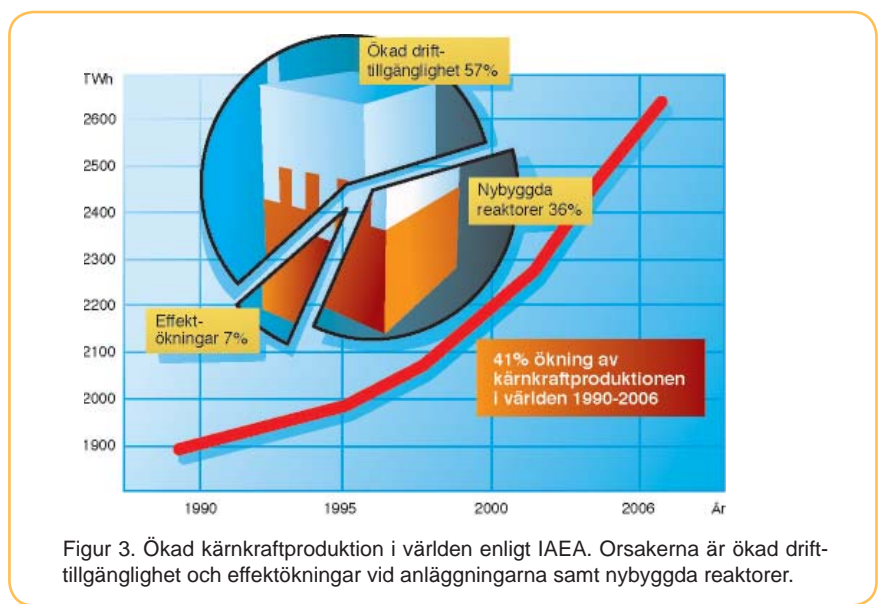
Kärnkraften är ingen förnyelsebar energikälla men den är praktiskt taget koldioxidfri. Ett kolkraftverk släpper ut närmare ett hundra gånger mer CO₂ per kWh. Om ett kolkraftverk ersätts med ett lika stort kärnkraftverk får man således en avsevärd reduktion av koldioxidutsläppen.

Under de senaste åren har från flera håll betonats att de förnyelsebara energikällorna inte under överskådlig tid kan rubba den dominans som fossila bränslen har som källa för världens elförsörjning, se Figur 1. Det behövs en kraftigt ökad

satsning på alla koldioxidfria kraftslag, inklusive kärnkraften. Dessa synpunkter har fått stöd i rapporter från FN:s klimatkommission, IPCC, som publicerades i november 2007 (ref. 5). Där säger kommissionen bland annat:

”A robust mix of energy sources including nuclear, will almost certain be required to meet the growing demand for energy services”.

Det är uppenbart att en reduktion av kärnkraften i världen skulle innebära påfrestningar för den globala målsättningen att minska koldioxidutsläppen.



Figur 3. Ökad kärnkraftproduktion i världen enligt IAEA. Orsakerna är ökad drifttillgänglighet och effektökningar vid anläggningarna samt nybyggda reaktorer.

Nya förbättrade reaktorer

De första kärnkraftverken i världen av västerländsk typ startade 1960 och nu finns över 300 sådana anläggningar i drift.

De kallas lättvattenreaktorer och finns i två utformningar, BWR (kokvattenreaktorer) och PWR (tryckvattenreaktorer). De flesta svenska reaktorer tillhör generation II medan de senaste två, Oskarshamn 3 och Forsmark 3, tillhör generation III.

Den samlade drifterfarenheten av världens BWR och PWR är ungefär 13 000 reaktorår. Denna stora erfarenhetsbas används systematiskt för att i flera avseenden förbättra kommande kärnkraftverk.

Förbättringar

- Ökad säkerhet med mycket låg risk för härdsmälta
- Minskad risk för utsläpp av radioaktiva ämnen till omgivningen om, trots allt, en härdsmälta inträffar
- Ökad säkerhet mot terrorattacker
- Bättre driftsäkerhet med hög tillgänglighet som följd
- Förbättrad driftekonomi
- Förbättrade möjligheter för underhåll och kontroll under drift och vid avställd reaktor
- Förbättrad översikt av processen i kontrollrummet (även vid icke-rutinmässiga förlopp)
- Kortare byggtid

Stora investeringar

Kraftindustrin och dess finansörer är med nödvändighet en konservativ bransch – ett kraftverk som beställs drar stora investeringar och avskrivningstiden är 40 år. Därför krävs att den utrustning man investerar i skall producera kraft med hög tillgänglighet under lång tid till konkurrenskraftiga priser.

Trots att helt nya reaktortyper är på gång kommer därför de kärnkraftverk som beställs under de närmaste cirka 10 åren baseras på en vidareutveckling av de gamla välkända västerländska lättvattenreaktorerna. De har fått beteckningen generation III+.

Helt nya reaktortyper tillhörande generation IV får vänta på kommersiell introduktion men utvecklingsarbete pågår på flera håll.

European Pressurized Reactor

Det nya kärnkraftaggregat som nu byggs i Finland och som beställdes 2005 är en förstorad och vidareutvecklad upplaga av de många tryckvattenreaktorer (PWR) som varit i drift i Frankrike under många år.

