

2:a
reviderade
upplagan

*Framtid
med*

KÄRN

R

A

F

T

Bo Södersten
(red)

SNS FÖRLAG

Framtid med
KÄRNKRAFT

Framtid med KÄRNKRAFT

Bo Södersten (red)

Lars Bergman

Olof Hörmander

Sten Bjurström

Nils Lundgren

Sigvard Eklund

Evelyn Sokolowski

Lennart Hjalmarsson

Gunnar Walinder

SNS FÖRLAG

SNS FÖRLAG
Box 5629
114 86 Stockholm
Telefon 08-23 25 20

Bo Södersten (red.)
Framtid med kärnkraft
2:a upplagan
1:a tryckningen

© Författarna och SNS Förlag
Omslag: Finn Nyebølle
Omslagsbild: Gerry Johansson
Tryck: Norstedts tryckeri, Stockholm 19

ISBN 91-7150-402-8

Innehåll

Förord 7

av Hans Tson Söderström

Kärnkraft, opinion och sakargument 9

av Bo Södersten

I

1. Utveckling, kärnkraft och internationellt beroende 23

av Bo Södersten och Nils Lundgren

2. Vad kostar det att avveckla kärnkraften? 44

av Lars Bergman

3. Kan kärnkraften sparas bort? 71

av Lennart Hjalmarsson

II

4. Den joniserande strålningens biologiska verkningar 103

av Gunnar Waliner

5. Kärnkraftens säkerhet: vilka är riskerna och hur skyddar vi oss mot dem? 133

av Ewelyn Sokolowski

6. Stora kärnkraftsolyckor 152

av Olof Hörmander

7. Säkerheten vid hantering och förvaring

av kärnavfall 167

av Sten Bjurström

8. Kärnkraft och kärnvapen 185

av Sigvard Eklund

Författarna 209

Register 210

Förord

Frågan om kärnkraftens framtida användning i Sverige är en av 90-talets viktigaste samhällsfrågor. Kärnkraftsfrågan har mycket omfattande sysselsättningsmässiga, säkerhetsmässiga och miljömässiga aspekter. Den är också starkt emotionellt laddad.

SNS har under många år engagerat sig i energi- och miljöpolitiken. Några exempel från senare år är böckerna *Värde-
ra miljön* (1989) och *Vad har hänt med kärnkraftsopi-
nionen?* (1990) samt 1990 års rapport från SNS Konjunk-
turråd. SNS har också startat ett speciellt institut, *SNS
Energy*, som forskar kring internationella energifrågor.

Författarna till denna SNS-skrift anser att kärnkraften inte har fått en rimligt allsidig och objektiv bedömning. Tanken att kärnkraften skall avvecklas ”på grund av männi-
skors oro” finner de oacceptabel. Huruvida kärnkraft skall användas i framtiden eller ej måste i stället avgöras på grund-
val av vetenskapligt fotad analys baserad på såväl ekonomiska som naturvetenskapliga fakta.

Det är mot den bakgrunden som boken har tillkommit. Initiativet har tagits av professor Bo Södersten som också är bokens redaktör. De medverkande författarna, som presenteras på sid 209, har alla en förankring i etablerad vetenskap. De är positiva till fortsatt användning av kärnkraft. Bokens centrala budskap är emellertid inte enbart de slutsatser om kärnkraftens framtida användning som författarna samstämmt kommer fram till, utan i lika hög grad den analys som leder fram till dessa slutsatser.

Framtid med kärnkraft utkom i sin första upplaga i augusti 1990 och ledde omedelbart till en omfattande debatt. I den nya upplagan har vissa förtydliganden och tillägg gjorts. Dessutom har ett omfattande sakregister tillkommit. Det är vår förhoppning att den nya upplagan skall kunna fortsätta att ge ett gott underlag för debatt och beslut i den svenska kärnkraftsfrågan. Författarna svarar som vanligt ensamma för sina ståndpunkter i boken.

