

# 20 år efter Tjernobyl – har kärnkraften blivit säker?

Björn Wahlström  
Statens tekniska forskningscentral  
PB 1000, FIN-02044 VTT (Esbo)  
Finland

## 1 INLEDNING

Kärnkraft används i 30 länder i världen för att generera el. Totalt har reaktorerna producerat mer än 50000 TWh och de har således en viktig position i dessa länders elförsörjning. Kärnkraften är dock en kontroversiell teknologi och få reaktorer har byggts under de senaste 25 åren. Motståndet mot kärnkraft har många orsaker, men den kanske viktigaste är de reaktorolyckor som inträffat först på Three Mile Island anläggningen i USA och sedan på Tjernobyl anläggningen i Ukraina. Av dessa var Tjernobyl-olyckan den allvarligaste och den ändrade med ett slag inställningen till kärnkraft i många länder. Idag 20 år senare ser man dock ett vaknande intresse för att bygga ny kärnkraft. Det är därför intressant att fråga sig vad som har hänt sedan våren och sommaren år 1986.

## 2 TJERNOBYL OLYCKAN

Tjernobyl olyckan har beskrivits mycket detaljerat i många olika sammanhang och en bra beskrivning kan hittas i två dokument som International Atomic Energy Agency (IAEA) har publicerat [1], [2]. Den första rapporten kom till mycket snabbt efter olyckan genom ett samarbete mellan ett hundratal experter från många länder. Den andra rapporten är en uppdatering av den första.

### 2.1 Vad hände

På natten den 25 april 1986 började man förbereda sig på att köra ner den fjärde reaktorn i Tjernobyl för årlig revision. Under nerkörningen var det meningen att man skulle företa ett utrullningsexperiment med en av turbogeneratorerna för att se hur länge man i praktiken från den egna anläggningen kunde få elförsörjning för viktiga system. Under dagen börjar allting vara klart, men så får man en begäran från nätcentralen att man skall vänta med experimentet för att man har elbrist i nätet. I kontrollrummet går man med på att fortsätta produktionen, men man har inte räknat med att minskningen i reaktoreffekten redan medfört en xenon-transient som gör att reaktoreffekten fortsätter att sjunka.

Under resten av dagen och kvällen gör man allt för att hålla kvar reaktorns effekt, vilket i praktiken betyder att man till slut dragit ut alla styrstavar ur reaktorn. Vid midnatt har man lyckats stabilisera reaktorns termiska effekt på ca. 720 MW och man beslutar sig för att starta experimentet. Reaktorns kontrollmod ändras varvid effekten faller momentant, men man lyckas stabilisera reaktorns termiska effekt på 200 MW. Utrullningsexperimentet startas klockan ett på morgonen den 26 april, men reaktorn uppförs sig inte som man väntat sig, så att 20 minuter senare trycker man på reaktorns snabbstoppsknapp. Inom loppet av några få

sekunder hörs en kraftig explosion som en kort stund senare följs av en ny explosion. Olyckan är ett faktum.

## 2.2 Orsaker till olyckan

Liksom alla andra större olyckor hade inte Tjernobylyckan en orsak, utan ett flertal orsaker som samverkade. Ett vanligt sätt att se på en händelse är att särskilja mellan en förhistoria, ett olycksförlopp och ett efterspel.

### 2.2.1 En förhistoria

Tjernobyl reaktorn var inte säker i den mening som man i väst har förstått begreppet. En av orsakerna är sannolikt att reaktorn inte var tänkt uteslutande för civil energiproduktion, utan den var avsedd att vid behov kunna användas för att producera plutonium för vapenindustrin. Vi vet också att det fanns två konkurrerande reaktorutvecklingar i Sovjetunionen (VVER, RBMK), som vardera fick ett varierande stöd i den politiska hierarkin. Brister i konstruktionen av RBMK reaktorerna hade påtalats i olika rapporter, men ingenting hade gjorts. Utrullningsexperimentet planerades utan insikt i reaktorns konstruktion och operatörerna kände inte till riskerna med att driva reaktorn med en termisk effekt runt 700 MW. Snabbstoppsystemet hade en konstruktion som vid ett snabbstopp tillförde reaktivitet och således i det kritiska ögonblicket momentant höjde reaktorns effekt i stället för att sänka den.