Reaktorn kallas EPR, European Pressurized Reactor, och levereras av AREVA som är ett konsortium bestående av franska Framatom ANP och tyska Siemens AG. Den har en effekt på 1 600 MW. 2006 beställdes en likadan anläggning i Frankrike.

EPR-systemet marknadsförs nu i flera länder, bland annat i Frankrike, Finland, USA och Storbritannien.

General Electric/Westinghouse

De två traditionella reaktorleverantörerna i USA, General Electric (BWR) och Westinghouse (PWR), har vidareutvecklat sina reaktorer. Några moderniserade BWR och PWR håller på att byggas i Sydostasien.

Även den kanadensiska tungvattenreaktorn CANDU har sålts under de senaste åren i Sydostasien men det är knappast troligt att det kommer att finnas en marknad för denna reaktortyp i USA eller Europa.

Pebblebedreaktorn

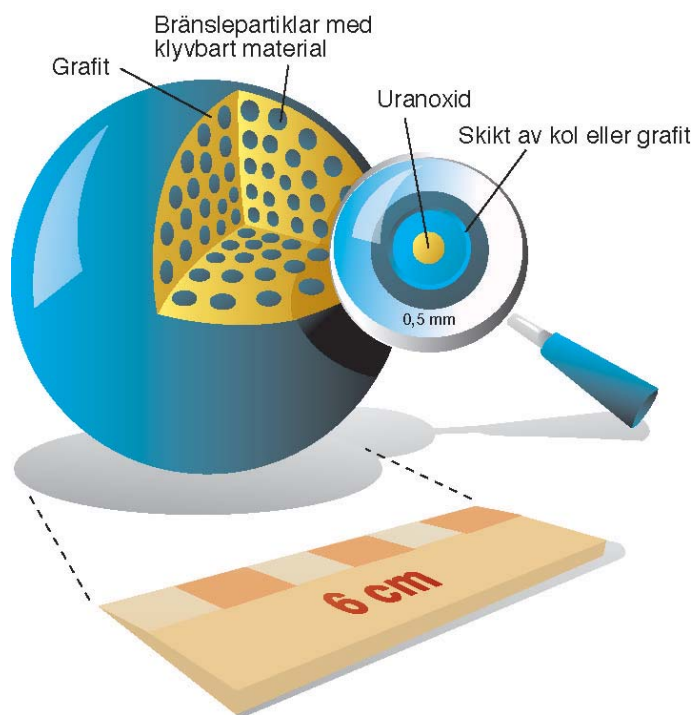
Den mest lovande reaktortypen tillhörande generation IV är den s.k pebblebedreaktorn (PBMR) som utvecklas av flera länder gemensamt. En prototyp håller på att byggas i Sydafrika. Bränslet är i form av klot något mindre än en tennisboll och består av uranoxid som omsluts av grafit, se Figur 4. Bränslet kyls med heliumgas under högt tryck.

PBMR är en vidareutveckling av den gaskylda högttemperaturreaktorn som tidigare utvecklats i Tyskland. Gasen från reaktorn som håller en temperatur på nära 1 000 °C leds direkt till en gasturbin med mycket hög verkningsgrad.

En viktig egenskap hos PBMR liksom hos alla reaktorer inom generation IV är att den har inbyggd passiv säkerhet. Det innebär att inget operatörsingripande behövs för att förhindra en härdsmälta i en extrem driftsituation.

PBMR är ingen bridreaktor men övriga reaktorer under utveckling som tillhör generation IV ger möjlighet till bridning (bridreaktor kommer från engelskans breed reactor som direkt översatt blir avelsreaktor).

Vid drift av en sådan reaktor nybildas fler klyvbara atomkärnor per tidsenhet än vad som förbrukas.



Figur 4. Ny typ av bränsle i pebble-bedreaktorn (PBMR)

Tre länder - en översikt

USA



104 kraftreaktorer i drift

Det största och äldsta kärnkraftsprogrammet finns i USA. Där är 104 reaktorer i drift med en totalt installerad effekt på drygt 100 000 MW, dvs 10 gånger mer än det svenska programmet.

Den totala kärnkraftproduktionen i USA år 2007 var 787 TWh med en kapacitetsfaktor på 89,6%.

Alla kärnkraftverk i USA startades med ett 40-årigt drifttillstånd från kärnsäkerhetsmyndigheten, NRC. Ett historiskt beslut mars 2000 förlängdes drifttiden till 60 år för två reaktorer i Calvert Cliffs. Sedan dess har ytterligare cirka 50 reaktorer fått 20 års förlängning av drifttillståndet och liknande beslut väntas för totalt 85 av de 104 reaktorerna.

Den senaste reaktorn som togs i drift var Browns Ferry 1, en PWR på 1150 MW. Den startades ursprungligen 1974 men ställdes av 1985. Efter ombyggnad och en effekthöjning återupptogs elproduktionen i maj 2007.

I USA planeras inom de närmaste åren beställning av sju nya kärnkraftaggregat och några år senare förväntas beställning av ytterligare 25 aggregat.

