

Är kärnkraften säker?

Den oro för kärnkraften som faktiskt förekommer är framför allt knuten till risken för en reaktorolycka som kan leda till att radioaktiva ämnen sprids till omgivningen. Det politiska beslutet att stänga en reaktor i Barsebäck kan ses som ett sammanfattande symbol för denna oro i Sverige.

Ett enkelt jakande svar på rubrikens fråga skulle inte vara trovärdigt. I stället beskrivs här på ett någorlunda vardagligt språk förutsättningarna för kärnkraftens säkerhet mot olyckor. Däremot diskuteras inte frågor som sammanhänger med kärnkraftverkens normala drift. Vi behandlar de grundläggande principerna för reaktorsäkerhetens uppbyggnad, beskriver några olyckor och incidenter som inträffat och jämför kärnkraftens risker med andra risker i samhället.

I en avslutande analys diskuteras kärnkraftens risker i jämförelse med dess nytta i vårt moderna samhälle som också utnyttjar en rad andra former av kärnenergi, från datering med kol-14 till medicinsk strålbehandling.

Kärnkraftens risker i ett samhällsperspektiv

Det moderna samhället är i vissa avseenden väsentligt tryggare än det gamla bondesamhället. Dessutom erbjuder det en rad nya typer av möjligheter som ger ett innehållsrikare liv för de allra flesta.

Det finns många faktorer bakom denna utveckling som ägt rum under de senaste två å tre generationerna.

En gemensam och viktig faktor är upptäckten av elektricitetens användbarhet och den ständigt ökande mängden av nya sätt att använda el.

Världens elkonsument har därför ökat enormt under det senaste seklet och en fortsatt ökning under överskådlig tid förefaller trolig.

Det gamla samhället var riskfyllt i första hand för den enskilde individen även om kollektiva risker som hungersnöd och naturkatastrofer förekom.

Det nya samhället är mer komplicerat än det gamla och innehåller en rad nya risker. Många av dessa har med storskaligheten inom industri och transporter att göra men kanske mest med att vi nu bor i tätorter och storstäder. Därmed ökar också omfattningen av risker från sabotage och terror.

En del risker är globala som växthus-effekten och atombombshot.

Den ökande befolkningstätheten och koncentrationen till tätorter innebär att många människor kan drabbas av ett enstaka utsläpp i luften eller vattnet i samband med en olycka eller terrorhandling.

Exempel på stora industriella olyckor är utsläppet av dioxin i Seveso i Italien 1976 (0 akuta dödsfall), utsläppet av kemiska bekämpningsmedel i Bhopal i Indien 1986 (cirka 3 000 akuta dödsfall) och kärnkraftolyckan i Tjernobyl i Ukraina 1986 (31 akuta dödsfall). Dessa olyckor ledde till ett stort antal skadade och sjuka samt ökad risk för senare dödsfall i cancer.

För Tjernobyl finns teoretiska beräkningar av det totala antalet tänkbara framtida cancerfall, men för kemikalieolyckorna i Seveso och Bhopal fanns eller finns inte tillräckligt kunskapsunderlag för att göra sådana beräkningar.

Liknande olyckor har inte inträffat i Sverige. Stora olyckor i vår närhet under de senaste 25 åren är kollapsen av oljeplattformen Alexander Kielland 1980

då 123 människor förolyckades och Estoniaolyckan 1994 då 852 personer omkom.

All energiproduktion påverkar naturen och människors hälsa - mer eller mindre och på olika sätt.

De traditionella förbränningsprocesserna: ved, kol, olja och på senare tid fossilgas (ibland kallad naturgas), skadar i första hand genom *kontinuerliga utsläpp* av koldioxid, kemiska ämnen (bl.a. kväve- och svaveloxid) samt små och fina partiklar.

För vattenkraft och kärnkraft är de kontinuerliga utsläppen obetydliga och *stora olyckor* med mycket låg sannolikhet (dammbrott och härdsmälta) dominerar riskbilden.

För kol, olja och fossilgas finns också olika typer av olycksscenarioer (explosioner i kolgruvor, oljeutsläpp under transport och gasolyckor), men dessa är inte förknippade med själva energiproduktionen.

Innehåll

1. Kärnkraftens risker i ett samhällsperspektiv
2. Naturvetenskapliga förutsättningar för reaktorsäkerheten
3. Grundläggande principer för reaktorsäkerheten
4. Inträffade händelser
5. Säkerhetsanalys
6. Kan man lita på reaktorsäkerheten?
7. Sammanfattande slutsatser – Referenser

Kärnkraft

De första kärnreaktorerna byggdes under 1940- och 50-talen, men kommersiella reaktorer för kraftproduktion togs i drift i USA först omkring 1960.

De naturvetenskapliga fenomenen av betydelse för reaktorsäkerheten var väl kända på ett tidigt stadium. Redan de första kraftproducerande reaktorerna var utrustade med säkerhetssystem uppbyggda efter de principer som fortfarande anses som självklara.

Nu, i början av 2004, finns drygt 300 lättvattenreaktorer i drift i världen (och cirka 150 av andra typer). Den totala drifterfarenheten av kokvattenreaktorer (BWR) och tryckvattenreaktorer (PWR) är drygt 10 000 reaktorår (Ref. 1).

Harrisburg

Den hittills enda större olyckan i en lättvattenreaktor inträffade 1979 i Harrisburg, USA. Olyckan ledde inte till några nämnvärda utsläpp av radioaktiva ämnen och ingen människa kom till skada vare sig inom eller utanför anläggningen. Men förtroendet för kärnkraft hos allmänhet, politiker och investerare minskade avsevärt över hela världen.

I Sverige anordnades en folkomröstning om kärnkraften ett år efter Harrisburgolyckan. Därefter beslutade riksdagen att kärnkraften skulle avvecklas.

Olyckan ledde å andra sidan till krafttag för att förbättra säkerheten. I USA skapades en organisation för att samla in drifterfarenheter och i Sverige förbättrades bland annat funktionen hos reaktorinneslutningarna.

Den statliga reaktorsäkerhetsstudie som tillsattes i Sverige drog slutsatsen att svensk kärnkraft var säkrare efter Harrisburgolyckan än före (Ref. 2).

Tjernobyli

Tjernobyliolyckan 1986 visade att en härdsmläta med frisläppande av stora delar av reaktorhärdsmläta radioaktiva ämnen kan leda till svåra konsekvenser för miljö och människor även på stora avstånd från olycksplatsen.

En statlig svensk utredning konstaterade att den typ av explosionsartad olycka som inträffade i den sovjetiska reaktorn i Tjernobyli är fysikaliskt omöjlig i en lättvattenreaktor (Ref. 3).

Restrisk

Restrisk för ett tekniskt system, t.ex. ett

kärnkraftverk, en vattenkraftdamm eller passagerarflyget är risken för den allra yttersta och värsta tänkbara katastrofen.

Restrisken kan teoretiskt sett inte helt uteslutas men har så låg sannolikhet att man i samhällsplaneringen bortser från att den kan inträffa.

För ett kärnkraftverk anses restrisken vara en härdsmläta följd av att härdsmläta innehåll av radioaktiva ämnen sprids ut till omgivningen.

För en vattenkraftdamm kan restrisken vara ett plötsligt dammras följd av en våldsaml översvämning av nedströms tätorter varvid stora delar av bebyggelsen förstörs. Dessutom kan översvämningen i värsta fall leda till att ett stort förråd av kemikalier vattenfylles på ett sådant sätt att brännbara gaser bildas. En stor explosion skulle kunna följa.

