



Olycka? Tillbud? Katastrof?

Inträffade reaktorolyckor och system för klassificering av störningar

Kärnkraften är ständigt föremål för kritisk granskning. Detta är bra, men det har lett till att triviala händelser ofta överdramatiseras.

Störningar beskrivs utan fog som "nära Tjernobyl". Allmänheten oroas i onödan och får en felaktig bild av säkerheten.

I denna Bakgrund beskrivs sex verkliga reaktorolyckor, där en stor del av härden förstördes. Två av dem inträffade i tidiga militära anläggningar (SL-1 i USA, Windscale i England). Två drabbade små civila kraftverksprototyper (NRX i Canada, Lucens i Schweiz), medan två (Three

Mile Island i USA, Tjernobyl i Ukraina) hände vid stora kärnkraftverk. Bara Tjernobyl gav svåra omgivningsskador.

För att underlätta inte minst massmediernas bedömning av inträffade störningar har Internationella atomenergiorganet IAEA i samråd med OECD utvecklat en skala, där störningarna placeras in efter allvarlighetsgrad på grundval av väldefinierade kriterier.

Skalan började användas först 1990, men några av de olyckor som beskrivs här har klassificerats i efterhand.

1 Inträffade svåra reaktorolyckor

De olyckor som beskrivs här inträffade mellan 1952 och 1986.

Utifrån det säkerhetstänkande som idag präglar kärnkrafttekniken ter sig framför allt de gamla anläggningarna häpnadsväckande primitiva.

De hade exempelvis öppna kylkretsar som vid bränsleskador kunde släppa radioaktivitet rätt ut i omgivningen, och saknade säkerhets-system.

Ändå blev följderna, med undantag för Tjernobyl, relativt små.

Avsaknaden av konsekvenslindrande anordningar uppvägdes av att såväl reaktoreffekten som energiuttaget ur bränslet var låga.

Trots de stora olikheterna är några gemensamma drag värda att notera.

I samtliga fall, utom TMI, inträffade olyckan under eller i samband med avställning för prov eller underhåll.

Bortkoppling av automatiken och brott mot föreskrifter går igen i flera av scenarierna.

Kemiska reaktioner bidrog i flertalet fall till skadornas omfattning.

1.1 NRX, Canada, 1952

NRX (National Research X-metal) var en *forskningsreaktor* vid Chalk River-laboratorierna i Ontario, med en högsta värmeeffekt på 30 MW.

Den var en föregångare till de kanadensiska kraftreaktorerna och, liksom de, tungvattenmodererad.

Kylvattnet var vanligt vatten som togs direkt ur Ottawa-floden. Bränsle och kylvatten fanns i vertikala tryckrör, skilda från moderatorn genom en luftspalt. Bränslet var metalliskt uran, kapslat i aluminium.

Vid olyckstillfället hade reaktorn varit avställd i flera dagar, och man var i färd med att göra mätningar i olika bränslekanaler. Det ordinarie kylvattenflödet genom flera av dessa kanaler var strypt.

Olyckan inleddes med felaktiga styrvansmanövrer, som var möjliga genom att automatiska säkerhetssystem var bortkopplade.

Genom manuella ingripanden lyckades man först hejda effektökningen vid

17 MW. På grund av det strypta kylvattenflödet började emellertid vattnet att koka.

Avgörande för förloppet blev att NRX, liksom senare Tjernobyl, hade en positiv "voidkoefficient", som gjorde att ångbildningen påskyndade kedjereaktionen.

(Fenomenet förklaras närmare i avsnitt 1.6. I de kommersiella kanadensiska kraftreaktorerna har instabiliteten konstruerats bort.)

På 10–15 sekunder steg effekten till 80 MW. Tryckrören till bränslekanalerna sprängdes, väggarna mot moderator-tanken genombröts, och moderatorn rann ut, vilket stoppade kedjereaktionen.

Inalles förstördes 22 av reaktorns 192 bränslekanaler.

En del av bränslestavarna och tryckrören hade smält. Senare undersökningar visade att härskadorna delvis hade orsakats av kemiska reaktioner mellan uranmetall och vatten, som utvecklade värme och frigör vätgas.

(Den kraftiga reaktionen mellan me-

talliskt uran och vatten var ett av skälen till att man i vattenkylda reaktorer tidigt övergick till urandioxidbränsle.) Man fann också att en knallgasexplosion inträffat i moderatorn.

Någon inneslutning fanns inte. Från luften från reaktorbyggnaden gick ofiltrerad genom ventilationsskorstenen.

I reaktorbyggnadens källare hade ansamlats ca 4 000 m³ vatten, innehållande 400 TBq radioaktiva ämnen, varav ca 40 TBq strontium-90 (1 tera-becquerel, TBq = 10¹² becquerel).

Det radioaktiva vattnet pumpades som en nöddåtgärd till diken som grävts i sanden på anläggningsområdet.

Marken visade sig ha stor förmåga att binda de radioaktiva ämnena. Det upp-gavs dock 1956 att ca 4 x 10⁵ Bq strontium per dygn nådde fram till Ottawa-floden.

Omgivningsmätningar i floden liksom på den omgivande marken visade emellertid ytterst små förhöjningar av strålningsnivån. □

1.2 Windscale England 1957

Windscale var en *militär* reaktor för framställning av vapenplutonium, alltså inget kärnkraftverk. (Detta förtjänar särskilt att understrykas, då det ofta sker en förväxling med det närbelägna elproducerande kärnkraftverket Calder Hall).

Reaktoreffekten är inte känd – den var en militär hemlighet.

Reaktorn bestod av ett grafitblock – moderatorn – genomborrat av horisontella kanaler för bränslestavarna av uranmetall.

Höga halter av radioaktivitet i luften visade att bränslet skadats. Ett dygn efter det att härden överhettats försökte man kväva elden med koldioxid, dock utan framgång. Efter ytterligare 12 timmar lyckades man släcka branden med vatten.

Den efterföljande analysen har visat att bränslet inte smälte. Överhettningen berodde inte på frigjord Wigner-energi.

Istället antas lokala kapslings-skador ha gjort att het uranmetall kom i kontakt med luft och oxiderades under frigö-

Jodutsläppen gjorde att man i grevskapet Cumberland införde mjölkrestriktioner, som i närområdet bibehölls i 44 dagar.

Förhöjda sköldkörteldoser erhöles i Västeuropa, främst i Storbritannien.

Med gängse samband mellan stråldos och cancerrisk beräknas olyckan teoretiskt ha kunnat ge omkring 20 extra dödsfall i sköldkörtelcancer, som dock inte kan påvisas mot de "normala" fallen i den berörda befolkningen. □

Katastrofhot i "vätebombreaktor"
LARM I ATOMFABRIK
MILA KOKADE ÖVER

Radioaktivt stoft ur skorstenarna spreds över havet

LONDON, fredag.
Tre tusen arbetare vid den engelska "atomfabriken" Windscale i Cumberland vid skotska gränsen fick order att vidta skyddsåtgärder mot risken av ökad radioaktivitet efter en överhettning av uraninstavar i anläggningen på fredagen.