Reaktorolyckan i Harrisburg 1979 fick mycket stora konsekvenser för utbyggnaden av kärnkraften i USA. Inga nya reaktorer har beställts sedan olyckan, tvärtom har flera order annullerats. Och några reaktorer har stängts.

Men nu är industrin, myndigheterna och den federala administrationen inriktad på beställning av nya projekt inom kort med byggstart senast under 2010. Startåren för de första nybeställda kärnkraftaggregaten anges till 2015.

Ökad säkerhet och driftekonomi

Kärnkraftindustrin i USA blev omskakad av olyckan i Harrisburg och tog omgående viktiga strategiska beslut för att förbättra situationen. En allmän upprustning av ledningsfunktioner och säkerhetskultur följde. Även ägarstrukturen har förändrats så att färre kraftföretag äger fler kärnkraftverk.

Utvecklingen har så småningom lett till stora förbättringar av alla reaktorerers säkerhetsnivå och, delvis som bieffekt, en kraftig ökning av den årliga elproduktionen och av ekonomin.

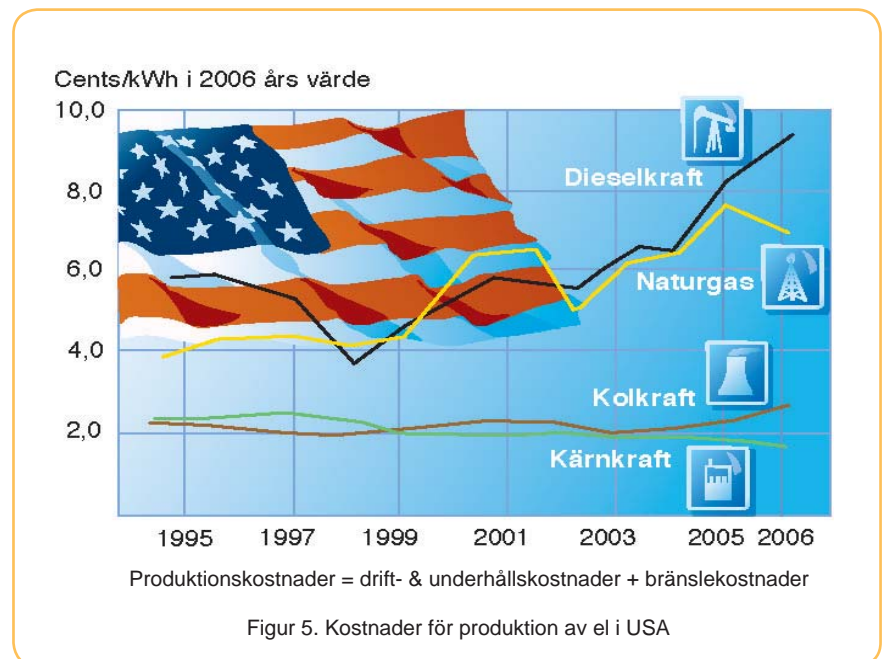
Kapacitetsfaktorn (den totala verkliga elproduktionen i procent av den maximalt möjliga) för ett kärnkraftverk är ett mått på drifteffektiviteten. Den har i USA ökat från 58 procent 1980 till 90 procent år 2007. Det betyder att kärnkraftproduktionen har dubblats under en tjuugoårsperiod utan att den installerade effekten ändrats.

Dessutom pågår sedan några år tillbaka en ökning av den installerade effekten vid existerande kärnkraftverk, ungefär på samma sätt som sker i Finland och i Sverige.

Bättre ekonomi

Förändringarna vid kärnkraftverken i USA har lett till väsentligt förbättrad driftekonomi. Sedan slutet av 1980-talet har kostnaderna per producerad kWh för drift, underhåll och bränsle (men exklusive kapitalkostnaderna) halverats.

Förbättringen av driftekonomin har gjort kärnkraften konkurrenskraftig med kol- eller gaskraft i hela USA. Bland de storskaliga elsystemen har kärnkraften den lägsta driftkostnaden (produktionskostnad minus kapitalkostnader) i USA, cirka 30 % lägre än för kolkraften, se Figur 5. Gaskraftens driftkostnad är tre gånger så stor som kärnkraftens. På den fria elmarknaden i USA efterfrågas sedan flera år tillbaka hela den möjliga kärnkraftproduktionen.



Elkraftutbyggnad

Investeringar som lett till ökning av kärnkraftverkens tillgänglighet och effekt liksom av deras livslängd har varit ekonomiskt väl motiverade. Det finns vissa möjligheter till fortsatt ökning av elproduktionen på detta sätt men taket kommer att nås inom några få år.

Samtidigt som elkonsumenterna långsiktigt ökar (50 procent ökning väntas under de närmaste 20 åren) behöver gamla kolkraftverk ersättas med nya

anläggningar. Ett stort program för utbyggnaden av elproduktionen i USA pågår därför sedan en tid.

Viss utbyggnad av förnyelsebara energikällor som vindkraft görs men kraftutbyggnaden har dominerats under de senaste åren av gaskraft. Skälet är att gaskraftverk är billiga att bygga även i små enheter och har kort avskrivningstid. De senaste årens prisökning på naturgas och förväntade kraftiga ytterligare

... tre länder - en översikt

fortsättning- USA



ökningar har dock minskat intresset för sådan utbyggnad. Därför är alternativen för storskalig utbyggnaden antingen kol eller kärnkraft.