För passagerarflyget kan restrisken vara en kollision mellan två fulltankade jumbojet över en storstad en lördagsförmiddag med en våldsaml brand, kanske eldstorm, som följd.

Kärnkraftens restrisk har utretts i detalj och har konkretiserats av Tjernobyli katastrofen. De yttersta konsekvenserna av en reaktorolycka i Barsebäck utreddes redan 1979 (Ref. 4). För många andra tekniska system i samhället är restrisken dåligt utredd och ofta okänd.

Externa kostnader

I Sverige och utomlands har man försökt jämföra risker hos olika energislager, trots svårigheterna som ligger i att riskerna är av så olika slag.

I en stor studie, ExternE, gjord i EU-kommissionens regi (Ref. 5) jämförs riskerna med hjälp av de s.k. externa kostnaderna, ett ekonomiskt mått på miljöstörningar av alla olika slag i alla led av energiproduktionen, från gruvan till avfallsförvaret.

För kärnkraften inkluderar studien riskerna vid urangruvan, utsläppen vid normaldrift, haveririsken och avfallshandlingens miljörisken. I övriga delar av denna **Bakgrund** diskuteras dock bara kärnkraftens säkerhet mot olyckor.

Genomsnittligt för EU är de externa kostnaderna för elproduktion med hjälp av kol ungefär 20 gånger högre än för kärnkraft och vattenkraft.

Till detta skall läggas de svårberäknade miljökostnaderna för koldioxidutsläppen, vilka inte inkluderats i ExternE.

Bioenergi har högre externkostnad än kärnkraften, men väldimensionerade filter kan minska miljöeffekterna från eldning av träbränslen.

Sammantaget kan man konstatera att de genomsnittliga hälso- och miljöriskerna för kärnkraft (inklusive olycksriskerna) är små och på en lägre nivå än för de fossila bränslena och för bioenergi, men på ungefär samma nivå som vattenkraft och vindkraft.

Å andra sidan finns det fortfarande en särskild ängslan för strålning från radioaktiva ämnen hos allmänhet och politiker. En ny kärnkraftolycka någonstans i världen skulle därför återigen minska förtroendet för kärnkraften.

Detta är naturligtvis kraftföretag, säkerhetsmyndigheter och politiker väl medvetna om, en kunskap som ger incitament att ytterligare förbättra säkerheten.

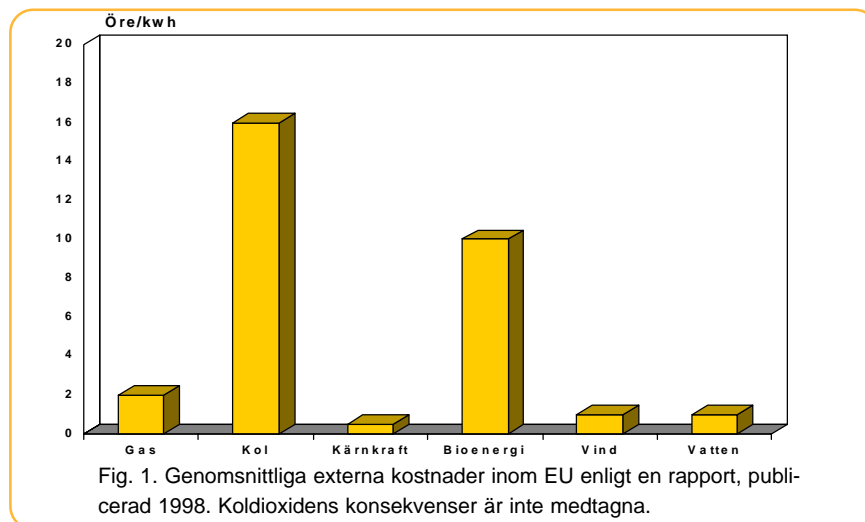


Fig. 1. Genomsnittliga externa kostnader inom EU enligt en rapport, publicerad 1998. Koldioxidens konsekvenser är inte medtagna.

2 Naturvetenskapliga förutsättningar för reaktorsäkerheten

I detta kapitel redovisas de naturvetenskapliga säkerhetsrelaterade förutsättningarna för drift av en kärnkraftreaktor. I nästa kapitel beskrivs de tekniska och administrativa metoder som används i alla kommersiella kärnkraftverk för att göra driften säker.

Det finns tre huvudproblem förknippade med kärnkraftdrift:

- reaktorns självunderhållande kedjereaktion skall ske på ett kontrollerat sätt
- den värme som alstras vid kärnklyvningarna i bränslet måste ledas bort av kylvattnet så att bränslet inte överhettas
- den s.k. resteffekten

Kedjereaktionen

För att styra kedjereaktionen används rörliga stavar som innehåller bor. Detta ämne har egenskapen att absorbera neutroner, d.v.s de kärnpartiklar som håller i gång kedjereaktionen. Om de s.k. styrstavarna skjuts in i härden försämras kedjereaktionen och effekten minskar. Om de dras ut ökar effekten.

I en tryckvattenreaktor (PWR) används sådana stavar för snabb finjustering av effektinivån och för att stänga av kedjereaktionen och därmed reaktoreffekten (snabbstopps reaktor).

Dessutom finns ett system för att variera borhalten i reaktorvattnet. Detta system används för långsam kontroll av kedjereaktionen och som en reserv för snabbstoppsystemet.

I en kokvattenreaktor (BWR) finns också rörliga borstavar och ett borlösningssystem som reserv, men finjusteringen av effekten sker här med hjälp av huvudcirkulationspumparna som reglerar den hastighet med vilken reaktorvattnet passerar bränslet.

En avgörande viktig egenskap hos alla lättvattenreaktorer är att det är fysikaliskt omöjligt att reaktoreffekten ökar på ett okontrollerbart sätt. Skälet är att de har en s.k. negativ effektkoefficient. Se Fig. 2 och Ref. 6.

Negativ effektkoefficient

En liten störning kan leda till att reaktor-

effekten ökar. I en reaktor med negativ effektkoefficient händer då följande:

- temperaturen stiger i bränslet och reaktorvattnet
- temperaturökningen leder med naturligtvis till att kedjereaktionen blir mindre effektiv
- reaktoreffekten minskar och verkan av störningen elimineras automatiskt

Kedjereaktionen är således självhämmande och stabil.

Tjernobylnreaktorn hade i stället den fysikaliska egenskapen att reaktorns effektkoefficient var *positiv*, dvs en liten effektökning ledde till en tendens att öka effekten ytterligare. I detta fall var således kedjereaktionen inte självhämmande utan hade inbyggda instabila egenskaper.

Extrema förhållanden vid olyckan resulterade därför i att effekten kunde öka snabbt, nästan explosionsartat.

Bränslets kylning

Vid kedjereaktionen klyvs urankärnorna och överskottsvärmen leds bort med kylvattnet. Den ånga som bildas driver kraftstationens turbiner.

Om kylningen inte kan upprätthållas med tillräcklig effektivitet ökar temperaturen i bränslet och i en extrem situation kan delar av eller hela bränsleharder smälta. I en sådan situation kommer de radioaktiva ämnen som normalt finns in-

kapslade i bränslets metallkapsling, den innersta skyddsbarriären, att frigöras.

Om de radioaktiva ämnena även passerar de övriga skyddsbarriärerna kan de spridas inom reaktorbyggnaden och i värsta fall till omgivningen.

Resteffekt

Behovet att kyla reaktorbränslet kvarstår lång tid efter det att kedjereaktionen stoppats. Skälet är den s.k. resteffekten.