Plutonium — råvara för atom- och vätebomber — är den viktigaste produkten i Windscale, som tillsammans med Aldermaston i Berkshire nära London är den bemänskade och militärt mest betydande av de engelska atomstationerna. Driften i Windscale hålls i gång med elektrisk kraft från Calder Hall, Englands första och världens hittills största atomkraftverk.

De två reaktorerna i Windscale stoppades på fredagsmorgondagen sedan det blivit klart att några av uraninstavarna i anläggningen överhettats och börjat smälta, vilket lett till överproduktion av radioaktivt material. Flera hundra arbetare vid anläggningen skickades hem, och andra beordrades att vidta skyddsåtgärder mot den hotande radioaktiviteten.

Den brittiska atomenergikommissionen i London meddelar smärre stund senare att det inte finns någon anledning.

Form. sidan fjortio, spalt tre.

Stavarna kyldes med luft, som efter filtrering blåstes direkt ut genom ventilationsskorstenen.

Vid neutronbestrålning av grafit sker omflyttningar av atomer i grafitkristallerna som innebär en upplagring av energi (s k Wigner-energi). Vid upphettning kan denna energi plötsligt frigöras.

För att förhindra att alltför mycket energi byggs upp måste man emellanåt värma grafiten.

(I grafitmodererade kraftreaktorer har grafiten så hög temperatur att särskild utglödning inte är nödvändig).

Olyckan, som kom att sträcka sig över flera dagar, inleddes med en sådan utglödning av Wigner-energi. För att hetta upp grafiten ökade man den nukleära effekten, med luftkyllningen avstängd.

De temperaturgivare som styrde effektuppgången var tydligen inte representativa – vissa kylkanaler överhettades och grafiten började brinna innan reaktorn ställdes av.

relse av energi. Detta tros i sin tur ha antant grafiten.

Stora utsläpp av radioaktivitet skedde via ventilationsskorstenen. Av radiologisk betydelse var utsläppet av jod-131 på 600 TBq. Mängden cesium-137 och strontium-90 var relativt liten, 20 respektive 0.07 TBq.

Detta torde ha berott på filterverkan av olika slag i anläggningen, men också på att produktion av vapenplutonium förutsätter täta bränslebyten, som förhindrar att långlivade radioaktiva ämnen byggs upp.

1.3 SL-1, USA, 1961

SL-1 (Stationary Low Power) var ett litet *experimentkraftverk* på 3 MW värmeeffekt, beläget på amerikanska Atomenergikommissionens försöksområde i Idaho.

Verket tjänade som prototyp för anläggningar som skulle försä avlägsna militärbaser med el och värme.

Reaktorn var en lättvattenkokare med självirkulation. Bränslet var en legering av höganrikat uran och aluminium, av samma typ som använts i materialprovsningsreaktorer. Effekten reglerades huvudsakligen med en centralt placerad styrstav som ovanifrån sköts in i härden.

Den stora överskottsreaktiviteten i den färskva härden kompensades med brännbar absorbatör (bor), inuti alumi-

niumremsor som punktsvetsats till bränslepätronerna.

Några månader före olyckan noterades en betydande borförlust genom korrosion, som bara delvis ersattes.

Vid olyckstillfället hade reaktorn varit avställd i tolv dygn för planerat underhåll. För att kunna lyfta tanklocket hade man kopplat loss den centrala styrstaven från dess drivdon.

Vid återmonteringen av drivdonet kom styrstaven att lyftas så långt ut att reaktorn blev prompt kritisk (dvs okontrollerbar).

De tre militärer som skötte monteringen omkom omedelbart, och orsaken till styrstavsdragningen har aldrig kunnat klarläggas. Reaktoreffekten rusade

upp till 19 000 MW. Tryckstöten på grund av plötslig ångbildning deformerade reaktortanken och sköt ut styrstaven ur härden

Omkring 15 % av den frigjorda energin härrörde från kemiska reaktioner mellan het metall och vatten. 20 % av härden hade smält och t o m delvis förångats. Stora mängder radioaktiva ämnen kom ut i reaktorhallen.

Trots att reaktorn saknade inneslutning blev utsläppen till omgivningen små.

Utsläppet av jod-131 har uppskattats till 3 TBq, alltså 0,5 % av utsläppet i Windscale. □

1.4 Lucens, Schweiz, 1969

Lucens var en *kraftverksprototyp* med en tungvattenmodererad reaktor på 30 MW värmeeffekt.

Konstruktionen påminde om de kanadensiska kraftreaktorernas, med bränslepätronerna placerade i tryckrör som löpte vertikalt genom reaktortanken.

Reaktorn var förlagd i ett underjordiskt berggrum, konstruerat för att motstå en fullständig härdsmläta.

Bränslepätronerna hade en speciell utformning: de bestod av grafitpelare med sju genomgående bränslekanaler, var och en innehållande en bränslestav av metalliskt uran.

Kylmedlet var koldioxid som cirkulerade uppåt i bränslekanalerna och åter-

fördes ner i en fallspalt mellan grafitpelare och tryckrör. Värme överfördes till en sekundärkrets via ånggeneratorer. Verket hade gått vid full effekt i över två månader och därefter varit avställt i tre månader för förbättringsarbeten och reparationer. Olyckan inträffade vid återuppstartningen, då man nått 12 MW effekt.

Det visade sig att smörjvatten en längre tid läckt in genom glidringstättningar till huvudcirkulationsfläktarna.

Vattnet hade förorsakat korrosion på bränslekapplingen, och korrosionsprodukterna hade kommit att blockera inloppen till kylkanalerna.

Vid effektuppgången började centralt

belägna bränslestavar att smälta och brinna. Den berörda grafitpelaren deformades och förstörde sitt tryckrör och moderatortanken. Vid det laget hade styrstavarna körts in och stängt av reaktorn. När moderatorvattnet kom i kontakt med det smälta bränslet, inträffade explosionsartade kemiska reaktioner som deformerade reaktorn så att bl a de inskjutna styrstavarna kärvade fast.

Bränsleskadorna inskränkte sig dock till den centrala pätronen.

Inga radioaktiva utsläpp till omgivningen förekom. Reaktorn lades ner efter olyckan. □

1.5 TMI Harrisburg USA, 1979

TMI-2 var en tryckvattenreaktor på 880 MWe. Den hade tagits i drift bara några månader före haveriet.

Tryckvattenreaktorer avger reaktorns

kylvatten sitt värme i ånggeneratorerna. Dessa kyls med matarvatten från turbin-kondensorn.