Med tanke på klimateffekterna har intresset under de senaste åren ökat kraftigt för nybyggnad av kärnkraft.

Nuclear Power 2010

2002 inledde energimyndigheterna och kärnkraftindustrin ett gemensamt projekt – Nuclear Power 2010.

Avsikten var att skapa incitament för ett omfattande utvecklingsarbete inom industrin och att ta fram en procedur för myndighetsbehandling av nya kärnkraftprojekt, allt med sikte på byggstart av ett första nytt kärnkraftaggregat år 2010.

Department of Energy, DOE, startade hösten 2004 två projekt för att underlätta licensieringen av nya kärnkraftverk:

Nya kärnkraftverk

För första gången på närmare 30 år inlämnades i september 2007 en ansökan till NRC om tillstånd att uppföra nya kärnkraftaggregat i USA. Det var NRG Energy i Texas som ansökte om COL för 2 st ABWR (Se mittspalten).

Ett kombinerat tillstånd för byggstart och drift väntas under 2010. Driftstart planeras till år 2015.

Inom NRC (Nuclear Regulatory Commission) pågår för närvarande behandling av flera ansökningar av ESP och COL (se ovan). Olika kraftföretag har lämnat in ansökningar för följande typer av nya kärnkraftaggregat:

Allmänheten accepterar ny kärnkraft

Amerikanens syn på kärnkraften har mätts kontinuerligt under många år.

Sedan mitten av 1980-talet syns en stadig ökning av allmänhetens förtroende för kärnkraften. En av de frågor som ställts under många år lyder:

Håller Du helt och hållet med, delvis med, delvis emot eller helt och hållet emot

När kommer kärnkraftutbyggnaden att nystarta i USA?

Då projektet Nuclear Power 2010 formulerades insåg man att tillgången på kompetenta kärnkrafttekniker skulle bli ett problem.

- En procedur för "Early Site Permit" (ESP), dvs möjlighet att tidigt få bindande myndighetsgodkännande av platsval.

- Möjlighet för kraftföretagen att få "Combined Construction-Operating Licenses" (COL), det vill säga såväl bygg- som starttillstånd samtidigt, vilket eliminerar risken för försening av driftstarten på grund av en tidsödande formell myndighetsprövning.

Energy Policy Act 2005

2005 signerade president Bush den första Energy Policy Act på tio år. Lagstiftningen har stöd av båda partierna i kongressen. Den nya lagen innehåller bland annat följande:

- Price-Anderson Act förlängs ytterligare 20 år. Denna lagstiftning från 1960-talet innehåller ett åtagande av den federala staten att svara för visst ekonomiskt skydd av tredje man i händelse av en

allvarlig kärnkraftolycka.

- Federala lånegarantier till nya energi-anläggningar som inte släpper ut växthusgaser, bland annat kärnkraftverk och vindkraft. Lånegarantierna kan uppgå till 80 % av projektkostnaden.

- Stor federal satsning, 3 miljarder dollar, på utveckling av ny avancerad kärnkraftteknik. Med detta avses bland annat fjärde generationens reaktorer och avancerade avfallsbehandlingsmetoder.

- Minskad energiskatt på 1,8 cent/kWh för de första 6 000 MW ny kärnkraftproduktion under de första åtta driftåren.

- Federala garantier för räntekostnader vid försening utanför industrins kontroll av de första sex nya kärnkraftaggregaten.

- Nya krav på fysisk säkerhet vid terroristattacker mot kärnkraftverk.

- AP 1000, en PWR från Westinghouse på 1 100 MW (liknande byggs för närvarande bl.a. i Kina)

- ESBWR, en BWR från General Electric och japanska Hitachi på 1 550 MW

- EPR, en PWR från fransk/tyska Areva på 1 600 MW (liknande byggs för närvarande i Finland och Frankrike)

- APWR, en PWR från Mitsubishi på 1 700 MW (bygge planeras också i Japan)

- ABWR, en BWR på från General Electric och Hitachi på 1 300 – 1 500 MW (i drift i Japan och flera byggs bland annat i Taiwan)

Två Early Siting Permits (ESP) är färdigbehandlade (gäller ESBWR) och ett ärende pågår (gäller AP 1000).

Vid årsskiftet 2007/2008 hade åtta ansökningar om Combined Construction-Operating Licenses (COL) lämnats in. De avser fyra AP 1 000, två ABWR, en ESBWR och en EPR.

Under 2008 väntas ytterligare 15 – 20 Col att lämnas in till NRC.

NRC anger att behandlingstiden för en fullständig COL-ansökan är tre år.

följande påstående: Vi borde definitivt bygga fler kärnkraftverk i framtiden.

För tio år sedan svarade drygt 50 % att de inte höll med.

I den senaste mätningen, oktober 2007, svarade 62 % att de höll med och 32 % att de var emot påståendet om utbyggnaden av kärnkraften i USA.