### 2.2.2 Händelserna från explosionerna fram tills branden kunde släckas

Explosionerna förstörde reaktorbyggnaden totalt och frilade reaktorhärden. Rök och heta gaser förde upp radioaktivitet till en höjd av cirka två kilometer varifrån den i olika etapper spreds ut över hela världen. Eld bröt ut på taket av turbinbyggnaden och alarm gick till brandkårer i trakten. Grafiten i reaktorn, som används som moderator, började också brinna. De första brandmännen anlände till platsen några minuter efter explosionen, men de hade ingen erfarenhet av radioaktivitet. Man försökte släcka elden med vatten, vilket gjorde att radioaktivt material sköljdes ut ur byggnaden. Redan samma dag fick flera av brandmännen symptom på akut strålningssjuka.

Från den 27 april till den 10 maj flög flygvapnet med helikoptrar över den frilagda och brinnande reaktorhärden och fällde ner tonvis med bor, lera, sand, kalk och bly. Man lyckades förhindra att smältan bröt sig igenom till den pöl av vatten som bildats under reaktorbyggnaden genom att frivilliga militärer installerade en pumpanläggning för vattnet och göt betong i håligheterna under reaktorn. De beredningsplaner man hade på anläggningen och i det lokala samhället var inte alls anpassade till den olycka som inträffade. Evakueringen kom igång den 27 april och man bestämde sig i första skedet för en evakueringszon med en 10 kilometers radie, som den 2 maj utsträcktes till 30 kilometer. Denna evakuering var slutförd den 6 maj.

### 2.2.3 En efterhistoria

Man bestämde sig för att starta de tre andra enheterna i Tjernobyl så snart som det bara var möjligt. Detta skedde innan man ens hade en klar uppfattning om vilka orsakerna till olyckan var och trots att området kring de fyra enheterna var kraftigt kontaminerat. Orsaken till beslutet var tydligen att man hade ett stort underskott på elektricitet i regionen, men sannolikt spelade även en önskan in från myndigheterna att för befolkningen kunna demonstrera en

snabb återgång till det normala. Enheterna 1 och 2 kom tillbaka på nätet i slutet av 1986 och den tredje enheten i början av år 1987.

För att skydda omgivningen bestämde man sig för att bygga ett slags sarkofag runt den förstörda reaktorbyggnaden. För att underlätta detta skalade man av kontaminerad jord runt reaktorbyggnaden och asfalterade hela området. Sarkofagen blev färdig i mitten av november 1986. Man installerade mätinstrument i sarkofagen, med vilka man sedan dess kontinuerligt följer både strålning och temperaturer.

Efter olyckan har man infört många förbättringar på alla reaktorer av RBMK typ. Man har t.ex. minskat risken för okontrollerad effektökning med en faktor på sex, man har ökat responstiden för reaktorskyddet med en faktor på två, oberoende skyddssystem har installerats som ger en förbättring med en faktor på tolv, osv. Ändringar har dock samtidigt resulterat i en minskning på 8 % av anläggningarnas ekonomiska effektivitet. Reactorerna i Tjernobyl stängdes för gott åren 1996, 1991 och 2000. Den första reaktorn av samma typ i Litauen stängdes år 2004 och den andra reaktorn på samma plats i Ignalina planerar man att stänga före år 2010. Totalt var 16 reaktorer av samma typ som reaktorn i Tjernobyl i drift i slutet av år 2005.