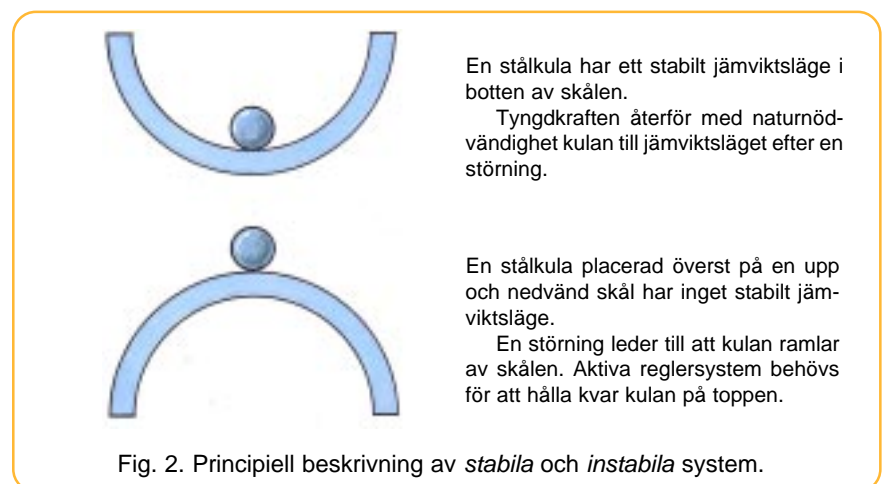
Vid kärnklyvningen avges större delen av energin omedelbart som värme men en mindre del avges som radioaktivitet hos de s.k. klyvningsprodukterna (d.v.s de nya ämnen som bildas då urankärnan klyvs). Radioaktivitet är således en form av energi, som i reaktorn omvandlas till värme.

Radioaktiviteten hos en del av klyvningsprodukterna försvinner mycket snabbt medan sönderfallet av andra sker långsamt.

Det innebär att när kärnklyvningarna stoppats, fortsätter bränslet att inledningsvis avge en viss effekt. Denna s.k. resteffekt sjunker snabbt och en timme efter snabbstoppet är den kvarvarande effekten hos bränslet cirka en procent av fulleffekt.

Efter ungefär en månad har den kvarvarande effekten sjunkit till ca 0,1 procent.

Detta fenomen som är unikt för kärnkraftproduktion kallas *resteffekt*.



3 Grundläggande principer för reaktorsäkerheten

Den övergripande uppgiften för konstruktören och operatören av ett kärnkraftverk är att innesluta de stora mängderna radioaktiva ämnen så att de inte kan spridas till omgivningen under normal eller störd drift.

En grundläggande förutsättning för allt kärnkraftsäkerhetsarbete är insikten att tekniska komponenter och system *kan* fungera på ett felaktigt sätt (eller inte alls) och att människor inte alltid uppträder rationellt, särskilt i extrema situationer.

Den tekniska konstruktionen och de administrativa systemen är därför utformade så att de så långt som möjligt "förlåter fel". Det innebär att säker drift kan upprätthållas även om det uppstår oväntade tekniska fel eller operatören gör misstag.

Detta är inte unikt för kärnkraften. De allmänna principerna för säkerhetssystem har tidigare utvecklats inom process-tekniken, flyget och rymdtekniken.

Där det är möjligt utnyttjas s.k. inherent säkerhet. Detta innebär att man utnyttjar konstruktioner och delsystem som enligt naturlagarna har en 100-procentig säker funktion.

Ett exempel på detta är den tidigare nämnda egenskapen hos lättvattenreaktorer att kärnklyvningen avtar om bränslets temperatur ökar.

Fel kan orsakas av att material och komponenter inte uppfyller de specifikationer som gällde vid konstruktionen.

Det kan bero på att materialegenskaper varierar eller att dolda defekter förekommer. För att undvika sådana fel utformas säkerhetsrelaterade mekaniska reaktorkomponenter (t.ex. reaktortanken) med stor *säkerhetsmarginal*.

Fail-safe

Vissa elektriska och mekaniska komponenter som ingår i säkerhetsmässigt väsentlig utrustning utformas enligt principen "fail-safe".

Det innebär att fel i komponenten alltid skall leda till ett säkert tillstånd. Fel i reaktorns kontrollutrustning medför t.ex. att reaktorn stängs av automatiskt.

Säkerheten bygger på att hög och jämn kvalitet upprätthålls under alla faser av anläggningens konstruktion, tillverkning, uppförande, drift och underhåll.

Därför finns speciella administrativa system för *kvalitetssäkring*, som tillämpas av konstruktörer, komponentleverantörer och operatörer.

Somen del av kvalitetssäkringen gäller att all säkerhetsanknuten utrustning skall vara åtkomlig för inspektion, provning, service och underhåll. Dessutom skall den kunna repareras vid behov.

För att motverka större störningar finns särskilda säkerhetssystem, vars uppgift är att förhindra att störningar i processen utvecklas till allvarliga händelser. Som exempel kan nämnas:

- instrumentering som övervakar reaktorprocessen
- snabbstoppsystemet
- nödkylsystemet
- resteffektkylsystemet

Redundans

För att öka säkerhetssystemens tillgänglighet använder man sig av *redundans* (*övertalighet*). Det innebär att systemen byggs i flera parallella av varandra oberoende enheter. Var och en av enheterna klarar ensam av 100 procent av säkerhetsfunktionen.

Om ett fel inträffar i någon (vilken som helst) komponent så har systemen ändå alltid tillräcklig kapacitet för den avsedda funktionen. På detta sätt undviker man att fel i enstaka komponenter sätter hela säkerhetssystemet ur spel.

Diversifiering

En annan säkerhetshöjande princip är *diversifiering*. Det innebär att en specifik säkerhetsfunktion kan utföras av två eller fler system, som är baserade på olika tekniska lösningar och olika fysikaliska verkningssätt.

Ett av många exempel är att reaktoravstängningen kan ske dels genom inskjutning av styrstavar, dels genom inpumpning av vatten innehållande bor i hårdan.

Ett exempel på diversifiering av

säkerhetssystemen på en cykel eller i en bil är att det finns både fot- och handbroms.

Fysisk separation

Fel av gemensam orsak kan slå ut flera eller alla parallella säkerhetssystem. Därför krävs *fysisk separering*. Det kan man åstadkomma genom att placera dem i åtskilda utrymmen.

Särskilt viktigt är att elförsörjningen till de olika systemen är konsekvent separerade så att inte t.ex. en kabelbrand på ett ställe kan slå ut alla samtidigt.

Varje parallellt säkerhetssystem matas därför med el via kablar lagda i helt separerade utrymmen från sina egna helt separerade reservelaggregat i form av dieselgeneratorer eller gasturbiner.

Som ett exempel på fel av gemensam orsak och bristande fysisk separering kan nämnas branden i Akallatunneln norr om Stockholm 2002. I en och samma tunnel fanns *alla* kablar för högspänning, för styrning och övervakning och även för telefoni till stadsdelen Kista.

Branden ledde till att samtliga kablar förstördes och 30 000 arbetsplatser och hushåll i Kista blev utan såväl elförsörjning som telefon och datakommunikation i flera dygn.

Kontrollrummet och operatören

Erfarenheten visar att hög säkerhet kan åstadkommas på den tekniska utrustningen bl.a. genom att systemen utformas enligt de ovan beskrivna principerna. Men även olika typer av mänskligt felhandlande kan påverka reaktorsäkerheten. Viktiga faktorer för att minska konsekvenserna av dessa problem är bland annat:

- väl utformat kontrollrum grundat på systematiska studier av hur människa och maskin samverkar.
- väl genomtänkt och prövat administrativt system för provning, underhåll och drift.
- utbildning och kontinuerlig träning av personalen, bland annat i kärnkraftsimulatorer.
- ett väl utvecklat system för rapportering och uppföljning av incidenter och allmänna drifterfarenheter.