Ett avgörande skäl för det kraftigt ökade intresset hos politiker och allmänhet för ny kärnkraft i USA är debatten om koldioxidproblemen.

USA har visserligen inte ratificerat Kyotoprotokollet men den offentliga diskussionen om växthuseffekten är lika livlig där som i Europa.

Därför har man lagt ner stor omsorg på utbildning och nyrekrytering både inom industrin och hos reaktorsäkerhetsmyndigheterna. Man ser en hel del

positiva effekter av ansträngningarna men det förefaller ändå som om just tillgången på tekniker blir den faktor som åtminstone inledningsvis kommer att bestämma utvecklingstakten.

Det är nu ingen tvekan om att målsättningen för Nuclear Power 2010 att minst ett kärnkraftbygge skall starta under 2010

kommer att uppfyllas med råge.

Ambitionen inom industrin pekar på närmare tio byggstartar under de närmaste tre – fyra åren. Bristen på kompetenta tekniker kommer dock troligen att något dämpa den optimism som finns.

Den målmedvetna satsningen i USA på ny kärnkraftutbyggnad görs med all sannolikhet inte bara för en expansion inom landet utan också med tanke på en väntad export av reaktorer till flera andra länder.

Storbritannien



19 kraftreaktorer i drift

Storbritannien startade utvecklingen av kärnkraft tidigt och redan 1956 togs det första kraftverket i drift. Reaktorn var gaskyld med naturligt metalliskt uran som bränsle och grafit som moderator, typen kallades Magnox. Ett stort antal sådana har byggts men de flesta är nu nerlagda. De fyra sista kommer att stängas inom några få år.

Under 1980-talet utvecklades och byggdes en ny typ av gaskyld reaktor, AGR, Advanced Gas Cooled Reactor, varav 14 stycken är i drift.

I mitten av 1980-talet övergavs utbyggnaden av gaskylda reaktorer och en första PWR beställdes. Dess effekt är 1 200 MW och kommersiell drift startade 1995. Meningen var att flera PWR skulle beställas men planerna övergavs då nya stora gasfyndigheter upptäcktes i Nordsjön.

Nu finns 19 kärnkraftaggregat i drift med en sammanlagd effekt på 11 000 MW, samma storleksordning som det svenska programmet. Total elproduktion 2006 var 380 TWh, varav 69 TWh var kärnkraft. Nettoimporten av el är sedan några år drygt 10 TWh/år.

Närmare en tredjedel av alla gamla kraftverk (kol och kärnkraft) behöver ersättas senast 2020. Dessutom ökar elförbrukningen med 1,5 procent per år sedan 1990.

2003 publicerade Labourregeringen en vitbok om den framtida energiförsörjningen i Storbritannien. Enligt denna skulle elförsörjningen baseras på gaskraft (bland annat som ersättning för gamla kolkraftverk) och en stor vindkraftutbyggnad. Ökningen av elförbrukningen skulle minskas eller elimineras genom en mera effektiv användning av elektricitet.

Ny kärnkraft ansågs vara ointressant.

Storbritannien är numera nettoimportör av naturgas och gaspriset ökar. Utbyggnaden av gaskraft anses därför inte kunna fortsätta och det är inte troligt att förnyelsebara energikällor kan byggas i den takt som behövs. Därför togs frågan om utbyggnad av kärnkraften upp till en bred diskussion under 2005.

Efter parlamentsvalet i maj 2005, som gav Tony Blair en tredje mandatperiod i rad, har en öppen debatt om kärnkraftens utbyggnad tagit fart. I september ifrågasattes den stora satsningen på vindkraft i en rapport "The Economics of Climate Change" publicerad av ett utskott inom överhuset.

2006 publicerades en ny Energy Review Report innehållande en klar rekommendation att satsa på en omfattande program för ny kärnkraft parallellt med fortsatt utbyggnad av förnyelsebara kraftslag. Rapporten har sedan diskuterats öppet i ett omfattande rådslag ("The Consultation Process").

A White Paper on Nuclear Power

I januari 2008 presenterade den brittiska regeringen "A White Paper on Nuclear Power" (ref. 12), Figur 6, med följande sammanfattande syn på kärnkraften:

Enligt regeringens slutsats är kärnkraften

- Koldioxidsnål - den bidrar till att minimera skadliga klimatförändringar

- Ekonomisk ("affordable") – den är för närvarande en av de billigaste koldioxidsnåla teknologierna för elgenerering, vilket innebär att den bidrar till att våra mål uppnås på ett kostnadseffektivt sätt

- Pålitlig – en utprovad teknologi med moderna reaktorer som kan generera el på ett tillförlitligt sätt

- Säker – då den backas upp med ett mycket effektivt regelsystem

- Kapabel att öka mångfalden och att minska vårt beroende av en enda teknologi eller av andra länder för vår försörjning av energi och bränsle

Efter beredningar i departement och myndigheter väntas beslut om en ny nationell energipolicy under hösten 2009. Då



Figur 6. www.berr.gov.uk

... tre länder - en översikt

fortsättning- Storbritannien



kommer det att finnas detaljerat beslutsunderlag för intresserade kraftföretag. Byggstart för de första kärnkraftverken väntas om några år och driftstart år 2018.