Stockholm i januari 1991

Hans Tson Söderström

BO SÖDERSTEN

Kärnkraft, opinion och sakargument

Kärnkraftsfrågan kommer tveklöst att bli en av 90-talets stora politiska frågor. Skälen härför är mycket enkla. Kärnkraften spelar en unikt central roll i svensk ekonomi, dels därför att hälften av vår elenergi kommer från kärnkraft, dels därför att kärnkraft är en mycket kostnadseffektiv källa för elproduktion. Trots dessa förhållanden har Sverige som första (och egentligen enda) land i världen beslutat sig för att avstå från att använda kärnkraft. Ur ett större internationellt perspektiv är situationen helt extrem. Det finns heller inget annat land där frågan om kärnkraft blivit så starkt partipolitiskt inflammerad som i vårt land.

Ser man svensk kärnkraft ur ett historiskt perspektiv är det mycket svårt att förstå denna utveckling. Redan på slutet av 1940-talet började socialdemokratiska regeringar att satsa på den fredliga utbyggnaden av kärnkraft. 50- och 60-talens satsningar på kärnkraft blev mycket framgångsrika. Ett intimt samarbete mellan stat och näringsliv byggdes upp och mynnade ut i vårt nuvarande 12-reaktorsprogram. Denna industripolitiska satsning framstår som vår kanske mest framgångsrika någonsin.

I början av 1970-talet började kritiska röster mot kärnkraften höras. Vid mitten av decenniet blev kärnkraftsfrågan starkt partipolitiserad och spelade en avgörande roll i socialdemokratins förlust i 1976 års val.

Valförlusten 1976 för socialdemokratien tillsammans med kärnkraftolyckan vid Three Mile Island 1979 ändrade i ett

slag totalt opinionsläget i frågan. Motståndare till kärnkraft började nu att finnas i alla partier. Den demokratiska opinionsbildningens sårbarhet skulle snart bli uppenbar och ställd på sin spets. Motståndet mot kärnkraft blev mycket effektivt och fokuserat. Dess budskap var enkelt. Kärnkraften var farlig, den var ond, den måste bort.

Kärnkraftens försvarare var — i varje fall till en början — betydligt mindre fokuserade. De bestred talet om kärnkraftens farlighet och menade att riskerna med kärnkraften hade överdrivits. Ofta fördes argumenten i ekonomiska termer: sysselsättning och välfärd skulle hotas om det inte fanns tillgång till billig energi.

En obalans i opinionsbildningen runt kärnkraft började snart utvecklas. Mot kärnkraften stod ett antal mycket övertygade — stundtals fanatiska — personer som inriktade kritik och propaganda mot en enda energikälla: kärnkraften. De parade avståndstagandet med drömmar om ett bättre, enklare och mer ”naturligt” samhälle och sätt att leva. Kärnkraftsmotståndet fick starkt övertygade anhängare från alla möjliga läger. Dess laddning var starkt civilisationskritisk.

Kärnkraftsanhängarnas påpekanden om faran för brist på energi och de låga sannolikheterna för en kärnkraftsolycka framstod i detta sammanhang som alltför förnuftspräglade. Deras ständiga hänvisningar till tekniska och ekonomiska argument sågs som krassa och andefattiga.

Obalansen fick en naturlig utgångspunkt i möjligheterna till förenkling av argumenten å den ena sidan och resonemangens naturliga komplikation å den andra. Obalansen i opinionsbildningen skapades och förstärktes också i stor utsträckning genom mediernas behandling av frågan. Två statsvetenskapliga forskare, professor Jörgen Westerståhl och fil. dr Folke Johansson har i en nyligen utgiven bok, *Vad har hänt med kärnkraftsopinionen?* (SNS Förlag 1990), studerat olika aspekter av opinioner och opinionsbildning runt kärnkraftsfrågan. De visar där bl.a. att 7 av 10 naturvetenskapliga forskare är positiva till kärnkraft och vill att man

skall använda kärnkraften även efter år 2010. Vi vet också att befolkningen överlag har större förtroende för naturvetenskapsmän och tekniker än för några andra när det gäller information om energi- och kärnkraftsfrågor.

Men allmänheten känner inte till vetenskapsmännens verkliga uppfattningar i denna fråga. Westerståhl och Johansson visar att endast drygt en fjärdedel av allmänheten hade korrekt information. Resten var vilseledd. Hur kan det komma sig? Svaret är enkelt. Massmedierna har helt enkelt gett allmänheten felaktig information i kärnkraftsfrågan. Medierna har i intervjuer gett en systematisk överrepresentation åt vetenskapsmän som är kritiska till kärnkraft. "Expertopinionen" har främst använts till att spegla journalisternas och inte vetenskapsmännens åsikter i frågan.