30-minutersregeln

Viktiga säkerhetsfunktioner är automatiserade för att minska risken för mänskliga fel.

Framför allt gäller detta sådana funktioner som kräver snabba åtgärder.

Därför har vid de svenska reaktorerna införts den s.k. 30-minutersregeln. Den innebär att alla åtgärder som måste vidtas inom 30 minuter efter en allvarlig störning skall ske automatiskt.

Operatören får därmed tid att på sig att analysera händelsen innan beslut tas om fortsatta åtgärder.

Barriärer

De radioaktiva ämnena i reaktorbränslet hindras från att frigöras med hjälp av flera barriärer.



Stora utsläpp till omgivningen kan bara ske om samtliga barriärer genombröts. Ett stort utsläpp av radioaktiva ämnen till omgivningen kan således bara ske om ett stort antal oberoende tekniska och/eller administrativa system fungerar fel samtidigt.

Sannolikheten för att en sådan händelsekedja skall inträffa är mycket låg.

Om en sådan olycka trots allt skulle inträffa skall radioaktiva ämnen som kan ge en långvarig beläggning på den omgivande marken hållas kvar inne i reaktorinneslutningen. Denna har därför i de svenska kärnkraftverken försetts med speciella konsekvenslindrande system. De har till uppgift att säkerställa funktionen hos reaktorinneslutningen vid ett reaktorhaveri.

4 Inträffade händelser

Harrisburg

1979 havererade en reaktor i kärnkraftverket Three Mile Island (TMI) nära Harrisburg, USA.

Det är den hittills enda svåra olyckan i ett kärnkraftverk av lättvattentyp. TMI-2 var en tryckvattenreaktor på 880 MW. Den hade tagits i drift bara några månader före haveriet.

Den händelse som utlöste haveriet var att matarvattenpumparna till en av ånggeneratorerna helt korrekt slog ifrån på grund av en störning i en reningskrets. (Se Ref. 1 för förklaringar av de viktigaste tekniska termerna.)

Matarvattenbortfallet utlöste automatiskt snabbstopp, d.v.s. kedjereaktionen avbröts. Reaktor var alltså avställd under hela det fortsatta förloppet. Så långt var händelseförloppet normalt.

Eftersom resteffekten fortsatte att alstra värme kvarstod behovet att kyla reaktorn.

När det normala matarvattenflödet från turbinkondensatorn avbrutits, skulle två hjälpmatarvattenkretsar automatiskt ha kopplats in.

Detta skedde inte. Anledningen visade sig vara två ventiler som av misstag förblivit stängda efter underhållsarbete. Följden blev att den ena ånggeneratoren torrlades i brist på matarvatten. Reaktor-

härden fick otillräcklig kylning.

Ångtrycket började nu stiga. En tryckavlastningsventil öppnade automatiskt i reaktorkylkretsen och blåste av ånga till reaktorinneslutningen.

När trycket återgått till normalt värde skulle ventilen ha stängt automatiskt men den fastnade i öppet läge. Den utgjorde därmed en läcka genom vilken reaktorns kylvatten hela tiden gick förlorat.

Operatörerna upptäckte inte läckan, beroende bl.a. på bristfällig instrumentering.

När kylvattenvolymen och trycket minskade i reaktorn, kopplades nödkylningen automatiskt in. Vid det laget hade reaktorvattnet börjat koka, vilket är en onormal situation i en tryckvattenreaktor.

Kokningen påverkade vattennivåerna i olika delar av systemet. Operatörerna misstolkade signalerna i kontrollrummet och trodde att systemet höll på att överfyllas, när det i själva verket förhöll sig tvärtom.

Man stängde därför av nödkylningen, i strid med gällande instruktioner. Reaktorhärden började därmed torrläggas och överhettas. Inte förrän drygt 2 timmar efter snabbstoppet upptäcktes att ventilen fastnat och först då stoppade man ångläckaget genom att stänga en annan ventil.

Eftersom kylvattenläckan upptäcktes så sent, hann stora mängder radioaktivt förorenat vatten och gas komma ut i reaktorinneslutningen.

Ingen markbeläggning

De små utsläppen som skedde till omgivningen dominerades helt av ädelgaser. Dessa ger ingen markbeläggning och tas inte upp i levande organismer utan späds ut i lufthavet, där de dessutom snabbt förlorar sin radioaktivitet.

De från radiologisk synpunkt besvärliga ämnena, som jod och cesium, hade till stor del förblivit bundna i vattnet inne i reaktorinneslutningen.

Den högsta stråldosen till någon person utanför anläggningen var väsentligt mindre än 1 millisievert (1 mSv).

Den motsvarar ett års naturlig stråldos eller dosen från en enklare röntgenundersökning.

Barsebäck 1 1992

- Silhändelsen

Vid uppstarten efter planerat driftstopp för underhåll och bränslebyte sommaren 1992 öppnade obefogat en av reaktorns säkerhetsventiler.

Denna händelse startade automatiskt både reaktorhårdens nödkylsystem och reaktorinneslutningens sprinklersystem.

Dessa system hämtar sitt vatten från en stor bassäng i botten av reaktorinneslutningen.

Ångstrålarna från säkerhetsventilen ryckte sönder en del av värmeisoleringsmaterialet, glasfiberull, från rör anslutna till reaktortanken. Delar av glasfiberullen sköljdes av sprinklersystemet ner i vattenbassängen och fastnade till slut på de silar som sitter i de ledningar som suger vatten från bassängen till nödkylningen och sprinklersystemet.

Efter cirka en timme fick man larm om att silarna på sugsidan av pumparna till sprinklersystemet höll på att sättas igen. En timme senare avbröts sprinklingen av inneslutningen. En backspolning för att rensa silarna gjordes därefter med gott resultat.

Reaktorn snabbstoppades omedelbart och alla säkerhetssystem fungerade i övrigt som planerat och operatörerna agerade korrekt under händelsen. Inte under någon del av händelseförloppet fanns någon risk för överhettning av härden.

Att isoleringsmaterial kunde sätta igen silarna kände man till redan vid konstruktionen av anläggningen. Det var emellertid överraskande att igensättningen av silarna kom så snabbt.

Händelsen ledde till att totalt fem reaktorer (Barsebäck 1 och 2, Oskarshamn 1 och 2 samt Ringhals 1) stoppades för ombyggnad.

Den långsiktiga lösningen var att förse rörsystemen med annan form av värmeisolering, samma som redan fanns i de nyare svenska reaktorerna.

Silhändelsen bedömdes som nivå 2 på den s.k. INES-skalan, se nästa sida. Följande fyra händelser i svenska reaktorer har därefter också klassats som nivå 2.

Ringhals 2 1994

– Säkerhetsventiler öppnade inte

I samband med analyser efter ett snabbstopp i oktober 1994 konstaterades att säkerhetsventilerna i huvudängledningarna inte öppnat som förväntat. Skälet var att ventilernas öppningstryck var felaktigt inställda. Ringhals 3 och 4 stoppades för kontroll, och samma fel konstaterades i dessa reaktorer. Detta berodde på att samma provningsutrustning hade använts.

Det felaktiga öppningstrycket var fortfarande lägre än konstruktionstrycket,

varför situationen som sådan inte hotade säkerheten. Händelsen bedömdes ändå som allvarlig eftersom felet var av systematisk natur.