## 2.3 Hur man ser på olyckan idag

Tekniskt sett har man idag en mycket god bild av de flesta detaljer i olyckans förlopp, men den totalbild som sätts samman av hälso-, ekonomiska och sociala konsekvenser är mera kontroversiell. En mycket utförlig beskrivning finns i en rapport som publicerats av det så kallade internationella Tjernobyl projektet [3], [4].

### 2.3.1 Hälsokonsekvenser

Akut strålsjuka diagnostiserade hos 237 personer och av dem dog 28 personer under 1986 och ytterligare 19 personer under åren 1987 till 2004 [5]. Nästan 300000 hjälparbetare deltog i uppstädningen under åren 1986-87 och mer än en halv miljon under åren 1988-89 [6]. Dessa fick dock så små doser att man i dessa grupper inte kan beräkna dödsfallen som olyckan förorsakade annat än med statistiska metoder. Totalt har man dock uppskattat att Tjernobylolyckan under de första 10 åren har förorsakat ungefär 400 dödsfall. Om man räknar med att en person kunde ha levt till 95 år, blir uppskattningen att ungefär 7500 personer har fått eller kommer att få en för tidig död.

Relativt säkert är att olyckan har förorsakat en ökning av sköldkörtelkräfta som uppgår till mer än 4000 fall. Man har också tyckt sig se en ökad förekomst av leukemi hos dem som utsatts för strålning, men det har varit svårt att hitta ett klart samband mellan dos och en ökad risk för att insjukna. Man kan möjligen spåra en påverkan i olika syn-, hjärtkärls- och ärftliga sjukdomar, men denna inverkan kan också hänga ihop med andra orsaker såsom stress, osäkerhet och ekonomisk misär.

### 2.3.2 Ekonomiska, sociala och miljökonsekvenser

Initialt evakuerades från radioaktivt kontaminerade områden mera än 100000 personer och totalt steg denna siffra senare till 350000 personer. Dessutom lever fortfarande uppskattningsvis 4,5 miljoner människor på områden som klassas som kontaminerade. En uppskattning är att mera än 7 miljoner människor direkt har påverkats av olyckan [7].

Det är uppenbart att olyckan utöver direkta hälsokonsekvenser har haft mycket stora konsekvenser för ekonomin, samhället och miljön i de drabbade områdena. Utanför Ukraina, Vitryssland och Sovjetunionen har dessa konsekvenser varit marginella. Totalt har olyckan

försakat kostnader för ett tusental miljarder dollar av vilka t.ex. Ukraina under åren 1992-2000 uppskattar sina kostnader för att hjälpa dem som drabbats av olyckan till 5,4 G\$. Motsvarande uppskattar Vitryssland sina totala kostnader över en trettioårsperiod till totalt 235 G\$ [8].

En följd av olyckan är en uppgivenhet och en kontinuerlig oro hos befolkningen i de drabbade områdena. Denna har antagligen ett större inflytande på vad man kan göra för att lindra olyckans konsekvenser än de verkliga farorna som den radioaktiva kontamineringen medför. Det är dock klart att olyckan i stor utsträckning har brutit ner samhällsstrukturen i de drabbade områdena. Ytterst kan man kanske säga att olyckan bidrog till att det kommunistiska systemet bröt samman i länderna bakom den dåvarande järnridån.

### 2.3.3 Fortsatta åtgärder

Det har funnits en stor internationell uppslutning för att förstå olyckans förlopp och lindra dess konsekvenser. Först och främst har det varit en enorm uppslutning av specialister från olika områden som deltagit för att analysera olika detaljförlopp och för att föreslå motåtgärder. De åtgärder som man på grund av olyckan företagit på kärnkraftverken i världen har på många sätt bidragit till att göra kärnkraften mera säker.

Fortsatta åtgärder är att vänta för att bygga en bättre inneslutning för den förstörda reaktorn. Man har också en noggrann uppföljning av vad som händer i de kraftigast besmittade områdena, som syftar till att skapa en bättre förståelse av radioekologiska förhållanden när strålningen småningom klingar av. De miserabla socioekonomiska förhållandena i de drabbade områdena är dock i det stora hela glömda internationellt.