Den händelse som utlöste haveriet

var att matarvattenpumpen till en av ånggeneratorerna slog ifrån på grund av ett trivialt fel i en reningskrets. Matarvattenbortfall utlöser automatiskt

”snabbstopp”, dvs kedjereaktionen avbryts.

Reaktorn var alltså avställd under hela det fortsatta förloppet.

Eftersom strålningen i bränslet fortsätter att alstra värme också efter snabbstopp, kvarstår dock behovet att kyla reaktorn.

När det normala matarvattenflödet 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. Reaktorn fick otillräcklig kylning.

Reaktortrycket började nu stiga. En tryckavlastningsventil öppnade automatiskt i reaktorkylkretsen och blåste av ånga. *När trycket återgått till normalt värde, fick ventilen signal att återstänga, men 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: instrumenten i kontrollrummet visade bara att ventilen fått signal att stänga, inte hurvida detta verkligen skett.

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 dem 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 att torrläggas och överhettas.

Inte förrän drygt 2 timmar efter snabbstoppet upptäckte man den fastnade ventilen och stoppade läckaget genom att stänga en blockeringsventil. Det uppstod dock stora svårigheter med att återställa kylningen.

Reaktorhärden var svårt skadad och kylkanalerna raserade. Kemiska reaktioner mellan vattenånga och det överhettade bränslet hade bildat vätgas som blockerade kylvattencirkulationen. Först efter ca 16 timmar var reaktorn säkert

under kontroll. *Inte förrän 1988, när reaktorn hade plundrats på bränslet, fick man hela facit i handen: drygt 50 % av härden hade smält.*

Genom att kylvattenläckan upptäcktes så sent, hann stora mängder radioaktivt förorenat vatten och gas komma ut i reaktorinneslutningen. En del av vattnet hann pumpas ut i en hjälpsystembyggnad innan inneslutningen stängdes, beroende på olämplig logik i stängningsautomatiken.

Stora gasmängder som följde med vattnet bröt igenom ventilationsfiltren i hjälpsystembyggnaden, vilket kom att ge det största radioaktiva utsläppet i samband med olyckan.

Utsläppet 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.

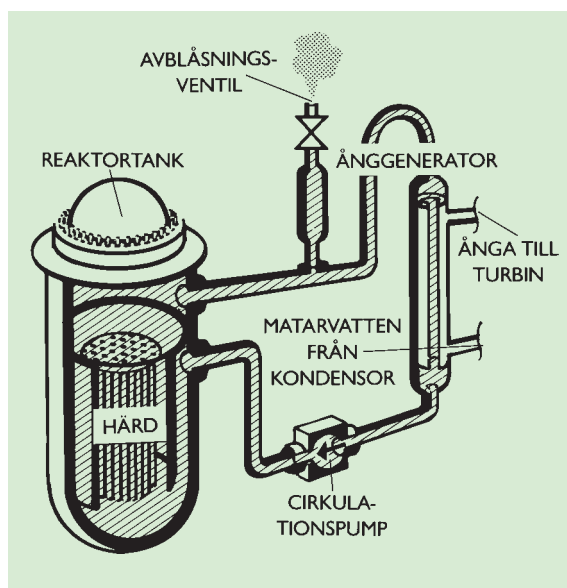
De från radiologisk synpunkt besvärliga ämnena, som jod och cesium, hade till överraskande stor del förblivit bundna inne i anläggningen, som med sina stora

vattenvolymer fungerat som ett effektivt filter.

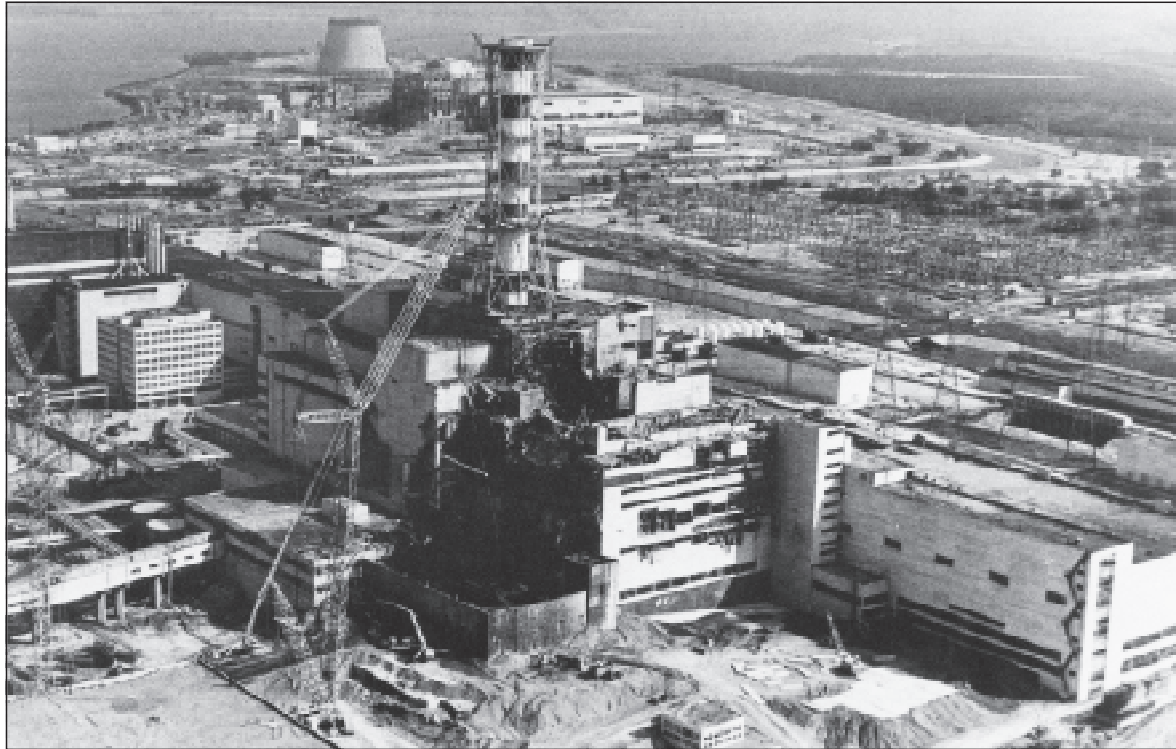
Jodutsläppet har uppskattats till 0,6 TBq, dvs 1 000 gånger mindre än vid Windscaleolyckan (avsn 1.2).

Den högsta stråldos, som någon person hade kunnat få, vid ständig utomhusvistelse i anläggningens omedelbara närhet, var mindre än 1 millisievert.

Det motsvarar ett års naturlig stråldos, eller en enklare röntgenundersökning. □



1.6 Tjernobyl, Ukraina, 1986



Tjernobylreaktorerna tillhör en familj av grafitmodererade, lättvattenkylda reaktorer (RBMK), som förekommer endast i f d Sovjetunionen.

Den havererade reaktorn, Tjernobyl 4, hade en nominell elektrisk effekt på 1 000 MWe och togs i drift 1983.