Oskarshamn 2 1996

– Reaktorns härdstrilsystem ej driftklart

I november 1996 återstartades anläggningen efter det årliga bränslebytet. En vecka senare genomfördes periodiskt prov av härdstrilsystemet (som ibland också kallas härdnödkylningen), och då konstaterades att elkraftmatningen till pumparna i de två redundanta stråken var frånsägen.

Under bränslebytesavställningen hade en mängd provningar genomförts. I samband med ett av dessa prov bröts elkraftmatningen till härdstrilpumparna, och återställdes inte till rätt läge. Efter händelsen har rutinerna för kontroll av driftklarheten förbättrats.

Härdstrilsystemets uppgift är att kyla bränslet i samband med en typ av haveri som innebär omfattande kylmedelsförlust, såsom vid ett brott på stora rör anslutna direkt till reaktortanken.

Ett sådant haveri är mycket osannolikt och har ännu inte inträffat i något kärnkraftverk i världen.

Ringhals 4 1997

– Reaktorinneslutningens strilsystem ej driftklart

I samband med återstart efter det årliga bränslebytet i september 1997 upptäcktes vid en rutinmässig kontroll att två ventiler i reaktorinneslutningens strilsystem felaktigt var stängda. Ventilerna hade stängts i samband med ett prov av ett annat system, och sedan inte återstälts i öppet läge. Två kontroller hade tidigare genomförts utan att den felaktiga driftläggningen upptäcktes.

Reaktorn hade ännu inte gjorts kritisk (kärnklyvningen var alltså inte påbörjad), men enligt de säkerhetstekniska föreskrifterna skulle strilsystemet ha varit driftklart vid aktuell temperatur.

Systemets uppgift är att i samband med ett haveri med högt tryck i reaktorinneslutningen via vattensprinkling hålla nere trycket så att inneslutningen inte skadas utan kan behålla sin täthet.

Händelsen bedömdes allvarlig, eftersom den i flera avseenden ansågs vara en upprepning av en liknande händelse i Ringhals 2 tidigare samma år.

Barsebäck 2 1999

– Bortfall av hjälpkylvatten

I maj 1999 genomfördes periodisk provning av luckor i havskylvattenkanalerna. De åtta kylvattenpumparna får sitt vatten från två skilda kanaler.

Genom felaktig användning av instruktion för provet avstängdes flödet från *båda* kanalerna. Detta ledde inom några minuter till förhöjda temperaturer i anläggningen, och reaktorn snabbstoppades manuellt. Vattenflödet återupprättades mycket snabbt.

Erfarenhetsåterföring

Olycksförloppet i TMI-reaktorn fanns i stora drag beskrivet redan i den s.k. Rasmussen-studien 1975. Dessutom hade likartade händelser inträffat vid två tidigare tillfällen i andra reaktorer.

Då lyckades man hantera förloppet, hålla härden kyld och undvika ett allvarligare förlopp. Men eftersom det på den tiden inte fanns något system för att sprida erfarenheter till andra kärnkraftoperatörer visste man inte på TMI hur situationen borde hanteras.

INPO

TMI-haveriet ledde till att INPO (Institute of Nuclear Power Operations) bildades i USA. INPOs uppgift är att verka för mycket hög säkerhet och goda driftresultat. Alla kärnkraftverk i USA samt många från övriga världen, bland annat de svenska, anslöt sig till INPO.

INPO fick bland annat till uppgift att samla in, analysera och sprida information om alla relevanta händelser från kärnkraftverk. Med "händelse" avses både utrustning som inte fungerat på planerat sätt och mänskliga fel.

Därmed startades ett systematiskt arbete med erfarenhetsåterföring, d.v.s. ett system att lära av andras misstag för att undvika olyckor och öka säkerheten.

WANO

Numera finns också en global organisation, WANO (World Association of Nuclear Operators), bl.a. för uppföljning av incidenter vid kärnkraftverk.

WANO bildades efter Tjernobyl-olyckan och var till en början avsett som ett verktyg för den västerländska kärnkraftindustrin att hjälpa till med att höja säkerheten vid de ryska reaktorerna. WANO har så småningom fått en allt större roll i arbetet med erfarenhets-

återföring mellan alla typer av reaktorer.

Efter silhändelsen i Barsebäck 1992, bildades ett samarbetsorgan för erfarenhetsöverföring mellan kokvattenreaktorerna i Sverige och Finland. Det fick namnet ERFATOM och placerades vid ABB Atom (nu Westinghouse Atom).

KSU och ERFATOM

Det nordiska systemet för erfarenhetsöverföring består numera, förutom av fem kärnkraftverk i Sverige och Finland också av Kärnkraftsäkerhet och Utbildning AB (KSU) och ERFATOM.

KSU samlar in data från WANO och kärnkraftverken i Norden.

Rapporterna sammanfattas och läggs in i en databas. Därefter sker ett urval av de händelser som kan bidra till att förbättra säkerheten vid de nordiska reaktorerna. Urvalet och den efterföljande analysen görs med tanke på betydelse för den framtida reaktorsäkerheten och med tanke på användbarheten i operatörsutbildningen.

Under den senaste 5-årsperioden har drygt 1500 ärenden hanterats inom det nordiska systemet för erfarenhetsöverföring. Cirka en procent har varit av större säkerhetsmässig betydelse.

Den rapport som blir resultatet av analys skickas till kärnkraftverkens säkerhetsspecialister, som bedömer betydelsen för den egna anläggningen och genomför nödvändiga åtgärder.

Rapporterna utnyttjas också vid utbildningen av reaktoroperatörer, bland annat vid KSUs fullskalesimulatorer. Där kan man exempelvis simulera en rapporterad störning och träna operatörerna i att hantera en onormal situation.

INES-skalan

För att underlätta massmedias och allmänhetens bedömning av störningar och tillbud som rapporteras från kärnanläggningar har FN:s atomenergiorgan IAEA utvecklat en skala där inträffade händelser kan placeras in efter svårighetsgrad. Den har således samma funktion och uppbyggnad som Richterskalan.

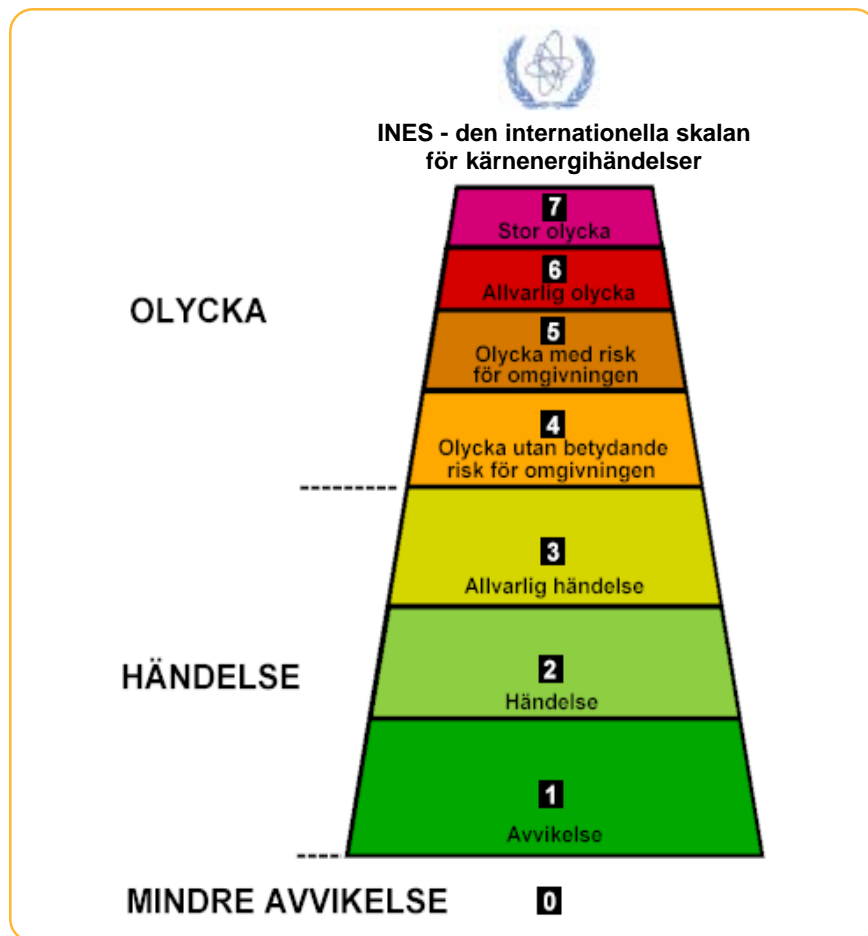
Skalan har beteckningen INES och började användas 1990, se figuren nedan. En detaljerad beskrivning av INES-ska-