## 3 KÄRNKRAFTENS SÄKERHETSTÄNKANDE

Kärnkraftens säkerhetstänkande har vuxit fram gradvis sedan den första kommersiella reaktorn togs i drift år 1956. Utvecklingen har inte gått kontinuerligt, utan det har ofta varit incidenter och olyckor som har förmedlat en insikt om nödvändiga förbättringar. Kärnkraftens säkerhet idag grundar sig på ett deterministiskt och probabilistiskt tänkande. Man identifierar olika hot mot säkerheten och försöker först eliminera dem, sedan förhindra och kontrollera dem och till sist lindra konsekvenserna om hoten faktiskt skulle realiseras.

### 3.1 Grunderna för kärnkraftens säkerhetstänkande

Inom kärnkraftbranschen talar man mycket om ett så kallat djupförsvaret [9], som innebär att man ställer upp ett antal oberoende barriärer mot oönskade händelser. I praktiken realiseras djupförsvaret på många olika sätt, t.ex. så att bränslekapslingen, primärkretsen och inneslutningen är barriärer som hindrar utsläpp av radioaktivitet. De aktiva säkerhetssystem, kontrollsystemen och operatörerna i kontrollrummet utgör en annan del av djupförsvaret.

Den deterministiska säkerhetsanalysen använder sig av så kallade dimensionerande händelser där man går igenom olika typer av händelser och försäkras om att anläggningen klarar av dem. Det att en anläggning kan klara olika felfunktioner utan konsekvenser, bygger på att barriärer och säkerhetssystem är försedda med redundans och diversitet. En viktig dimensionerande princip är enkelfelskriteriet, som förutsätter att inget enskilt fel skall få utgöra ett hot för säkerheten. I kontrollrummet tillämpar man allmänt den så kallade rådruksregeln som betyder att operatörerna vid en allvarlig störning skall ha minst 30 minuter på sig för att analysera situationen och bestämma sig för motåtgärder.

Den probabilistiska säkerhetsanalysen används på ungefär samma sätt som den deterministiska så att man söker efter situationer som innebär ett hot mot säkerheten och sedan med olika motåtgärder försöker hindra att de inträffar. I praktiken görs en probabilistisk säkerhetsanalys så att man konstruerar olika händelsekedjor i vilka man gör en bedömning av hur sannolika olika typer av fel är. Man kan då beräkna t.ex. sannolikheten för att en härdsmläta skall inträffa genom att summera över de felkedjor som leder till en sådan.

### **3.2 Viktiga komponenter i säkerheten på anläggningarna**

Säkerheten på anläggningarna byggs upp på många sätt. Först och främst naturligtvis genom att se till att anläggningarna till sin grundkonstruktion är säkra. Därefter måste man se till att de som driver anläggningen är tillräckligt kunniga för sin uppgift. Den utbildning man ger åt driftpersonalen sker i simulatorer som ger en möjlighet att öva sig också på komplicerade och riskfyllda händelseförlopp. Genom att alla anläggningar i världen är engagerade i en systematisk erfarenhetsåterföring försöker man se till att oväntade händelser bidrar till en ständigt ökande kunskapsbas. Sist men inte minst har man explicit utskrivna ledningssystem, som tvingar fram ett systematiskt och långsiktigt säkerhetsarbete.

Säkerhetsarbetet kräver att man är medveten om vilka hot mot säkerheten som fortfarande kvarstår. Rent tekniskt finns det alltid en möjlighet att fel med en gemensam orsak samtidigt kan slå ut flera av skyddsbarriärer. Vidare är det uppenbart att brister i kontaktytan mellan användarna och de tekniska systemen kan göra felhandlingar mera sannolika. Organisatoriska brister kan i sin tur föra med sig att de återkopplingar man måste ha för att ständigt förbättra sig inte fungerar på ett önskat sätt.