Reaktorhärden i dessa aggregat består av ett stort cylindriskt grafitblock, 12 m i diameter och 7 m högt. Vertikalt genom grafiten går kanaler för bränslet och styrstavarna.

Kanalerna genomströmmas av vatten, som, när det upphettas av bränslet, börjar koka. Från utloppet av bränslekanalerna förs ångan via två ångsamlingslådor till de båda turbinerna.

Vatten har en stark inverkan på kedjereaktionen i en reaktor. Vattnets förmåga att moderera (= bromsa) neutroner gynnar kedjereaktionen, medan dess benägenhet att absorbera neutroner missgynnar den. Vilken av de båda mekanismerna som dominerar beror på reaktorns utformning.

Om reaktorn från början är "övermodererad" har en minskning av vattenmängden en påskyndande (positiv) nettoeffekt på kedjereaktionen genom att neutronabsorptionen minskar. Vi talar om en *positiv voidkoefficient* (void = tomrum).

En ökning av reaktoreffekten ger en minskning av vattenmängden i kylkanalerna genom att vattnets densitet minskar vid upphettning och kokning.

Den positiva voidkoefficienten leder då till att effekten ökar ännu mera osv. Likaså kan förlust av kylmedel leda till okontrollerad effektökning.

Denna inneboende instabilitet var grundorsaken till haveriet. Bidragande orsaker var felaktig hantering från driftpersonalens sida.

I samband med en planerad avställning ville man göra ett experiment utanför drifrutinen. Experimentet sammanhängde med att kraftförsörjningen till huvudcirkulationspumparna inte var tryggad vid yttre nätbortfall och turbinfrånslag.

De reservdieslar som då skulle ta vid var tröga, och det gällde att överbrygga tiden till dess att de kunde träda i funktion.

Experimentet gick ut på att pröva om den levande kraften i de utrullande turbinerna kunde driva pumparna under det kritiska tidsintervallet.

Avsikten var att utföra provet vid nedgången från full effekt. Emellertid råkade kraftkontrollen i Kiev beordra blocket att under längre tid lägga sig på en lägre effektnivå.

När provet väl skulle utföras, hamnade man då i den sk xenontransienten som gjorde det svårt att hålla igång reaktorn. (Se faktarutan på sidan 7.)

Detta fick två ödesdigra följder. Dels kom experimentet att sättas igång vid betydligt lägre effekt än planerat, dels drogs styrstavarna längre ut ur härden än som var tillåtet.

För att sätta systemet på tillräckligt hårt prov kopplade man alla åtta huvudcirkulationspumparna till den utrullande turbinen.

Faktaruta

Xenontransient

Ett av de ämnen som bildas vid kärnklyvning är jod-135, som genom radioaktivt sönderfall omvandlas till xenon-135.

Detta kärnslag har extremt stor benägenhet att absorbera neutroner och "stjäla" dem från kedjereaktionen.

När reaktorn länge gått på konstant effekt, ligger xenonkoncentrationen på ett jämviktsvärde: xenonkärnor förstörs (genom bl a neutronabsorptionen) i samma takt som de bildas.

Om reaktoreffekten nu sänks, minskar mängden neutroner och därmed xenonsvinnet, medan xenonproduktionen i förstone förblir oförändrad på grund av det jod som redan bildas.

Xenonkoncentrationen ökar därför och når ett maximum först efter ca tio timmar.

Under denna "xenontransient" kan det vara svårt att hålla igång kedjereaktionen.

Kylvattenflödet blev därigenom kraftigare än normalt, då två av pumparna i vanliga fall stod som reserv. Detta tillsammans med den låga effektnivån gjorde att kokningen i kanalerna undertrycktes helt, ett tillstånd då reaktorn är särskilt känslig för en ändring i ångvolymen.

En sådan ändring inträdde när turbinen varvade ner: kylvattenflödet minskade, kokning satte in och reaktoreffekten rusade upp på grund av den positiva voidkoefficienten.

Operatörerna utlöste nu styrstavarna ("snabbstoppet"). (Den automatiska snabbstoppsfunktionen hade dessförinnan kopplats bort – ett regelbrott som dock knappast påverkade olyckan.)

Det följande förloppet måste med största sannolikhet tillskrivas en allvarlig felkonstruktion av styrstavarna.

Som redan nämnts rör sig styrstavarna i vattenfyllda kanaler i reaktorhärden. Förutom den aktiva absorbatordelen har varje styrstav en grafitpelare, som med ett teleskoprör är fäst under absorbatorn. Från neutronfysikalisk synpunkt är grafit närmast ett tomrum jämfört med vatten.

När de alltför långt utdragna styrstavarna kördes in i reaktorhärden var det första som hände att grafitpelarna trängde undan vatten i den mest aktiva delen av härden, vilket gjorde att kedje-

reaktionen på grund av den positiva voidkoefficienten sköt våldsamt fart.

På 7 sekunder ökade reaktoreffekten ungefär 50 gånger, och explosionen var ett faktum.

Styrstavsproblemet hade redan uppmärksamats 1983 vid Ignalina-kraftverket i Litauen men inga åtgärder hade vidtagits från centralt håll.

IAEAs rådgivande säkerhetskommitté påpekar i en nyutkommen analys att också andra näraliggande mekanismer hade kunnat ge samma katastrofala resultat, exempelvis bortfall av huvudcirkulationspumparna och därav följande stopp i kylvattenflödet, eller brott i de zirkoniumrör som skiljer kylvattnet från den heta (ca 700 °C) grafitmoderatoren, med momentan förångning som följd.

Haveriet förvärrades av att grafiten fattade eld och att kemiska reaktioner mellan vatten och glödande grafit bildade brinnande gaser. En eldpelare på 1200 meter bidrog till att sprida radioaktiva ämnen.

Haveriförloppet var helt väsensskilt från dem som skulle kunna inträffa i västliga lättvattenreaktorer.

Avsaknaden av reaktorinneslutning har ofta påtalats, men det finns anledning att betvivla att en inneslutning i detta fall hade minskat följderna av olyckan.

Det dröjde tio dagar innan man fick branden under kontroll. Då hade 31 personer bland anläggnings- och släckningspersonalen omkommit eller fått dödliga skador. Ytterligare ca 200 kom att drabbas av akut strålsjuka.

Det totala utsläppet har på senare år uppskattats till 4×10^{18} Bq (4 000 000-TBq) ädelgaserna undantagna.

Inom trettio kilometers radie evakuerades 135 000 människor för överskådlig tid på grund av svår radioaktiv beläggning. Kraftverkets tre övriga block var dock oskadda och togs i drift efter dekontaminering och vissa säkerhetshöjande åtgärder.

Först 1989 fick omvärlden veta att också ett stort område i Vitryssland, över 200 km från Tjernobyl, drabbats av mycket kraftigt radioaktivt nedfall som krävde omfattande livsmedelsrestriktioner och evakuering.