lan och dess grundstruktur ges i Ref. 7.

De haverier eller händelser som berörts i denna rapport har fått följande INES-klassificeringar i efterhand, Harrisburg, nivå 5, Tjernoby, nivå 7.

De fem svenska händelser som beskrivits kortfattat i detta kapitel är alla INES-2 händelser. Övriga händelser i svenska anläggningar har fått nivån 0 eller 1.

I Ref. 8 beskrivs ytterligare ett antal olyckor som inträffat i kärnkraftverk utomlands under tiden 1952 till 1986.



5 Säkerhetsanalys

Säkerhetsanalyser är specifika för varje kärnkraftsaggregat. En anläggnings säkerhet verifieras genom säkerhetsanalys, inte bara en gång utan återkommande med tanke på den utveckling som sker av material, teknik och människor.

Säkerhetsanalyser används också för att ge vägledning vid val av lösningar som skall ge ökad säkerhet. Det finns olika slag av säkerhetsanalyser (Se även Ref. 9):

- *Deterministisk säkerhetsanalys*, som innebär en inventering av *värsta tänkbara "inledande händelser"*, som kan drabba en anläggning (t.ex. rörbrott eller elavbrott).

Därefter görs beräkningar som visar att anläggningen - och operatörerna - med tillräckliga säkerhetsmarginaler kan klara alla förlopp som sådana händelser kan utlösa.

Viktiga faktorer för analysen är kvaliteten hos anläggningen och dess komponenter, dess drift och underhåll, driftinstruktioner och andra administrativa hjälpmedel samt driftpersonalens kompetens och utbildning.

- *Probabilistisk säkerhetsanalys (PSA)*, som har sitt ursprung i flygtekniken, innebär en systematisk kartläggning av

alla tänkbara förlopp som möjliga "inledande händelser" kan leda till. Hänsyn tas till olika fel som kan uppstå i säkerhetsystemen och fel som operatörerna kan tänkas göra.

• **MTO-analyser** (MTO=Människa-Teknik-Organisation), som innebär analyser av människans och arbetsorganisationens betydelse för anläggningens säkerhet.

PSA

PSA-metodikerna fick sitt genombrott inom kärnkrafttekniken i USA 1975 i samband med publiceringen av den s.k. Rasmussenrapporten.

Värdet ligger framför allt i att metoden gör det möjligt att i det löpande säkerhetsarbetet identifiera och rangordna olika risker i en anläggning så att säkerheten kan förbättras på ett systematiskt sätt. Man kan också med hjälp av PSA identifiera komplexa beroenden av olika slag mellan system och delar av system.

PSA-beräkningar utnyttjar statistik på komponentfel och händelser från anläggningar i drift. Sådant underlag tas löpande fram som en del av den globala erfarenhetsåterföringen. Därmed förbättras grunden för beräkningarna ständigt med växande drifterfarenheter.

PSA belyser huvudsakligen den tekniska sidan av reaktorsäkerheten. Hänsyn måste också tas till de för säkerheten så betydelsefulla MTO-frågorna och till säkerhetskulturen vid respektive anläggning. Dessa faktorer kan bara indirekt speglas i exempelvis den felstatistik som PSA-beräkningarna bygger på.

PSA-resultaten kan alltså inte reservationslöst användas som mått på säkerheten, men är ett viktigt komplement till övriga typer av säkerhetsanalys.

Hur stor är risken för härdsmälta?

En olycksrisk kan uttryckas på olika sätt. När det gäller kärnkraft brukar man ange risken eller sannolikheten som antalet olyckor per reaktorår.

Den totala drifterfarenheten av lättvattenreaktorer av västerländsk typ är nu drygt 10 000 reaktorår. Den enda olycka i sådana reaktorer som lett till härdsmälta är den som inträffade i Harrisburg.

Den första fullständiga teoretiska analysen av olycksrisker, den s.k. Ramussenrapporten, publicerad i USA 1975,

angav just en risk för härdsmälta i den tidens lättvattenreaktorer på ungefär en gång på 10 000 reaktorår.

En gång på 100 000 reaktorår

När svåra olyckor inträffat mycket sällan, som i fallet kärnkraft, är det inte någon tillförlitlig metod att ange sannolikheten med utgångspunkt från någon eller några enstaka inträffade olyckor. Dessutom kan man då inte ta hänsyn till förbättringar (eller försämringar) som inträffat i säkerhetsläget med tiden.

Man använder sig då i stället av teoretiska metoder för att beräkna olycksrisker, vilket man gör med hjälp av PSA-analyser.

Internationellt kräver man nu (bl.a. via FN:s atomenergiorgan IAEA) att nybyggda reaktorer skall vara konstruerade och drivas så att risken för härdsmälta skall vara mindre än en gång på 100 000 reaktorår.

Dessutom krävs att mindre än var tionde härdsmälta skall kunna leda till nämnvärda utsläpp av radioaktiva ämnen som kan leda till markbeläggning i omgivningen. I de flesta fall, åtminstone vad gäller västerländska lättvattenreaktorer, uppnår numera även äldre reaktorer denna säkerhetsnivå.

500 reaktorer i världen

För närvarande finns bortåt 500 reaktorer i drift i världen. Om man använder den angivna målsättningen "en gång på 100 000 reaktorår" som ett genomsnitt för alla reaktorer i världen blir den matematiskt beräknade sannolikheten för en härdsmälta någonstans i världen en gång per 200 kalenderår. Risken för stora utsläpp skulle vara 10 gånger lägre.

Men sådana medelvärden bör inte tas alltför bokstavligen eftersom det inte finns någon övergripande kontroll att samtliga reaktorer lever upp till den globala målsättningen.

Sedan de svenska reaktorerna byggdes och togs i drift har säkerhetsnivån successivt förbättrats, speciellt under de senaste 25 åren. Reaktorinneslutningarna förbättrades avsevärt efter Harrisburgolyckan och omfattande modernisering av framför allt de äldsta reaktorerna har genomförts.

Kärnsäkerhetsutredningen

Den av regeringen tillsatta Kärnsäkerhetsutredningen (SOU 2003:100), som

publicerade sitt betänkande (Ref. 10) i november 2003 skrev bl.a. följande om gamla reaktorer:

"En reaktors livslängd beror inte bara på teknisk konstruktion och beräknad livslängd för olika material och delar utan även på skötsel och underhåll.