Efter Tjernobyl olyckan introducerades begreppet säkerhetskultur av IAEA och det väckte genast ett internationellt intresse [10]. IAEA har sedan i flera publikationer förklarat vad man menar med begreppet och säkerhetskultur är numera ett honnörssord i de direktiv för ledningssystem som man har utfärdat. Trots alla dokument, så kvarstår dock risken för att man i ett tillstånd av självbelåtenhet inte tar till sig de rekommendationer som finns tillgängliga.

Sist men inte minst så är myndighetsarbetet en mycket viktig komponent i det praktiska säkerhetsarbetet. För att en anläggning skall kunna få byggnads- och drifttillstånd måste den uppfylla ett stort antal krav, som myndigheterna förvissar sig om att faktiskt är uppfyllda. Under driften av anläggningarna gör myndigheterna inspektioner och granskningar för att kontinuerligt se till att anläggningarna är säkra och också drivs på ett säkert sätt.

### **3.3 Situationen inom kärnkraften idag**

Om man ser på situationen inom kärnkraftindustrin idag så kan man se att man nu uppnår radikalt bättre driftresultat än för 20 år sedan. Man har lyckats höja tillgängligheten på anläggningarna avsevärt, vilket också betyder att man har färre störningar. Många kraftföretag som tidigare ställde sig tvivlande till kärnkraftens ekonomiska konkurrenskraft ser nu situationen som en helt annan. Nu är man på anläggningarna intresserade av moderniseringar, effekthöjningar och en långsiktig drift. Många anläggningar i USA har redan fått tillstånd att drivas för ytterligare 20 år, vilket ger en total drifttid på 60 år. I denna utveckling har också ett intresse för nya anläggningar vaknat.

Internationellt har mycket hänt sedan Tjernobyl-olyckan. Direkt ledde den till att kärnkraftländerna ingick ett viktigt internationellt avtal, Nuclear Safety Convention. Avtalet har flera punkter som på en övergripande nivå definierar förutsättningar som måste vara

uppfylla för att ett land skall tillåtas driva kärnkraftverk. Avtalet förutsätter bl.a. att man inom 24 timmar rapporterar allvarliga händelser som inträffat på de egna kärnkraftverken. Avtalet förutsätter också att varje land för de andra noggrant redogör för vilka krav som nationellt ställs på anläggningarna och hur de drivs. Detta avtal har lett till en större förståelse av de nationella säkerhetskrav som tillämpas i olika länder.

Tjernobyl olyckan fick också en direkt konsekvens i och med att organisationen World Association of Nuclear Operators (WANO) bildades. Alla kärnkraftverk i världen hör till WANO och de får här ett viktigt stöd för sitt säkerhetsarbete. I Europa har dessutom organisationen Western European Nuclear Regulators Association (WENRA) bildats som strävar efter att åstadkomma en bättre harmonisering av kravbilderna inom kärnkraften.

## **4 ARGUMENT FÖR OCH EMOT KÄRNKRAFT**

En samhällsdebatt har förts i många länder om kärnkraftens vara eller icke vara. Österrike tog aldrig en färdig anläggning i drift och Sverige var det första landet som efter en folkomröstning bestämde sig för att avveckla sin kärnkraft. Italien ställde av sina reaktorer efter Tjernobylolyckan. Schweiz och Spanien har bestämt sig för att inte bygga nya reaktorer. Argumenten mot kärnkraft har ofta kondenserats till de tre rubrikerna nedan.

### **4.1 Risken för olyckor**

Risken för kärnkraftolyckor är verklig, vilket Three Mile Island och Tjernobyl olyckorna också visar. Ingen av olyckorna eller incidenterna på kärnkraftverken har dock förmedlat något som man inte har förstått, utan man har alltid kunnat visa att någon ofta trivial komponent i säkerhetsförutsättningarna har brustit. De mest allvarliga incidenterna har alltid haft många olika komponenter med tekniska fel och brister som ofta i sin tur orsakats av mänskligt felhandlande och organisatoriska missförhållanden.