Även länder utanför d Sovjetunionen blev kontaminerade, dock i betydligt mindre grad.

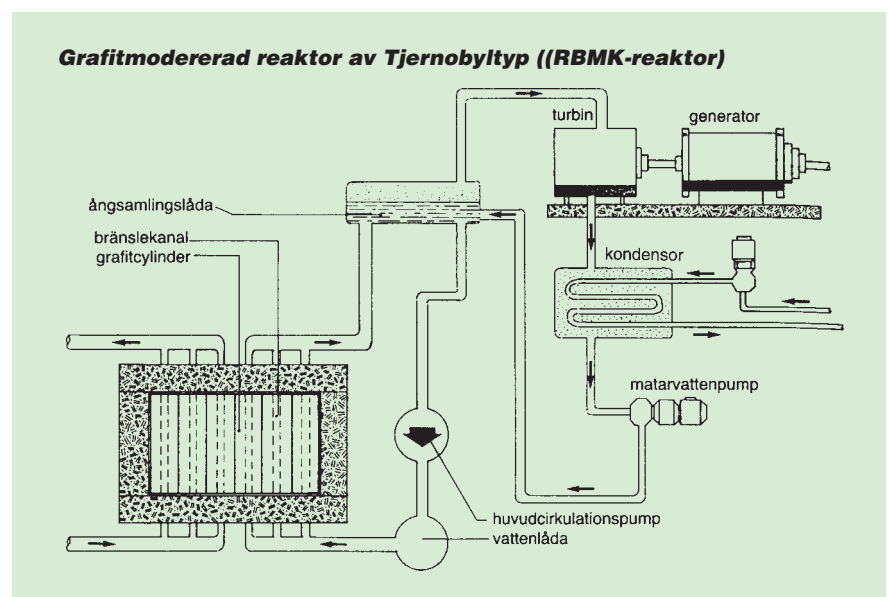
Olika internationella organisationer, bl a WHO och IARC (FNs organ för cancerforskning) följer sedan flera år hälsoutvecklingen i de mest berörda områdena.

Den enda strålningsrelaterade sjukdom man hittills kunnat belägga hos befolkningen är sköldkörtelcancer hos barn, som sedan 1990 och fram till 1995 ökat med ca 500 fall.

Orsaken är stora intag veckorna efter olyckan av radioaktiv jod som ansamlas i sköldkörteln.

Någon ökning av leukemi har inte konstaterats, trots att denna cancerform har kort latenstid och borde ha nått sin kulmen.

Icke strålningsrelaterade följder av olyckan är sjukdomar på grund av stress, oro och undernäring. □



2 Klassificering efter svårhetsgrad

2.1 INES-skalan

För att underlätta massmediernas och allmänhetens bedömning av störningar och tillbud som rapporteras från kärnanläggningar, har Internationella atomenergiorganet IAEA i samråd med OECD utvecklat en skala där inträffade händelser kan placeras in efter svårhetsgrad.

Skalan har beteckningen INES (International Nuclear Event Scale). Den började användas på prov 1990 och har nu antagits i en mera slutgiltig form.

Skalan omfattar åtta nivåer – från 0 till 7 (se sidan 9). Nivån för en händelse bestäms av tre kriterier:

- omgivningspåverkan,
- anläggningspåverkan
- försämring av djupförsvaret.

Det kriterium som ger den högsta nivån blir avgörande.

Begreppet ”djupförsvaret” kräver en förklaring. Det utgör en grundsten i den civila kärnkraftens säkerhetsfilosofi.

Innebörden är att säkerheten tillgodoses på flera successiva nivåer, så att man har mångdubbla skyddsnet.

Huvudnivåerna är den haveriförebyggande, den haverimotverkande och den konsekvenslindrande nivån.

På den haverimotverkande nivån, som omfattar ett antal till stor del automatiska säkerhetssystem, har principen med mångdubbla skyddsnet utvecklats ytterligare ett steg genom krav på redundans (= övertalighet), diversifiering (= mångfald) och rumslig separation.

”Försämring av djupförsvaret” innebär att den stora marginal mot en olycka, som det intakta djupförsvaret tillhandahåller, varit försämrad vid den aktuella händelsen.

INES har ibland kallats för kärnkraftens Richterskala. Jämförelsen haltar dock, då tillämpningen av INES-kriterierna – särskilt det som gäller djupförsvaret – kräver analys och i någon mån är öppen för tolkningar.

Kravet att snabbt kunna tillhandahålla en INES-klassificering så snart en händelse inträffat kan komma i konflikt med kravet på en noggrannare analys. Den första klassificeringen kan därför behöva revideras. Det rör sig dock sällan om mer än ett steg uppåt eller neråt.

Från att först ha varit avsedd enbart för kärnkraftverk, har INES kommit att tillämpas också på annan nukleär verksamhet, såsom bränslefabriker, uppdrifts- och reparationsanläggningar, transporter och bestrålningsfaciliteter.

Detta kan möjligen vara missvisande, då de högsta nivåerna (5 och däröver) för många verksamheter aldrig kan bli aktuella.

Det förtjänar också att påpekas att en klassificering enligt djupförsvarkriteriet inte innebär en bedömning av djupförsvarets allmänna kvalitet vid den aktuella anläggningen.

Klassificeringen hänför sig endast till den specifika händelsen. □

2.2 Resultat av klassificeringen

Under tiden 1990-93 har, enligt IAEA, 53 reaktorhändelser hänförs till nivå 2, och 6 till nivå 3.

Bara två av dessa 59 händelser klassades på grund av anläggningspåverkan (överexponering av personal), alla övriga på grund av försämrat djupförsvaret.

Av nivå-3-händelserna inträffade det stora flertalet i f.d. Östblocket. Några händelser över nivå 3 har inte förekommit.

För 1994 rapporterades 7 reaktorhändelser på nivå 2, och inga däröver. Man har emellertid också gått tillbaka i tiden och klassat tidigare händelser. Tjernobylolyckan (avsn. 1.6) är den enda som hänförs till nivå 7, ”stor olycka”.

Nivå 6, ”allvarlig olycka”, har använts en gång, för explosionen i den militära uppdrifts- och reparationsanläggningen i Kyshtym i Sovjetunionen 1957.

Windscale (avsn. 1.2) och TMI (avsn. 1.5) har båda hänförs till nivå 5, ”olycka med risk för omgivningen”.

Av svenska händelser som klassificerats enligt INES har de allvarligaste hänförs till nivå 2.

En inträffade under avställning i Oskarshamn-3 1987. Den innebar att underkritiska mätningar med styrstavsdragningar gjordes utan att det hydrauliska snabbstoppsystemet var tillgängligt. Analyser har visat att någon risk för omgivningen aldrig förelåg.