Det är därför missvisande att tala om gamla respektive nya reaktorer, förutom i bemärkelsen byggår."

"Förutsatt att anläggningarna moderniserats och underhålls i tillräcklig utsträckning finns det ingenting som säger att äldre reaktorer har en sämre förmåga än de yngre att bibehålla säkerheten.

Det kan till och med vara tvärtom. Dagens svenska reaktorer har tack vare successiv modernisering en bättre teknisk säkerhet än vid tidpunkten för drifttagningen."

Kompetensnivån

En annan viktig faktor för säkerheten är att upprätthålla tillräckligt hög kunskapsnivå i branschen och hög kompetens hos personalen vid kärnkraftverken.

Kontrollrumspersonalen utbildas internt under flera år. Ett viktigt verktyg för utbildning, träning och återträning av reaktoroperatörerna är fullskalesimulatorer. Numera finns kopior av samtliga svenska reaktorkontrollrum, som tillåter realistisk simulering av i stort sett alla tänkbara förlopp – även svåra olycksförlopp.

Risk för terrorhandlingar

Kärnkraftverken har använts under en period då även hoten från den internationella terrorismen har utvecklats.

Skyddet mot attacker av olika slag mot kärnkraftverken har successivt utvecklats och en ständig utvärdering pågår.

En av de senaste frågeställningarna är om ett kärnkraftverk skulle kunna klara av en träff av ett stort passagerarplan. Problemet har utretts i USA och även analyserats i Sverige.

Kärnsäkerhetsutredningens slutsats är att en sådan träff inte skulle leda till större utsläpp av radioaktiva ämnen från en svensk reaktor.

6 Kan man lita på reaktorsäkerheten?

Harrisburgolyckan utlöstes av en rad fel i den tekniska utrustningen samt av ett antal missförstånd och felaktiga ingredienden i kontrollrummet.

Den fråga man kan ställa sig är: kan man verkligen lita på säkerheten i sådana komplexa system som ett kärnkraftverk trots alla de olika överlappande säkerheter som byggts in i systemet?

Även silhändelsen i Barsebäck väcker samma typ av frågor. Här avslöjades en konstruktionsmiss som funnits i flera svenska och utländska reaktorer sedan de startades.

Kan man verkligen lita på de människor som konstruerat reaktorerna, de som ansvarar för driften av dem och de som övervakar säkerheten?

Ett första delsvår ifråga om Harrisburg är att trots alla fel och misstag så höll den viktiga sista barriären – reaktorinneslutningen – tätt och några nämnvärda mängder radioaktivitet läckte inte ut till omgivningen.

Sedan 1979 har en rad förbättringar genomförts vid all världens lättvattenreaktorer:

- De grundläggande säkerhetssystemen har förbättrats avsevärt i alla lättvattenreaktorer
- Funktionen hos reaktorinneslutningen har förstärkts
- Ett omfattande system för erfarenhetsåterföring har byggts upp både internationellt och nationellt
- Operatörutbildningen har utökats och förbättrats, bl.a. genom systematisk träning i realistiska simulatorer
- Säkerhetskulturen vid kärnkraftverken har utvecklats (bristen på god säkerhetskultur vid TMI var troligen den gemensamma faktor som gjorde att olyckan kunde ske).

När det gäller silhändelsen i Barsebäck visar efterföljande analys att händelsen som sådan aldrig utgjorde något akut hot mot reaktorsäkerheten: Läckan var liten. Den upptäcktes och isolerades snabbt. Eventuellt erforderlig nödkylning hade kunnat upprätthållas genom back-

spolning av de igensatta silarna. Alternativa stråk för nödkylning fanns dessutom för rörläckor av denna storlek.

Att händelsen ändå föranledde genomgripande åtgärder på de fem äldsta reaktorerna berodde på att den avslöjat alltför små säkerhetsmarginaler för det mycket osannolika fallet av ett plösligt stort rörbrott.

Uppföljningen av silhändelsen visar också att principiellt intressanta händelser i något kärnkraftverk leder till omfattande förbättringar och ombyggnader i många reaktorer världen över.

Kommer säkerheten alltid före ekonomin?

Ibland hävdas att avregleringen av elförsörjningen i Sverige och i många andra länder leder till att de ekonomiska marknadskrafterna kan locka kraftföretagen att i vissa situationer ta större hänsyn till ekonomin än till reaktorsäkerheten.

Frågeställningen har behandlats utförligt av Kärnsäkerhetsutredningen. Här följer några citat från utredningens rapport:

”Den ekonomiska press som följt i avregleringens spår ser inte ut att ha haft någon identifierbar betydelse för insatserna på säkerhet och strålskydd när det gäller investeringar och underhåll.

Bilden är dock komplicerad och det finns faktorer som skulle kunna påverka kärnsäkerheten.”

”Den förste som drabbas av de ekonomiska effekterna av en störning eller en olycka är kraftverket, och detta utgör ett inbyggt starkt incitament för att upprätthålla säkerheten.”

”När det gäller säkerhetskulturen är det dock svårt att klart urskilja avregleringens effekter.

Även om företagsledningens uttryckliga policy är att alltid sätta säkerheten främst är det tänkbart att den ökande

ekonomiska pressen leder till dubbla budskap längre ner i organisationen.”

Kärnkraftverken och reaktorsäkerhetsmyndigheterna

Den svenska kärntekniklagen (Ref. 11) anger att det är kärnkraftverket som har ansvaret för säkerheten (§10):

”Den som har tillstånd till kärnteknisk verksamhet skall svara för att de åtgärder vidtas som behövs för att med hänsyn till verksamhetens art och de förhållanden under vilka den bedrivs upprätthålla säkerheten.”

Men samtidigt är det klart att Statens Kärnkraftinspektion (SKI) och Statens Strålskyddsinstitut (SSI) skall övervaka säkerheten och strålskyddet.

Kärntekniklagen ger dessa myndigheter utomordentliga befogenheter (§18):

”Tillsynsmyndigheterna får besluta om de åtgärder som behövs samt meddela tillståndshavaren de föreläggande och förbud som behövs i enskilda fall för att denna lag eller föreskrifter eller villkor som har meddelats med stöd av denna lag skall följas.”

Lagens formulering är naturlig när det gäller en sådan verksamhet som kärnkraftdrift. De båda myndigheterna följer emellertid noggrant allt som händer vid kärnkraftverken och det finns en omfattande rapporteringsskyldighet även när det gäller detaljer.

Vid ett antal tillfällen har SKI krävt omfattande redovisningar innan återstart tillåts. Efter silhändelsen i Barsebäck beslöt SKI att de fem reaktorerna med samma konstruktion som i Barsebäck inte fick återstarta förrän ombyggnader skett.

Beslutet innebar att fem kärnkraftaggregat var ur drift under mer än 4 månader från september 1992 till januari 1993.

Tjernobyli helt annorlunda

Katastrofen i Tjernobyli har inte diskuterats i någon detalj i denna rapport.

Skälet är dels att reaktorkonstruktionen var helt olik den som finns i västerländska reaktorer, dels att säkerhetskulturen i forna Sovjetunionen i alla avseenden och inom de flesta industriella områden var på en mycket låg nivå, främmande för industriländer i väst. (Ref. 12).

Tjernobylolyckan kan därför inte användas som exempel på vad som skulle kunna hända i en svensk kärnkraftreaktor.

Det skall dock tilläggas att säkerheten i de reaktorer av Tjernobylytyp som fortfarande är i drift (t.ex. Ignalina i Litauen), förbättrats väsentligt.

Detta gäller också säkerhetskulturen vid såväl kärnkraftverken som överhuvudtaget i de berörda länderna.