De nya kraftverken kommer att byggas av British Energy (BE) men också av flera av de kraftbolag som nu finns i bland annat Frankrike och Tyskland. Olika former av delägarskap kommer troligen att utvecklas. Förhoppningarna är att fyra – till fem nya kärnkraftaggregat skall vara i drift senast år 2020.

I första hand skall gamla platser för kärnkraft användas för nybyggda reaktorer.

Den brittiska kärnkraftmyndigheten NII (Nuclear Installations Inspectorate) kommer i fortsättningen att använda samma typ av licensieringsförfarande som införts i USA.

Sedan våren 2007 granskar NII flera olika nya reaktorkonstruktioner:

- Westinghouse's AP 1000. Westinghouse tar fram licensieringsunderlag i samarbetar med kraftföretagen BE och E.ON.
- Areva's EPR. Areva samarbetar med det franska kraftföretaget EdF.

• General Electric – Hitachi's ESBWR. Samarbete sker med BE och det tyska kraftföretaget RWE npower.

Våren 2008 beslöt de franska och engelska regeringarna om ett omfattande samarbete för att utveckla den nya franska reaktorn EPR.

Den brittiska regeringens nya ställningstagande om kärnkraften innebär också att den hittillsvarande inriktningen på uppbyggnad av det använda bränslet överges.

I stället skall avfallstekniken inriktas på den typ av slutförvar som utvecklats i Sverige.

Tyskland



17 kraftreaktorer
i drift

I motsats till övriga länder som behandlas i denna rapport har Tyskland beslutat att utveckla sitt kärnkraftprogram.

År 2006 var Tysklands hela elproduktion 505 TWh, varav 160 TWh producerades i kärnkraftverk. Kolkraft svarar för 50 % av elproduktionen jämnt fördelat på stenkolk och brunskolk. Hälften av Europas vindkraftkapacitet finns i Tyskland och vindkraften svarade 2006 för 4,8 % av elproduktionen.

Tysklands två första kommersiella kärnkraftverk startade år 1968 och de två senast byggda togs i drift år 1988. För närvarande finns 17 kärnkraftaggregat i drift med en total installerad effekt på 20 400 MW. De flesta aggregaten är ovanligt stora, tio har en effekt på över 1 300 MW

Alla politiska partier var eniga om kärnkraftuppbyggnaden men Tjernobylolyckan innebar att enigheten bröts. Det Socialdemokratiska Partiet (SPD), då i opposition, beslöt 1986 att kärnkraften skulle avvecklas inom tio år.

Vid återföreningen 1990 mellan forna Väst- och Östtyskland stängdes i politisk enighet alla kärnkraftverk i öst – fem PWR av rysk typ. Skälet var att de inte uppfyllde myndigheternas grundläggande krav på reaktorsäkerhet och en ombyggnad ansågs som ekonomiskt orealistisk.

1998 fick SPD och De Gröna majoritet i Förbundsdagen och bildade en koalitionsregering.

Kärnkraftmotståndet i Tyskland var under 90-talet omfattande, tidvis med militanta inslag, och ökade efter regeringsskiftet.

Sabotage av bränsletransporter

Transporterna per järnväg av använt bränsle från de tyska kärnkraftverken till den franska uppberedningsanläggningen LeHague saboterades under många år bland annat genom att grupper av motståndare kedjade sig fast vid varandra och vid rälsen. En del av transporterna försenades och så småningom inställdes flera transporter. Resultatet blev att kraftverkens egna bassänger för lagring av använt bränsle fylldes med risk för långa driftavbrott.

Myndigheterna politiserades och ingreppen mot demonstranterna gjordes inte med full kraft. I denna atmosfär inledde regeringen förhandlingar med kraftindustrin om ett program för avveckling av kärnkraften på "marknadens villkor".

"Marknadsmässig avveckling"

Mot bakgrund av hotet att behöva stänga flera kärnkraftverk på grund av fyllda bränslebassänger skrev kraftindustrin i juni 2001 under en överenskommelse om ett sådant program. I april 2002 beslöt Förbundsdagen om en lag med samma innehåll som överenskommelsen.

Överenskommelsen innebär att indu-

strin själv bestämmer vilken reaktor som skall stängas och tidpunkten, därav begreppet "marknadsmässig avveckling". Hela avvecklingen måste emellertid ske inom den övergripande givna ramen, som definieras på följande sätt:

- Varje reaktor ges en nominell drifttid på 32 år.
- Den tillåtna totala kärnkraftproduktionen är summan av den årliga kärnkraftproduktionen multiplicerad med 32 (år). Den erhållna summan ökas med 5 % för att ta hänsyn till ökad drifttillgänglighet och effekthöjningar.

Den enda reaktor som stängts enligt denna överenskommelse är Obrigheim, en PWR på 340 MW som startade 1965. Driften avbröts den 11 maj 2005.

Vattenfall AB är via sitt tyska dotterbolag Vattenfall Europe – Nuclear Energy majoritetsägare till Brunsbüttel (andel 66,7%) och Krümmel (50 %). Vattenfall svarar för driften av bägge anläggningarna. Vattenfall äger också 20 % av Brokdorff, som majoritetsägs och drivs av E.ON.