I princip finns det ingenting som hindrar att anläggningarna drivs på ett säkert sätt, men en förutsättning är naturligtvis att de byggs och drivs enligt de krav som ställs. Detta betyder att det finns en internationell säkerhetsnorm som efterlevs och att den nationella myndighetsövervakningen är effektiv.

### **4.2 Avfallsfrågan**

En allmän uppfattning är att avfallsfrågan för kärnkraften inte är löst, men det är ett missförstånd som hänger ihop med de långa tidsrymder man måste kunna överblicka. Objektivt är det uppenbart att man måste kunna isolera det utbrända bränslet från biosfären i åtminstone 10000 år och man kan argumentera för att denna period kanske borde vara tio gånger längre.

De lösningar som man planerar att använda i Finland och Sverige bygger på djupförvar i en stabil berggrund på 500 meters djup. Utan att gå in på den teknologi man planerar att använda, kan man konstatera att den största svårigheten ligger i att med ett riskperspektiv hantera de mycket långa tidsperioderna. Trots att man siktar på att försegla djupförvaret för alltid, finns det alltid en möjlighet att kommande generationer av någon orsak kommer att öppna förvaret. Detta kan t.ex. ske för att det använda bränslet i sig själv representerar en betydande energikälla. I ett längre tidsperspektiv finns det visserligen en möjlighet att man tekniskt kan utnyttja den kvarvarande energireserven och på detta sätt radikalt förkorta den tid som det använda bränslet måste isoleras från biosfären.

I en debatt om kärnkraftens avfallsfrågor kan man dock jämföra dem med de avfallsproblem man har t.ex. för elproduktion med fossilt bränsle. Utsläppen av koldioxid vid förbränning av olja, kol och gas kan egentligen ses som ett avfallsproblem som påverkar världen med ett betydligt kortare tidsperspektiv.

### **4.3 Kärnvapenspridning**

Den tredje allvarliga invändningen mot kärnkraft är att den ökar risken för en spridning av en teknologi till länder eller kretsar som vill utnyttja den för militära ändamål. Det är ett oemotsägligt faktum att civil kärnkraft har utnyttjats och fortfarande utnyttjas för militära intressen. En sådan användning är dock fullständigt motsatt det krav på öppenhet och vilja att dela med sig av sina erfarenheter som karakteriserar civil kärnkraft. Denna öppenhet har gjort det möjligt att nå den säkerhetsnivå vi har idag och den är viktig att bibehålla också i framtiden.

Framgent kommer det att bli allt viktigare att lösa energifrågorna på ett sätt som är acceptabelt för både rika och fattiga länder. Om inte detta lyckas riskerar de ekonomiska klyftorna i världen att bli större och då ökar risken för krig, terrorism och social instabilitet. En värld utan kärnkraft kan därför i praktiken vara ett mindre attraktivt alternativ än en värld där kärnkraft används på ett övervägt sätt.

## **5 OLKILUOTO 3 PROJEKTET**

Finland tog i en riksdagsomröstning i maj år 2002 ett viktigt beslut i och med att man ansåg att byggandet av en ny reaktor var viktigt för Finland. Riksdagsbeslutet var slutet på en lång period av utredningar och rapporter, som sökte långsiktiga lösningar på en begynnande elbrist i Finland. Den reaktor som nu byggs på den ena av de två reaktororterna i Finland är beräknad att tas i kommersiell drift år 2010.