Man kan i samband med opinionsbildningen inte komma ifrån två grundläggande fakta. *För det första* visar undersökningar bland journalistförbundets medlemmar att journalister i gemen har en betydligt mer negativ hållning till kärnkraft än befolkningen i allmänhet. *För det andra* är rekryteringen till journalistkåren sned och föga representativ: en annan enkät visar exempelvis att 22 procent av journalisterna sympatiserar med vpk och 12 procent med miljöpartiet under det att endast 13 procent sympatiserar med moderaterna. Dessa förhållanden har gett utslag i kärnkraftsattityden. Den snedvridning och den godtycklighet som präglat svensk opinionsbildning har varit en av drivkrafterna bakom föreliggande bok.

Det är högst legitimt och naturligt att vetenskapsmän reagerar när de ser hur sakfrågor som de är insatta i behandlas osakligt och missvisande. Samtliga författare i denna bok har en vetenskaplig bakgrund. En central önskan har varit att söka ge en objektivt och vetenskapligt fotad analys av olika sidor av kärnkraften både utifrån ett ekonomiskt och ett naturvetenskapligt perspektiv.

Efter olyckan i Tjernobyli i april 1986 var motståndet mot kärnkraft som starkast. Då fanns en majoritet för en av-

veckling av de svenska kärnkraftverken före år 2010. Tjernoby-effekten blev dock kortvarig. Redan på hösten 1986 hade opinionen svängt tillbaka till förmån för kärnkraften. Numa visar mätningar att det finns en stabil majoritet för att behålla kärnkraften efter år 2010. Så många som 80 procent av befolkningen tror också att så kommer att bli fallet. Samtidigt tycks regeringen förbereda en proposition till hösten som sannolikt går ut på att förtidsavveckla ett eller två aggregat. Detta kommer givetvis att ställa frågan om kärnkraftens framtid på sin spets. En saklig analys av olika aspekter av kärnkraftsfrågan blir därför mer angelägen än någonsin.

Det är tre grundläggande sakfrågor som influerat opinionen och fått den att svänga till förmån för kärnkraften. En har att göra med ekonomin. Frågan om kärnkraftens ekonomiska roll har varit central. Kärnkraftens anhängare har alltid hänvisat till dess stora betydelse för vår ekonomi. I början av 80-talet trodde många att man lätt skulle kunna finna alternativ till kärnkraften. Dessa förhoppningar har ej infriats. Med tidens gång har därigenom de ekonomiska argumenten för kärnkraft vuxit i tyngd.

En annan viktig aspekt gäller kärnkraftens internationella roll. Som visas i nästa kapitel fortsätter kärnkraftsutbyggnaden runt om i världen. Svensk kärnkraft fyller högt ställda krav på säkerhet. Varför skall vi då avskaffa kärnkraften i vårt land när mindre säker finns i exempelvis Sovjet och Öststaterna? Den frågan har kärnkraftmotståndarna hittills inte kunnat ge ett tillfredsställande svar på.

En tredje viktig omständighet är att riskbilden runt kärnkraften håller på att vidgas och göras mer realistisk. I slutet av 70-talet koncentrerades diskussionen av risker helt till kärnkraften. Risker med andra alternativ berördes knappast. Idag är allmänheten medveten om att det är betydande risker förknippade med alternativen. Oljeolyckor har blivit högst påtagliga. Faran med förbränning av fossila bränslen har uppmärksamats, främst då koldioxidutsläppen. Växthuseffekten har kommit i förgrund för diskussionen. Kärn-

kraften är inte längre den ”solitär” i risksammanhang som den tidigare betraktades som.

Alla dessa sakfrågor berörs i föreliggande bok. Boken inleds med tre uppsatser som behandlar ekonomiska aspekter av kärnkraften. En central fråga är: Vilka är egentligen kostnaderna för att producera el via kärnkraft? Är det sant att kärnkraftsel är billigare än el producerad på andra sätt? En andra fråga blir: Om nu kärnkraften avskaffas och ersätts med el från andra källor vilka blir då konsekvenserna för industrin, för välfärden och för vår samhällsekonomi? En tredje fråga blir: är kärnkraftens användning i vår ekonomi inte i första hand beroende av en slösaktig konsumtion och felaktig prissättning?