7 Sammanfattande slutsatser

Riskerna förknippade med en kärnkraftolycka är exceptionellt väl kartlagda. Få eller inga andra industriella företeelser utanför eller inom energisektorn har en så väldokumenterad riskanalys som kärnkraften.

Ett skäl till denna situation är de unika krav samhället ställer på denna teknik och behovet att redovisa riskanalyserna för politiska partier och allmänheten.

Ett annat skäl är att exponering av människa och miljö för radioaktiva ämnen kan kartläggas i detalj med hjälp av enkla och tillförlitliga mätinstrument även på mycket låga strålningsnivåer. Motsvarande kartläggning är inte möjligt att göra för kemiska ämnen, eftersom mät- och analysmetoderna är bristfälliga.

Men den intensiva offentliga diskussionen om riskerna med kärnkraft och radioaktiva ämnen har i en del sammanhang lett till en mytbildning och överdriven rädsla.

Denna kan skymma den objektiva verkligheten och försvåra realistiska jämförelser med redan accepterade industriella verksamheter (Ref. 13).

Risken med kärnkraftproduktion är i genomsnitt liten jämfört med andra typer av elproduktion.

Utsläppen till omgivningen vid normaldrift av kärnkraftverken är små och utan betydelse för människors hälsa och miljön. Dessutom är kärnkraftdriften fri från koldioxidutsläpp.

Konsekvenserna av den värsta tänkbara kärnkraftkatastrofen skulle bli mycket omfattande. Men detsamma gäller många andra tekniska system som sedan länge är helt accepterade i det moderna samhället.

Nytan för samhället med en säker elförsörjning till rimlig kostnad är stor och ökar med stigande elkonsumtion.

En sviktande elförsörjning skulle kunna leda till svåra konsekvenser för samhället tekniskt, ekonomiskt och miljömässigt.

Kärntekniken förknippas i allmänhet med kraftproduktion. Men denna teknik har också resulterat i en rad andra tillämpningar inom bl.a. vetenskap, teknik, medicin, jordbruk, miljöteknik och arkeologi.

Betydelsen för ekonomi, miljö och hälsa av dessa andra kärntekniska metoder är väl så stor som den samlade kärnkraftproduktionen (Ref. 14 och 15).

En objektiv sammanvägning av risken och nyttan med kärnkraft av den typ som finns i Sverige leder fram till att risken är acceptabelt liten.

Carl-Erik Wikdahl
(cew@energiforum.se)

Denna rapport täcker ett stort område. Arbetsmetoden har varit att några personer under skrivandets gång lämnat textbidrag samt fortlöpande granskat och kommenterat texten.

På detta sätt har omfattande stöd lämnats av Hans Ehdwall, KSU, Yngve Flodin, Swedpower, och Anders Pechan, alla medlemmar av Analysgruppen vid KSU.

Dessutom har samtliga medlemmar av Analysgruppen i en slutomgång granskat och kommenterat textens innehåll och form.

Referenser

1. "Så fungerar en tryckvattenreaktor" och "Så fungerar en kokvattenreaktor". Broschyreerna, utgivna av KSU, finns som pdf på www.analys.se/Publicerat/Rapporter.
2. Säker kärnkraft? SOU 1979:86. Betänkande av Reaktorsäkerhetsutredningen.
3. Efter Tjernobyl. Konsekvenser för energipolitik, kärnsäkerhet, strålskydd och miljöskydd. Dsl 1986:11 Rapport från Expertgruppen för kärnsäkerhet och miljö.
4. "Effektivare beredskap" Rapport från Statens Strålskyddsinstitut, december 1979.
5. "Hälsorisker vid elproduktion" av Nils Starfelt och Carl-Erik Wikdahl. Utgiven 2001 av Analysgruppen vid KSU. Rapporten finns som pdf på www.analys.se/Publicerat/Bakgrunder.
6. "Hur fungerar en kärnreaktor?" av Bengt Pershagen. Utgiven 1992 och reviderad 2002. Rapporten finns som pdf på www.analys.se/Kärnkraft/Historik.
7. "INES-skalan och dess fallgropar" av Per-Åke Bliselius. Utgiven 1998 av Analysgruppen vid KSU. Rapporten finns som pdf på www.analys.se/Publicerat/Faktablad.
8. "Inträffade reaktorolyckor och system för klassificering av störningar" av Evelyn Sokolowski. Utgiven 1995 av Analysgruppen vid KSU. Rapporten finns som pdf på www.analys.se/Publicerat/Bakgrund.
9. "Reaktorsäkerheten i Sverige och närområdet" av Lennart Hammar. Utgiven 1996 av Analysgruppen vid KSU. Rapporten finns som pdf på www.analys.se/Publicerat/Bakgrunder.
10. "Kärnkraftverkens säkerhet och strålskydd". Betänkande av Kärnsäkerhetsutredningen. SOU 2003:100. Analysgruppen har gett ut en citatsamling från utredningen. Denna rapport finns som pdf på www.analys.se/Publicerat/Faktablad.
11. Lag om kärnteknisk verksamhet 1984:3.
12. "FN:s analys av Tjernobylyolyckan" av Claes-Göran Kjellander. Utgiven 2003 av Analysgruppen vid KSU. Rapporten finns som pdf på www.analys.se/Publicerat/Bakgrunder.
13. "Kärnspöken". Om energi, rädsla och myter av Håkan Hagwall och utgiven 2003 av Analysgruppen vid KSU. Skriften finns som pdf på www.analys.se/Nytt.
14. "Kärnteknikens samhällsnytta", av Imre Pazit. Utgiven 2000 av Analysgruppen vid KSU. Rapporten finns som pdf på www.analys.se/Publicerat/Faktablad.
15. "Strålning inom medicinen", av Ragnar Hellborg. Utgiven 2001 av Analysgruppen vid KSU. Rapporten finns som pdf på www.analys.se/Publicerat/Faktablad.

Det finns ett omfattande standardverk på svenska om reaktorsäkerhet: "Lättvattenreaktorers säkerhet" av Bengt Pershagen. Efn-rapport nr 20 utgiven 1986. Distribution Liber Förlag. Boken finns också utgiven i en utökad version som "Light Water Reactor Safety". Pergamon Press 1989

Kärnkraftsäkerhet och Utbildning AB (KSU)

Kärnkraftsäkerhet och Utbildning AB (KSU) ansvarar för vissa gemensamma säkerhets- och utbildningsfrågor på uppdrag av Barsebäck Kraft AB, Forsmarks Kraftgrupp AB, OKG Aktiebolag och Ringhals AB.

Företaget utbildar kontrollrumsoperatörerna vid kärnkraftverken i Barsebäck, Forsmark, Oskarshamn och Ringhals genom bland annat träning i simulatorer och teoretiska kurser i kärnkraftteknik.

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 deltar i 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*-serien 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, ansvarig erfarenhetsåterföring, KSU

Yngve Flodin, civilingenjör, reaktorsäkerhetsexpert, Swedpower AB

Jenny Gode, civilingenjör, projektansvarig ny elproduktionsteknik, Elforsk AB

Mats Harms-Ringdahl, professor, strålningsbiolog, Stockholms Universitet

Gunnar Hovsenius, tekn lic, miljöansvarig, Elforsk AB

Carl-Göran Lindvall, ingenjör, radiologisk föreståndare, Barsebäck Kraft AB

Anders Pechan, informationskonsult

Agneta Rising, fil. kand, miljöchef, Vattenfall AB

Carl-Erik Wikdahl, civilingenjör, konsult, EnergiForum AB