### **5.1 Energisituationen i Finland**

Finland använde år 2005 ungefär 85 TWh elenergi av vilken cirka 20 % importerades. Resten producerades på ett sådant sätt att fossila bränslen användes för ungefär 20 %, vattenkraften stod för 16 %, kärnkraften för något mera än 26 % och resten genererades med torv, biobränslen och vindkraft. Elförbrukningen förväntas nå gränsen 100 TWh före 2015 samtidigt som flera av de gamla anläggningarna måste tas ur drift före detta årtal. Man väntar sig också att en nuvarande maximikonsumtion på cirka 15000 MW kommer att stiga till 18000 MW år 2020. Allt detta betyder att det finns ett gap som inte ens den nya enheten i Olkiluoto förmår fylla.

Det var många argument i diskussionen som gjorde att ett nytt kärnkraftverk blev möjligt, men det kanske viktigaste var att det fanns en politisk vilja att uppfylla Kyoto-protokollet och minska koldioxidutsläppen. Naturligtvis fanns det också andra alternativ för att bygga ny produktionskapacitet, men man beräknade att de skulle ha blivit mycket dyrare. En annan orsak var att man ville försäkra sig om att en någorlunda stabil prisnivå på el kunde säkras. Viktigt var också att Finland inte i sin energiförsörjning skulle bli alltför beroende av import.

### **5.2 Tekniska lösningar i den nya reaktorn**

Teollisuuden Voima (TVO) driver två kokarreaktorer i Olkiluoto av vilka den första togs i drift år 1978 och den andra år 1980 [11]. För den nya reaktorn valde man en

tryckvattenreaktor som levereras av ett konsortium bestående av Framatom ANP och Siemens. Konstruktionen grundar sig på en kombination av de bästa koncepten i de franska och tyska tryckvattenreaktorerna. Utvecklingsarbetet av reaktorn gick till så att man i ett internationellt projekt som drevs av kraftbolag i Europa beskrev kravbilderna för en reaktor som skulle vara möjlig att licensiera. TVO följde med detta utvecklingsarbete på nära håll och kunde därigenom utnyttja det i sin offertförfrågan för en ny anläggning.

Den nya reaktorn är tänkt att kunna drivas minst i sextio år och den kommer att få en elektrisk effekt av 1600 MW. Reaktorkonstruktionen bygger på ett 2/4 säkerhetskoncept vilket innebär att den får fyra oberoende säkerhetssystem av vilka två alltid skall räcka till för en säker drift. Reaktorn får system som skyddar mot svåra haverier, så att anläggningen också skall kunna klara en härdskada med en genomsmältning av reaktorns tryckkärl utan att radioaktivitet frigörs utanför anläggningen.

## **6 NYA REAKTORER**

Grundkonstruktionen för de reaktorer som används idag utvecklades för mer än 30 år sedan. Olika nykonstruktioner har föreslagits, men inget av koncepten har nått längre än till försöksanläggningar. Man är dock överens om att framtida reaktorer bättre borde integreras som komponenter i en övergripande bränslehantering. En översikt av nya reaktorkonstruktioner och tillhörande bränslecykler presenterades på en internationell konferens "Innovative Technologies for Nuclear Fuel Cycles and Nuclear Power", som hölls i Wien år 2003 [12].

### **6.1 Evolutionära reaktorer**

Lättvattenreaktorer, dvs. tryckvatten- och kokarreaktorer är idag de vanligaste typerna som utgör mer än 80 % av de totalt 443 reaktorer som är i drift idag [13]. Man har under de driftår man samlat med dessa reaktorer skaffat sig erfarenheter som har använts för att föreslå olika förbättringar i deras ursprungliga konstruktion. Denna utveckling reaktorkonstruktionerna kallas ibland en evolutionär utveckling som bl.a. innebär att man använder bättre material och bättre komponenter. Man har också fört in olika typer av passiva säkerhetssystem för att man inte skall vara beroende av elförsörjningen i ett haveriförlopp. Man har också fört in en bättre beredskap för svåra haverier. Man har bättre kontrollrum och en större förståelse för vikten av en god säkerhetskultur.