Inget skadestånd

Då Barsebäck stängdes i Sverige enligt den svenska avvecklingslagen betalade svenska staten fullt skadestånd till ägarerna.

I Tyskland däremot var det möjligt för den rödgröna koalitionsregeringen att få fram en överenskommelse utan några ekonomiska ersättningskrav från industrin eftersom alternativet – risk för

omfattande och långvariga driftavbrott – var sämre. Det är ingen överdrift att påstå att överenskommelsen var en uppgörelse under galgen.

Inför valet den 18 september 2005 fanns förhoppningar inom kraftindustrin om ett regeringsskifte eftersom Kristdemokratiska Partiet (CDU) utlovat att avvecklingslagen skulle tas bort efter en valseger.

Valet ledde emellertid till bildandet av en stor koalition mellan CDU och SPD. Beslutet om avveckling finns kvar och någon ändring tycks inte trolig under de närmaste åren.

Om avvecklingsbeslutet inte modifieras kommer fyra stora kärnkraftsaggregat med en sammanslagen effekt på nära 4 000 MW att stängas fram till slutet av år 2009. Det skulle innebära en akut bristsituation och behov av kraftigt ökad elimport.

De tyska kraftföretagen hoppas att lagstiftningen skall ändras så att den angivna genomsnittsåldern på 32 år initialt skall ändras till 40 år och därefter till 60 år som numera gäller för många kärnkraftsaggregat i USA.

Slutord

Utbyggnaden av ny kärnkraft har kommit igång i några europeiska länder och inom kort väntas USA följa efter.

De reaktorer som beställts och som väntas bli beställda inom de närmaste åren tillhör generation III+ men är av samma grundläggande typ som exempelvis Forsmark 3 och Oskarshamn 3, som tillhör generation III. De kommer dock att förses med en del viktiga förbättringar av säkerheten och drifekonomin.

De reaktorer tillhörande generation IV som håller på att utvecklas torde inte komma på marknaden under de närmaste femton till tjugo åren.

Nyintroduktionen på kärnkraftmarknaden innebär stora påfrestningar både på reaktortillverkare och beställare. Därför ser man klara tendenser till ökat samarbete. I Europa har till exempel franska Framatom tagit fram EPR i samarbete med tyska Siemens och i

Tabell 1. Tyska kärnkraftverk i drift årsskiftet 2007/2008

Anläggning	Typ	MWe (netto)	Startår	Provisoriskt stängningsår*
Biblis – A	PWR	1167	1975	2008
Neckarwestheim -1	PWR	785	1976	2009
Brunsbüttel	BWR	771	1977	2009
Biblis – B	PWR	1240	1977	2009
Unterweser	PWR	1345	1979	2012
Isar – 1	BWR	878	1979	2011
Pillipsburg – 1	BWR	890	1980	2012
Grafenrheinfeld	PWR	1275	1982	2014
Krümmel	BWR	1260	1984	2016
Gundremmingen – B	BWR	1284	1984	2016
Gundremmingen – C	BWR	1288	1985	2017
Grohnde	PWR	1360	1985	2017
Phillipsburg - 2	PWR	1392	1985	2018
Brokdorff	PWR	1370	1986	2019
Isar – 2	PWR	1400	1988	2020
Emsland	PWR	1329	1988	2021
Neckarwestheim – 2	PWR	1305	1989	2022
Totalt 17 st		20 339 MWe		

* Det provisoriskt bestämda stängningsåret har angetts som 32 år efter startåret. Enligt avvecklingslagen kan dock kraftföretagen gemensamt bestämma om andra individuella stängningsår förutsatt att man ligger inom den av lagen definierade ramen.

Osäkerheten om fortsatt kärnkraftdrift i Tyskland har ökat de tyska kraftföretagens intresse för att teckna långtidskontrakt om elleveranser från den nya

franska reaktorn som skall tas i drift 2012. Dessutom byggs nu flera nya kraftledningar för att möjliggöra ökad import av el från utlandet.

USA marknadsförs förbättrade BWR av General Electric tillsammans med japanska Hitachi.

Även bland beställarna har sammanslagningar skett i USA, och i Storbritannien förbereds samarbete mellan British Energy och tyska eller franska kraftföretag.

Dessutom gör i USA i flera fall reaktorleverantörer och beställare det förberedande licensieringsarbetet tillsammans.

Det nyvaknade intresset för ny kärnkraft har också aktiverat urangruveindustrin. Prospektering efter nya fyndigheter har startats i flera olika länder. Det är ingen tvekan om att ett antal nya urangruvor kommer att öppnas i god tid före starten av de första nybyggda reaktorerna.

Trots en stor pågående utbyggnad av elproduktionen från förnyelsebara

energikällor och alla planer på ny kärnkraft i Asien, USA och Europa spåras ännu ingen global tendens till en verklig minskning av elproduktionen med fossila bränslen.

Koldioxidavskiljning och lagring (Carbon Capture and Storage, CCS) utgör en möjlighet på sikt att reducera klimatpåverkan från fossileldade kraftverk.