Ännu en händelse inträffade i Barsebäck-2 i juli 1992. Ångstrålen från en läckande ventil rev loss isolermaterial, som hamnade i kondensationsbassängen och täppte igen intagen till nödkylningsledningarna på betydligt kortare tid än som förutsetts.

Händelsen som sådan utgjorde aldrig något hot: läckan var liten. Den upptäcktes och isolerades snabbt. Erforderlig nödkylning hade kunnat upprätthållas genom backspolning av de igensatta intagen.

Alternativa stråk för nödkylning fanns dessutom för läckor av denna storlek.

Att händelsen ändå föranledde genomgripande åtgärder på våra fem äldsta

reaktorer berodde på att den avslöjat alltför små säkerhetsmarginaler för det mycket osannolika fallet av ett plötsligt, stort rörbrott.

Vissa massmedia förväxlade riskerna på den verkliga händelsen med den potentiella risken vid en händelse som ännu aldrig inträffat någonstans.

Ytterligare en svensk händelse på nivå 2 inträffade i Ringhals 2 1994. Öppningsstrycket på en säkerhetsventil visade sig ha varit inställt på ett för högt värde. Vid kontroll upptäcktes samma felinställning vid de andra tryckvattenreaktorerna Ringhals 3 och 4.

Det felaktiga öppningstrycket var

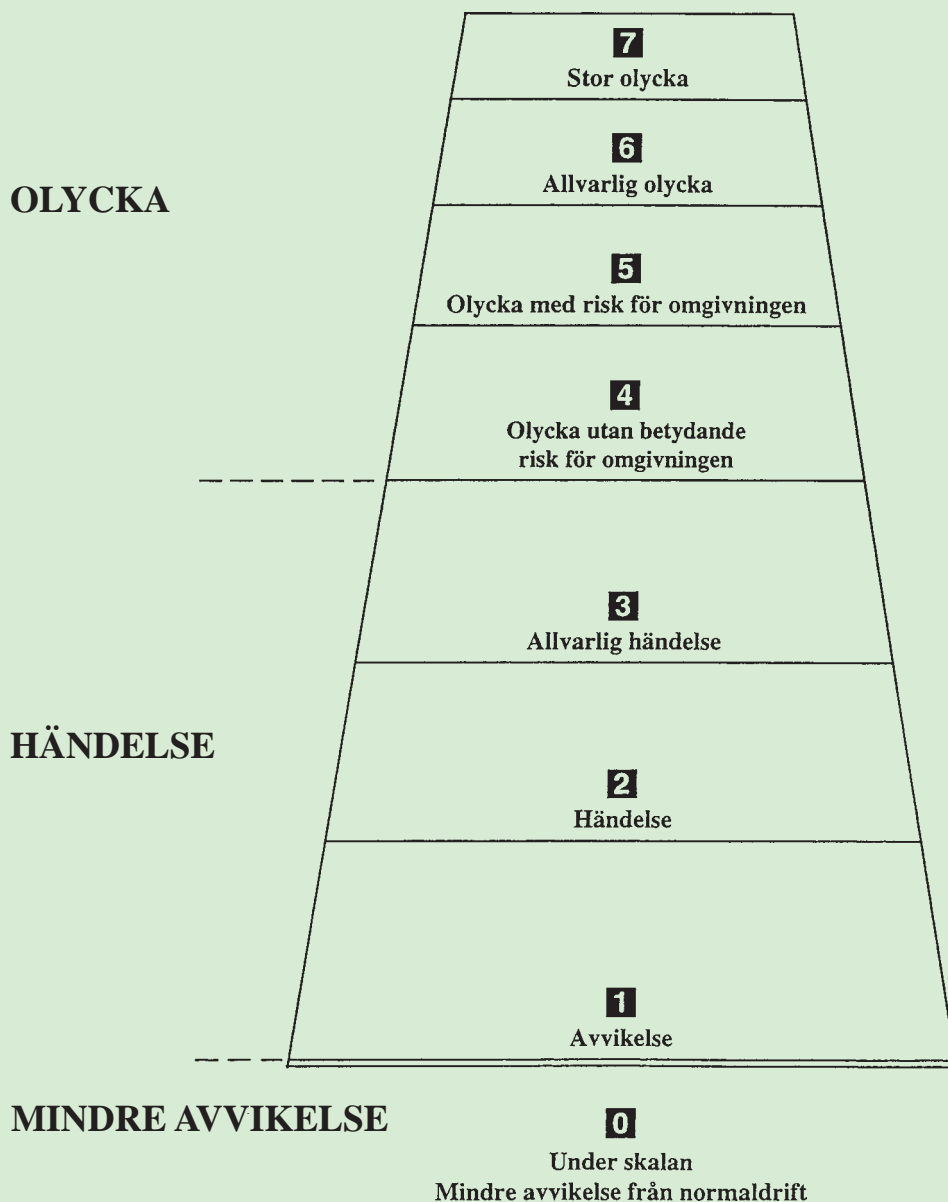
fortfarande under konstruktionstrycket, varför situationen som sådan inte hotade säkerheten. INES-klassningen föranledes av att händelsen visat på bristande kontroll. □

Everlyn Sokolowski



Den internationella skalan för kärntekniska händelser

För snabb information om betydelsen för säkerheten



Skalans grundstruktur

	KRITERIER			
	Omgivningspåverkan	Anläggningspåverkan	Försämring i djupförsvaret	
7 Stor olycka	Mycket stort utsläpp: omfattande hälso- och miljöpåverkan.			
6 Allvarlig olycka	Stort utsläpp: beredskapsåtgärder sätts sannolikt in i full omfattning.			
5 Olycka med risk för omgivningen	Begränsat utsläpp: beredskapsåtgärder sätts sannolikt in i begränsad omfattning.	Allvarliga skador på reaktorhård och /eller strålskyddsbarriärer.		
4 Olycka utan betydande risk för omgivningen	Litet utsläpp: allmänheten utsätts för stråldoser inom föreskrivna gränser.	Betydande skador på reaktorhård och/eller strålskyddsbarriärer och/ eller livshotande stråldoser till personal.		
3 Allvarlig händelse	Mycket litet utsläpp: allmänheten utsätts för mycket små stråldoser inom föreskrivna gränser.	Mycket omfattande spridning av radioaktiva ämnen och/eller höga stråldoser till personal.		Nära olycka. Inga återstående skyddsbarriärer.
2 Händelse		Betydande spridning av radioaktiva ämnen och/ eller förhöjda stråldoser till personal.		Händelse med betydande avvikelser från säkerhetsförutsättningarna.
1 Avvikelse			Avvikelse från driftvillkor.	
0 Under skalan Mindre avvikelse				
	INGEN SÄKERHETS BETYDELSE			
Utanför skalan	INGEN SÄKERHETSMÄSSIG BETYDELSE			

Faktaruta

Reaktorolyckor och händelser som medfört stor frigörelse av radioaktivitet
(Reaktorolyckor som beskrivs i denna Bakgrund anges med fet stil)

År	Händelse/land	Utsläpp (TBq)	Kommentar
	Atmosf. kärnvapenprov (Sovjet/USA)	200 000 000 *)	
1949-60	Sovjetiska vapenfabriker i södra Ural	40 000 000 *)	
1986	Tjernobyli	4 000 000	
1957	Windscale	1 000*) (varav 600 jod-131)	
1952	NRX, Canada	400	Avser det vatten- burna utsläppet
1987	Goiana, Brasilien	50*)	Medicinsk strål- källa på avvägar (cesium-137)
1961	SL-1, USA	3 (jod-131)	
1979	TMI-2, USA	0.6 (jod-131)	
1969	Lucens, Schweiz	–	

*) Uppgifter ur Nucleonics Week, 21 mars 1991.