Dessa tre frågor måste få klara svar. Kan sådana ges har också i princip grunderna för kärnkraftens roll i en ekonomi som den svenska getts och karakteriserats.

Svaret på den första frågan ges av Nils Lundgren och Bo Södersten. Den andra frågan besvaras av Lars Bergman. Den tredje frågan klaras ut av Lennart Hjalmarsson i dennes uppsats om möjligheterna att spara el.

Nils Lundgren och *Bo Södersten* visar i sitt bidrag att kärnkraften är en mycket kostnadseffektiv källa för elproduktion. Det sammanhänger med att kärnkraftverk är kapitalintensiva. När de väl är byggda är de rörliga kostnaderna för att driva dem mycket låga. De kan uppskattas till mindre än 10 öre per kWh. De alternativ som kommer att bli aktuella vid en avveckling är kolkondens och gas. Produktionskostnaden ligger här på 35-40 öre per kWh.

De visar också att livslängden för våra kärnkraftaggregat sannolikt är minst 40 år. Om riksdagsbeslutet om år 2010 som slutår för svensk kärnkraft följes, avvecklas våra aggregat i genomsnitt åtminstone 15 år för tidigt. Vi producerar nu 70 Twh (70 miljarder kilowattimmar) el årligen via kärnkraft. Den årliga merkostnaden för alternativ produktion är ungefär 16 miljarder per år. Nuvärdet av en sådan inkomstström under 15 år kan beräknas till 180 miljarder kronor.

Detta är den minimala kostnaden för en förtida avveckling av kärnkraften. Kostnaden för en förtida avveckling av kärnkraften är därför gigantisk.

Lundgren och Södersten sätter också in det svenska kärnkraftsprogrammet i dess internationella sammanhang. Idag finns 434 kärnkraftsaggregat i drift i tillsammans 27 länder. Tolv av dessa finns i vårt land. Ytterligare 97 är under byggnad. Den svenska kärnkraften är utomordentligt betydelsefull för svensk ekonomi men globalt sett är den helt marginal. Vi kan räkna med att fram till år 2010 kommer *varje år* världens kärnkraft att öka med ungefär lika mycket som det totala svenska kärnkraftsprogrammet.

Författarna diskuterar också Sveriges beroende av den internationella ekonomin. De visar att kärnkraften är en av de få teknologier där svensk industri tillhör de världsledande. Därför blir kärnkraften av särskilt stor betydelse för just svensk ekonomi.

Lars Bergman analyserar i sitt kapitel konsekvenserna av en kärnkraftsavveckling. Förutom de direkta kostnaderna kommer också indirekta kostnader att uppstå. Elintensiva industrier som stål, papper och massa är särskilt betydelsefulla, för svensk ekonomi genom de stora exportöverskott som de genererar. Om priserna på en central insatsfaktor som el stiger drastiskt minskar dessa industriers konkurrenskraft och de kommer att slås ut till betydande del i samband med att deras ”komparativa fördelar” försvinner. En mycket kraftig omställning av svenskt näringsliv måste i så fall till och Bergman visar att den *årskostnad* som en avveckling av kärnkraften leder till om indirekta kostnader medtas kan uppgå till så stora belopp som 90 miljarder kronor. Den strukturomvandling som en kärnkraftsavveckling nödvändiggör kommer också att få mycket kraftiga effekter på inkomst- och förmögenhetsfördelningen. Många individer kommer att finna att marknadens värdering av deras yrkeskunnande, fastigheter och andra lokalt bundna tillgångar kommer att minska drastiskt. Värdet av ekonomis-

ka tillgångar som byggts upp under lång tid kommer att eroderas.

Lennart Hjalmarsson studerar möjligheterna att spara el. Den fråga han tar upp är: Finns det möjligheter att spara bort de 70 Twh som förloras vid en kärnkraftsavveckling?

Hjalmarsson gör en mycket noggrann genomgång av den svenska elmarknadens sätt att fungera och han diskuterar de olika tankegångar om inoptimalitet och sparmöjligheter som förts fram. Han visar att de samtliga bygger på bristande kunskaper om hur elmarknaden verkligen fungerar. Tanken att stora outnyttjade sparmöjligheter står oss till buds saknar därför all grund. En tankegång som ofta förs fram är att det skulle vara billigare att spara en kWh el än att nyproducera en sådan. Hjalmarsson visar att detta argument bygger på att man inte förstår hur elmarknaden fungerar. Varför skulle exempelvis ett elintensivt företag avstå från att öka sin vinst om det utan nämnvärd kostnad kunde spara el? De möjligheterna är redan uttömda. På marginalen kostar det exakt lika mycket att spara en kWh som att nyproducera den. Det kostar alltid att spara el. I jämvikt är kostnaden för att spara en kWh el exakt lika med dess pris.