### **6.2 Revolutionära reaktorer**

En annan utvecklingsväg inom reaktorteknologin har varit att försöka hitta konstruktioner som skiljer sig från de reaktortyper man har idag. Målet är då att få reaktorer som samtidigt är både säkrare och har en bättre ekonomi. Samtidigt strävar man efter att göra bränslet sådant att det blir svårare att använda för militära ändamål. En utveckling av nya reaktortyper blir på grund av de säkerhetskrav man ställer mycket dyrbar. Man har därför insett att en sådan utveckling måste drivas som ett internationellt samarbete. Det så kallade Generation IV projektet drivs som ett samarbete mellan 10 länder och man har här enats om sex reaktorkoncept som de mest intressanta att vidareutveckla [14]. Ett av målen med utvecklingen av revolutionära reaktorer är att de även skall kunna användas för väteproduktion.



## 7 SAMMANFATTNING OCH SLUTSATSER

Sammanfattningsvis torde man med tillförsikt kunna säga att kärnkraften har blivit mycket säkrare under de 20 år som har gått sedan Tjernobyl olyckan. Detta betyder dock inte att man kan slå sig till ro, utan man måste också fortsättningsvis arbeta på att förbättra säkerheten på anläggningarna. Man måste hela tiden vara alert och ta till sig de lärdomar som också till synes obetydliga händelser kan ge. Endast när detta villkor är uppfyllt kan man tala om en god säkerhetskultur.

En annan viktig lärdom är att kärnkraft kräver öppenhet vilket passar illa med det hemlighetsmakeri som förekommer i militära sammanhang. Kärnkraft kräver också ett ordnat samhälle för att en nödvändig infrastruktur skall finnas tillgänglig. Ytterst betyder detta att man måste ha en tillräcklig enighet i en uppfattning om att kärnkraften behövs för att säkerställa viktiga funktioner i samhället. Om inte en sådan enighet kan nås, kan detta påverka den faktiska säkerheten av anläggningarna.

I ett mycket långt tidsperspektiv är det sannolikt att nuvarande konstruktioner inte är tillräckliga för att samtidigt tillgodose både säkerhet och billig el. Det är därför viktigt att utvecklingen av nya reaktorer inte bromsas, utan att de får ett tillräckligt stöd. Samtidigt är det också klart att ett utvecklingsarbete kräver mycket stora resurser och därför behövs ett internationellt samarbete. När man ser på världens energibehov kommer dock kärnkraften knappast ensam att kunna bli en lösning, men samtidigt blir energisituationen i världen mycket svårare utan än med kärnkraft.

### Referenser

- [1] IAEA (1986). Summary Report on the Post-accident Review Meeting on the Chernobyl Accident, INSAG-1.
- [2] IAEA (1993). The Chernobyl Accident: Updating of INSAG-1, INSAG-7.
- [3] IAEA (1991). The international Chernobyl project; an overview.
- [4] IAEA (1991). The international Chernobyl project; technical report.
- [5] WHO (2006). Health effects of the Chernobyl accident and special health care programmes.
- [6] UNDP/UNICEF (2002). The Human Consequences of the Chernobyl Nuclear Accident; A Strategy for Recovery.
- [7] IAEA (2006). Environmental consequences of the Chernobyl accident and their remediation: Twenty years of experience; Report of the Chernobyl Forum Expert Group 'Environment'.
- [8] IAEA (2006). Chernobyl's Legacy: Health, Environmental and Socio-economic Impacts and Recommendations to the Governments of Belarus, the Russian Federation and Ukraine.
- [9] IAEA (1996). Defence in Depth in Nuclear Safety, INSAG-10.
- [10] IAEA (1991). Safety culture, INSAG-4.

- [11] <http://www.tvo.fi>
- [12] IAEA (2004). Innovative Technologies for Nuclear Fuel Cycles and Nuclear Power, CSP-24/P.
- [13] IAEA (2006). Nuclear power reactors in the world, RDS-2/26.
- [14] <http://www.gen-4.org>