Litteratur

- 1 I Wolters "Aufgetretene Unfälle mit Kernschäden". Atomwirtschaft/Atomtechnik, juni 1987.
- 2 "Tio år efter Harrisburg". KSU Bakgrund, nr 2, mars 1989.
- 3 INSAG-7 "The Chernobyl Accident: Updating of INSAG-1". IAEA, nov 1992.
- 4 "Chernobyl Accident Health Effects – WHO Facts & Figures". NucNet, 10 maj 1995
- 5 "The International Nuclear Event Scale" IAEA/OECD 92-01414.
- 6 S J Mortin "The INES is here to stay". Nucl. Eng. International, dec 1992.
- 7 "Kärnenergi – beredskap och räddningstjänst. Handbok för berörd personal". Statens räddningsverk, 1991.
- 8 "Svensk kärnkraft ur ett internationellt perspektiv" Lars Persson och Frigyes Reich, 20 mars 1995

Kärnkraftsäkerhet och Utbildning AB (KSU) ägs av de svenska kraftföretagen:

OKG AB, med kärnkraftverket i Oskarshamn

Sydkraft AB, med kärnkraftverket i Barsebäck

Vattenfall AB, med kärnkraftverken i Forsmark och Ringhals

KSU driver säkerhetsfrågor som lämpar sig för samordnade insatser från ägarföretagen. Främst gäller det grundutbildning och årlig återträning av kraftverkens driftpersonal i fullskalesimulatorer vid huvudanläggningen i Studsvik. Simulatorerna återskapar så naturtrogna förlopp som möjligt av processerna i de svenska kärnkraftverken.

Därutöver ges teoretisk utbildning i kärnkraftteknik upp till högskolenivå.

KSU utvärderar också inträffade störningar såväl i Sverige som utomlands. Stockholmskontoret är den svenska länken i flera internationellt organiserade system för utbyte av drifterfarenheter:

INPO (Institute of Nuclear Power Operation)

WANO (World Association of Nuclear Operators).

Verksamhetens innehåll ger även grund för samhällsinformation om kärnkraftsäkerhet, joniserande strålning samt riskjämförelser mellan olika energislag. Detta sker efter utvärdering av en särskild analysgrupp.

Analysgruppen vid KSU

Jean-Pierre Bento, civilingenjör, INPO, USA

Per-Åke Bliselius, tekn lic, IAEA, WIEN

Monika Eiborn, fil. kand, ABB Atom AB

Ingemar Lindholm, tekn. lic, Sv Kärnbränslehantering AB

Gustaf Löwenhielm, tekn dr, Vattenfall AB

Anders Pechan, utredn. sekr, Analysgruppen vid KSU

Agneta Rising, fil. kand, Vattenfall AB, Ringhals

Evelyn Sokolowski, docent, K S U

Erik Söderman, civilingenjör, ES-Konsult AB

Gunnar Walinder, professor

Carl-Erik Wikdahl, civilingenjör, EnergiForum AB

Bilaga 1

Tidsbegränsningar i drifttillstånd för svenska kärnkraftverk, beslutade av regeringen

Reaktor	Datum för regeringsbeslut	Drifttillstånd beviljat till	Anmärkningar
Barsebäck 1	-	-	-
Barsebäck 2	85-12-12	2010	Referens till 6 § i övergångsbe- stämmelserna i Kärntekniklagen
Oskarshamn 1	-	-	-
Oskarshamn 2	-	-	-
Oskarshamn 3	84-06-28	2010	3300 MW (th) till och med 1996 därefter 3000 MW (th)
Ringhals 1	89-03-30	-	2500 MW(th) till och med 1996, därefter 2270 MW (th)
Ringhals 2	90-03-15	Dec 1995	Efter byte av ång- generatorer
Ringhals 3	85-12-12	2010	
Ringhals 4	85-12-12	2010	
Forsmark 1	85-12-12	2010	
Forsmark 2	85-12-12	2010	
Forsmark 3	85-12-12	2010	3300 MW (th) till och med 1996, därefter 3020 MW (th)

De av regeringen beviljade tillstånd till drift vid en högre effekt för Oskarshamn 3, Ringhals 1 och Forsmark 3 utgick vid årsskiftet 1994/95, men har förlängts till och med 1996. Reaktorerna kan därefter utan förnyad prövning drivas vidare vid den ursprungligen godkända effektnivån. För fortsatt drift från 1997 vid den högre effekten, fordras nytt tillstånd av regeringen.

Tillståndet för drift vid högre effekt av Ringhals 2 har en annan formulering än för de ovan nämnda tre reaktorerna. Formellt sett behövs en ny prövning av regeringen för att driften vid Ringhals 2 skall kunna fortsätta efter 1995.

Bilaga 2

Röstsedlarna i folkomröstningen om kärnkraft 1980

FOLKOMRÖSTNING I KÄRNKRAFTSFRÅGAN

I Sverige finns nu sex kärnkraftsreaktorer i drift. Ytterligare fyra reaktorer är färdiga och två är under arbete.

Riksdagen har beslutat att en folkomröstning om kärnkraftens roll i den framtida energiförsörjningen skall hållas den 23 mars 1980. Omröstningen gäller tre olika förslag.

JAG RÖSTAR FÖR FÖRSLAG NR

1

Detta förslag innebär:

Kärnkraften avvecklas i den takt som är möjlig med hänsyn till behovet av elektrisk kraft för upprätthållande av sysselsättning och välfärd. För att bl.a. minska oljeberoendet och i avvaktan på att förnybara energikällor blir tillgängliga används högst de 12 kärnkraftsreaktorer som i dag är i drift, färdiga eller under arbete. Ingen ytterligare kärnkraftsutbyggnad skall förekomma. Säkerhetssynpunkter blir avgörande för den ordning i vilken reaktorerna tas ur drift.

FOLKOMRÖSTNING I KÄRNKRAFTSFRÅGAN

I Sverige finns nu sex kärnkraftsreaktorer i drift. Ytterligare fyra reaktorer är färdiga och två är under arbete.