Ett annat vanligt argument som sparoptimister ofta för fram är att vi kan spara stora mängder el om vi snabbt går över till "bästa teknik". Den störste sparoptimisten av alla, fysikern professor Thomas B. Johansson, förtröttas aldrig att upprepa detta argument.

Det är sant att företag och hushåll i gemen inte använder "bästa teknik" i alla anläggningar. Bästa teknik används alltid enbart på marginalen, d.v.s. i nya anläggningar. Något annat vore orimligt. Om vi skulle använda bästa teknik i alla anläggningar skulle vi vara tvingade att över en natt byta ut hela vår kapitalstock.

Det är en affär om flera tusen miljarder kronor. I varje utvecklat industriellt samhälle kommer det alltid att finnas ett avstånd mellan genomsnittlig teknik och bästa teknik. Att tro att man på konstlad väg kan minska detta avstånd utan

enorma kostnader är enbart utslag av ekonomisk okunnighet och ett naivt planekonomiskt tänkande.

Hjalmarsson visar också att även om man snabbare skulle övergå till "bästa teknik" kommer likafullt förbrukningen av el att växa till följd av den ekonomiska utvecklingen och elkraftens ställning som vår mest högvärdiga energiform.

Tillsammans visar de tre kapitlena att vid en kärnkraftsavveckling måste den mängd el som faller bort produceras i alternativ form. Detta kan endast ske till gigantiskt ökade kostnader. Den omställning av svenskt näringsliv och samhälle som en kärnkraftsavveckling skulle innebära medför extra kostnader på hundratals miljarder kronor och ställer enorma krav på anpassning hos individer och samhälle.

De naturvetenskapliga bidragen kretsar naturligt nog kring de risker och faror som fredlig användning av kärnkraft kan medföra. *Gunnar Walinder* behandlar i sin uppsats strålningens farlighet ur biologiska synpunkter. Den joniserande strålningen har den dubbla egenskapen att dels inte kunna förnimmas med våra sinnen, dels vara mätbar även i mycket små doser. Den första egenskapen gör att den av många ses som särskilt farlig. Den andra egenskapen gör att man teoretiskt kan uppskatta faror i samband med strålning på ett helt annat sätt än i samband med kemikalier, giftsutsläpp etc. där mätsvårigheterna är helt andra.

Joniserande strålning i höga doser kan givetvis framkalla svåra skador. Om det även föreligger en s.k. lågdosrisk hör till de omdebatterade frågorna. Walinder visar dock klart att det interpolerande slag av riskbedömning som ligger bakom kollektivdos-tänkandet leder till en riskfilosofi som blir helt absurt. Den oro som denna typ av risktänkande framkallar ställer till betydligt större bekymmer än vad själva den grundläggande strålriskens någonsin skulle kunna göra.

De speciella egenskaper som karakteriserar den joniserande strålningen gör att den som riskkälla blåsts upp till alldeles orimliga proportioner. Strålningsrisken har också utnyttjats för skrämselfpropaganda och som underlag för meningslösa

och motproduktiva "räddningsaktioner" i en helt annan omfattning än vad som gäller för andra risker.

Tjernobyl är den i särklass största olycka som kärnkraften hittills drabbats av. Betecknande nog har någon vetenskapligt fotad, noggrann utvärdering av effekterna av Tjernobyl-olyckan ännu inte gjorts. Även om de direkta skadeeffekterna var begränsade kan givetvis de indirekta vara betydande. Hur stora dessa är vet vi ännu inte med någon rimlig grad av precision. Att Tjernobyl utnyttjats i propagandistiska syften står dock helt klart. Walinder visar exempelvis att de skador på djur som förekommit i närheten av Tjernobyl och som tillskrivits strålningen i realiteten har helt andra orsaker.