Ur klimatsynpunkt måste med nödvändighet en vändning ske inom elsektorn, men hur och när den kommer till stånd utgör tillsvidare en genuin osäkerhet.

Carl-Erik Wikdahl

carl-erik@wikdahl.se

Illustrationer: **Lasse Widlund**

lasse.widlund@swipnet.se

Fotobyline: Stocktrek/Corbis/Scanpix

Referenser och läsanvisningar

1. Klimatet och kärnkraften, av Gunnar Hovsenius. Bakgrund nr 2, 2007, utgiven av Analysgruppen vid KSU.
2. Är kärnkraften säker?, av Carl-Erik Wikdahl. Bakgrund nr 1, 2004, utgiven av Analysgruppen vid KSU.
3. Kärnsäkerhetskonventionen, av Lars Högberg. Bakgrund nr 2, 2006, utgiven av Analysgruppen vid KSU.
4. Uran – en uthållig energikälla, av Carl-Erik Wikdahl. Bakgrund nr 1, 2005, utgiven av Analysgruppen vid KSU.
5. www.ipcc.ch är den internationella klimatkommissionens (Intergovernmental Panel on Climate Change) hemsida.
6. www.iea.org är en hemsida med omfattande energistatistik både nationellt och internationellt. Den publiceras av International Energy Agency, IEA.
7. www.iaea.org är IAEAs omfattande hemsida om kärnenergi. Där finns också ett ständigt aktuellt officiellt informationssystem om alla kärnkraftverk i alla länder, Power Reactor Information System, PRIS, som kan nås direkt via www.iaea.org/programmes/a2
8. www.world-nuclear.org innehåller en omfattande ständigt färsk rapportering om kärnkraftsituationen i världen. Den tillhör World Nuclear Association som är ett gemensamt branschorgan för kärnkraftindustrin.
9. www.doe.gov är en hemsida tillhörande US Department of Energy. Sidorna om kärnkraftsprogrammet nås direkt via www.ne.doe.gov
10. www.nrc.gov är hemsidan tillhörande Nuclear Regulatory Commission, som är USA:s motsvarighet till SKI i Sverige.
11. www.nei.org innehåller detaljerad beskrivning av kärnkraftutvecklingen i USA. Den tillhör Nuclear Energy Institute som är branschorganet för kärnkraftindustrin i USA.
12. www.berr.gov.uk tillhör Department for Business Enterprise & Regulatory Reform i Storbritannien. Där finns A White Paper on Nuclear Power från januari 2008 tillgänglig för läsning och nerladdning.

Kärnkraftsäkerhet och Utbildning AB (KSU)

Kärnkraftsäkerhet och Utbildning AB (KSU) är ett företag inom Vattenfallkoncernen som ansvarar för vissa gemensamma säkerhets- och utbildningsfrågor på uppdrag av Forsmarks Kraftgrupp AB, OKG Aktiebolag och Ringhals AB.

KSU utbildar driftpersonal vid egna lokalkontor i Forsmark, Oskarshamn och Ringhals. Personalen tränas i reaktorsimulatorer och får teoretisk utbildning i kärnteknik. Underhållspersonal utbildas vid KSUs lokalkontor i Barsebäck

KSU utvärderar störningar som inträffat i svenska och utländska kärnkraftverk och är den svenska länken i ett internationellt nätverk för utbyte av drifterfarenheter.

Företaget svarar genom Analysgruppen för vetenskapligt grundad samhällsinformation inom kärnkraftområdet.

Analysgruppen vid KSU

Analysgruppen är en självständigt arbetande expertgrupp som följer samhällsdebatten om kärnkraft och strålning. Genom KSU är gruppen knuten till kraftindustrin. Gruppen utser själv sina ledamöter efter vetenskaplig kompetens, branschfarenhet och personligt engagemang.

Huvuduppgiften är att sammanställa och analysera fakta kring frågor som kommer upp i samhällsdebatten med anknytning till reaktorsäkerhet, strålskydd, radiobiologi och riskforskning.

Gruppen redovisar resultaten främst genom publikationerna Bakgrund- och Fakta-serierna som också är tillgängliga på Internet: www.analys.se

Hemsidan täcker området kärnkraft i Sverige och utomlands och har även ett omfattande länkbibliotek.

Hans Ehdwall, fil.kand, international scientific analysis, KSU

Yngve Flodin, civilingenjör, reaktorsäkerhetsexpert, Elproduktion Norden, Vattenfall AB

Lasse Kyläkorpi, fil. mag, miljösamordnare, Elproduktion Norden, Vattenfall AB

Martin Luthander, civilingenjör, public affairs Elproduktion Norden, Vattenfall AB

Mats Harms-Ringdahl, professor, strålningsbiolog, Stockholms universitet

Gunnar Hovsenius, tekn lic, energi/miljöfrågor, Hovsenius Konsult AB

Carl-Göran Lindvall, ingenjör, strålskyddsövervakare, Barsebäck Kraft AB

Anders Pechan, informationskonsult

Edvard Sandberg, civilingenjör, Svensk Energi

Carl-Erik Wikdahl, civilingenjör, konsult, Energikommunikation AB