Riksdagen har beslutat att en folkomröstning om kärnkraftens roll i den framtida energiförsörjningen skall hållas den 23 mars 1980. Omröstningen gäller tre olika förslag.

JAG RÖSTAR FÖR FÖRSLAG NR

2

Detta förslag innebär:

Kärnkraften avvecklas i den takt som är möjlig med hänsyn till behovet av elektrisk kraft för upprätthållande av sysselsättning och välfärd. För att bl.a. minska oljeberoendet och i avvaktan på att förnybara energikällor blir tillgängliga används högst de 12 kärnkraftsreaktorer som i dag är i drift, färdiga eller under arbete. Ingen ytterligare kärnkraftsutbyggnad skall förekomma. Säkerhetssynpunkter blir avgörande för den ordning i vilken reaktorerna tas ur drift.

Vänd!

Energihushållningen bedrivs kraftfullt och stimuleras ytterligare. De svagaste grupperna i samhället skyddas. Åtgärder vidtas för att styra elkonsumentionen bl.a. för att förhindra direktverkande elvärme i ny permanentbebyggelse.

Forskning och utveckling av förnybara energikällor forceras under samhällets ledning.

Miljö- och säkerhetsförbättrande åtgärder vid kärnkraftverken genomförs. En särskild säkerhetsstudie görs för varje reaktor. För medborgarnas insyn tillsätts vid varje kärnkraftverk en säkerhetskommitté med lokal förankring.

Elproduktion genom olje- och kolkondenskraftverk undviks.

Samhället skall ha ett huvudansvar för produktionen och distributionen av elektrisk kraft. Kärnkraftverk och andra framtida anläggningar för produktion av elektrisk kraft av betydelse skall ägas av stat och kommun. Övervinster i vattenkraftproduktionen indrages genom beskattning.

FOLKOMRÖSTNING I KÄRNKRAFTSFRÅGAN

I Sverige finns nu sex kärnkraftsreaktorer i drift. Ytterligare fyra reaktorer är färdiga och två är under arbete.

Riksdagen har beslutat att en folkomröstning om kärnkraftens roll i den framtida energiförsörjningen skall hållas den 23 mars 1980. Omröstningen gäller tre olika förslag.

JAG RÖSTAR FÖR FÖRSLAG NR

3

Detta förslag innebär:

NEJ till fortsatt utbyggnad av kärnkraften.

Avveckling av nuvarande sex reaktorer i drift inom högst tio år. En hushållningsplan för minskat oljeberoende genomförs på grundval av

- fortsatt och intensifierad energibesparing
- kraftigt ökad satsning på förnybara energikällor.

Reaktorerna i drift underkastas skärpta säkerhetskrav. Icke laddade reaktorer tas aldrig i drift.

Uranbrytning tillåts inte i vårt land.

Vänd!

Om pågående eller kommande säkerhetsanalyser så kräver, innebär detta förslag självfallet att omedelbar avstängning skall ske.

Arbetet mot kärnvapenspridning och atomvapen skall intensifieras. Ingen utbyggnad tillåts och export av reaktorer och reaktorteknologi upphör.

Sysselsättningen ökas genom alternativ energiproduktion, effektivare energihushållning samt ökad förädling av råvaror.

FOLKOMRÖSTNING I KÄRNKRAFTSFRÅGAN

Blank röstsedel

Bilaga 3

Sammanfattningar av följande utredningar och sammanställningar av remissinstansernas synpunkter på dessa, har publicerats i departementspromemorian (Ds I 991:4) "Energiutredningar åren 1989 och 1990":

- **Ett miljöanpassat energisystem**
Statens naturvårdsverk och statens energiverk, december 1989.
- **Elmarknadsrapport 1990**
Statens energiverk, april 1990.
- **Reaktoravveckling 1995/96 Konsekvenser och samhällsekonomiska kostnader**
Statens energiverk, februari 1990.
- **Den elintensiva industrin under kärnkraftsavvecklingen**
Betänkande (SOU 1990:21) från EL 90.
- **Säkerhets- och strålskyddsläget vid de svenska kärnkraftverken**
Statens strålskyddsinstitut och statens kärnkraftinspektion, januari 1990.
- **Kärnkraftsavveckling – kompetens och sysselsättning**
Betänkande (SOU 1990:40) av arbetsgruppen för kompetens- och sysselsättningsfrågor.
- **Effektivare elanvändning – problem, potential, program**
Statens energiverk, april 1990
- **Informations- och utbildningsbehov rörande el- och energihushållning**
Statens energiverk, april 1990.
- **Elvärme och boendekostnader**
Boverket och statens energiverk, mars 1990.
- **Konvertering av elvärmda hus**
Statens energiverk, mars 1990.
- **Pågående aktiviteter för effektivare elanvändning**
Statens energiverk, mars 1990.
- **Elanvändningsrådets rapport samt utvärdering av teknikupphandlingsstödet**
Statens energiverk, maj 1990.
- **Elanvändningsrådets rapport**
Statens energiverk, oktober 1990.
- **Stödformer för energiteknisk utveckling**
Energiforskningsnämnden, juni 1990
- **Rapport från arbetsgruppen för etanolproduktion, juni 1990**
- **Fjärrvärmens ekonomiska situation**
Statens energiverk, oktober 1989.

Kärnkraftsäkerhet och Utbildning AB (KSU) ägs av de svenska kraftföretagen:

OKG AB, med kärnkraftverket i Oskarshamn

Sydkraft AB, med kärnkraftverket i Barsebäck

Vattenfall AB, med kärnkraftverken i Forsmark och Ringhals

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

Därutöver ges högre teoretisk utbildning i kärnkraftteknik på högskolenivå och däröver.

KSU utvärderar också inträffade störningar såväl i Sverige som utomlands. Stockholmskontoret är den svenska länken i flera internationellt organiserade system för utbyte av drifterfarenheter:

INPO (Institute of Nuclear Power Operation)

WANO (World Association of Nuclear Operators).

Verksamhetens innehåll ger även grund för samhällsinformation om kärnkraftsäkerhet, joniserande strålning samt riskjämförelser mellan olika energislag. Detta sker efter utvärdering av en särskild analysgrupp.

Analysgruppen vid KSU

Per-Åke Bliselius, tekn lic, IAEA, WIEN

Monika Eiborn, fil. kand, ABB Atom AB

Monica Gustafsson, docent, IAEA, WIEN

Ingemar Lindholm, tekn. lic, Sv Kärnbränslehantering AB

Gustaf Löwenhielm, tekn dr, Vattenfall AB

Anders Pechan, utredn. sekr, Analysgruppen vid KSU

Agneta Rising, fil. kand, Vattenfall AB, Ringhals

Evelyn Sokolowski, docent, K S U

Erik Söderman, civilingenjör, ES-Konsult AB

Gunnar Walinder, professor

Carl-Erik Wikdahl, civilingenjör, EnergiForum AB