De slutsatser som Walinder kommer till som biolog är dock entydiga. Han menar att kärnkraften är överlägsen åtskilliga andra alternativ när det gäller hälsa och miljö. Han anser också att olyckor i samband med annan industriell verksamhet, som exempelvis Bhopalolyckan i Indien, hade betydligt mer negativa effekter än vad tragedin i Tjernobyl hittills synes ha frambragt.

Evelyn Sokolowski beskriver i sitt kapitel de grundläggande processerna i en kärnkraftsreaktor och deras potentiella risker. Det övergripande målet för säkerhetsarbetet är att hålla de radioaktiva ämnena säkert inneslängda. Att man kan uppnå hög säkerhet trots att varken de tekniska systemen eller människorna är ofelbara, beror på att anläggningarna förses med många och av varandra oberoende skyddsnät. Det yttersta skyddsnätet är i de flesta västerländska reaktorer "inneslutningen", som skyddar omgivningen mot stora utsläpp även om den yttersta olyckan i form av ett reaktorhaveri med härdsmlta skulle inträffa. Att denna barriär verkligen också fungerar visas av olyckan vid Three Mile Island 1979.

Det finns idag väl utvecklade metoder för att kartlägga och beräkna riskerna för individuella kärnkraftverk. Som visas i flera av bokens uppsatser är olika länder olika duktiga på att producera el via kärnkraft och hantera de risker som

kärnkraften medför. Analyser visar att ”skyddsnetstänkan-
det” drivits olika långt i olika delar av världen. Ett nytt
haveri någonstans i världen kan inte uteslutas. Men den
internationella utvecklingen går mot ökad säkerhet. Sverige
har spelat en ledande roll i denna process.

Kärnkraftens risker är förknippade med frigörelse av ra-
dioaktiva ämnen framför allt genom stora olyckor. *Olof
Hörmander* behandlar riskerna för sådana kärnkraftsolyck-
kor. Hörmander förnekar inte att det finns en risk för stora
kärnkraftsolyckor. Kärnkraftsteknologin är inte en enhetlig
teknologi. Den är dessutom en mycket ung teknologi. Hör-
mander kommer därför från tekniska synpunkter fram till
samma slutsats som tidigare den ekonomiska analysen givit,
nämligen att kärnkraften kommer att utvecklas och bli både
effektivare och säkrare som energikälla ju längre tiden går.

Hörmander analyserar de två stora olyckor som hittills
inträffat, den vid Three Mile Island och den vid Tjernobyl.
Tvärtemot vad svenska medier och antikärnkraftpropagan-
da påstått kom ingen människa till skada vid den tidigare
olyckan. Trots att en härdsmalta ägde rum blev strålningspå-
verkan helt försumbar.

Olyckan i Tjernobyl hänger helt samman med den be-
tydligt farligare typ av aggregat som finns i Sovjetunionen
och som är grafitmodererad och vattenkyld. Den saknar
elementära säkerhetskomponenter som inneslutning. Dessa
reaktorer är konstruerade så att de vid vissa temperaturför-
hållanden kan komma in i ett ”skenande” förlopp. Detta var
just vad som hände i Tjernobyl. Kombinationen av denna
konstruktion och avsaknaden av inneslutning var avgörande
faktorer bakom Tjernobylolyckan. Reaktorer av lättvatten-
typ som de svenska kan genom själva sin konstruktion inte ge
upphov till sådana förlopp.

Det är viktigt att i detta sammanhang påminna om skill-
naden mellan haveririsk och effekten av ett haveri. I båda
dessa avseenden är svenska kärnkraftsaggregat helt över-
lägsna de grafitmodererade av Tjernobyltyp. Att dra några

slutsatser om haveririsk och haverieffekt vid svenska kärnkraftaggregat från Tjernobyfallet är därför inte möjligt.

Sten Bjurström behandlar i sin uppsats hantering och förvaring av kärnavfall. Han redogör för hur allt radioaktivt material i landet tas om hand i det system för hantering och förvaring som byggts upp under 1980-talet.

Det som utmärker kärnkraften är just att bränsleåtgången är mycket liten. Mängden avfall blir därför mycket mindre än vid exempelvis förbränningen av fossila bränslen som kol. Man kan därför ta vara på *allt* avfall och hålla det isolerat till dess att radioaktiviteten klingat av.

”Driftavfallet” som utgör den volymmässigt största delen är relativt kortlivat och blir ofarligt på några hundra år. Ett slutförvar, vars hållbarhet kan garanteras under denna tid, är redan i drift.

De flesta människors oro på denna punkt gäller säkert det ”högaaktiva avfallet”. Detta innehåller mycket långlivade komponenter som gör att förvaringen måste ses i ett geologiskt tidsperspektiv. Här gäller dock att dessa ämnen enbart är farliga vid förtäring eller inandning. De är jämförbara med kemiska gifter, inte minst tungmetaller från kolförbränning. För dessa finns inga motsvarande planer för en motsvarande långsiktig isolering.

Bjurström redogör för de detaljerade planer som finns i vårt land för slutförvaringen av kärnbränslet (liknande planer finns givetvis i flera andra länder eftersom problemet till sin natur är internationellt). De bygger på användningen av ett flertal successiva barriärer med väl kartlagda egenskaper. Den yttersta barriären är hundratals meter urberg. Urläkning och transport med grundvattnet kan aldrig ge sådana koncentrationer i dricksvattnet att hälsoproblem uppstår.

Denna typ av förvar kan redan byggas med dagens kända teknik. Det finns sålunda ingen teknisk eller vetenskaplig anledning att avvakta med detta arbete och i onödan belasta kommande generationer. Härtill kommer emellertid att lösningen av problemet ingalunda är akut. Det finns gott om tid

när det gäller att ta hand om avfallet eftersom avfallet kan förvaras under lång tid i befintliga mellanlager under helt betryggande former. Att påpeka detta självklara förhållande har inte karaktären av undanflykt. Det innebär enbart tillämpningen av en mycket fundamental tankegång som behandlas mer utförligt i flera av bokens efterföljande kapitel, nämligen att tiden arbetar till kärnkraftens förmån i meningen av att tekniken blir allt säkrare och mer effektiv i takt med att forskning och utveckling fortskrider. Ur ett jämförande perspektiv gäller också att avfallsproblemen i samband med kärnkraft är långt bättre kända och mer hanterbara än motsvarande problem för kol och andra fossila bränslen.

De risker som vi hittills behandlat är centrala i samband med den fredliga användningen av kärnkraft. Det finns emellertid också en oro för att fredlig användning av kärnkraft skall kunna leda till spridning av kärnvapen. Vi stöter här på "the problem of proliferation".

Sigvard Eklund analyserar detta problem. Han redogör för det system för icke-spridning som byggts upp inom ramen för FN:s internationella atomenergikommission (IAEA). Detta system borde ha en återhållande verkan när det gäller spridningen av atomvapen både genom de inspektionsmöjligheter som det erbjuder och den moraliskt återhållande verkan som det medför. Tyvärr torde det förhålla sig så att ett land som önskar skaffa sig kärnvapen kan välja betydligt effektivare och billigare vägar än att bygga upp en civil kärnkraftsindustri. Tillverkning och spridning av kärnvapen torde i första hand bero på mer renodlat politiska faktorer än på förekomsten av kärnkraft för fredliga ändamål.

Som visas i följande kapitel är Sverige inte enbart en av världens mest kostnadseffektiva producenter av kärnkraftsel. De svenska kärnkraftverkens säkerhetssystem är också mycket avancerade. Tanken att vi skulle kunna öka säkerheten på kärnkraftsområdet genom att i förtid avveckla just den svenska kärnkraften är därför helt befängd.

I

NILS LUNDGREN OCH BO SÖDERSTEN

1 Utveckling, kärnkraft och internationellt beroende

Föreliggande kapitel söker placera in kärnkraftens roll i svensk ekonomi då denna ses ur ett internationellt perspektiv. Vi visar att svensk standard är beroende av den internationella utvecklingen. Utrikeshandeln fungerar i grunden som en stor ekonomisk nivellerare. Skall vi bevara — inte enbart vår relativa — utan också vår absoluta standard måste vi ha några områden där svensk teknologi tillhör de världsledande. Kärnkraften är en sådan teknologi. Därför spelar kärnkraft en mer central roll i vår ekonomi än som enbart en mycket kostnadseffektiv källa för produktion av elkraft.

Vi visar också exakt hur mycket det kostar att avveckla kärnkraften i förtid. Den siffran är minimalt 180 miljarder kronor, ett i sanning gigantiskt belopp. Allt tal om att kärnkraften kan avvecklas utan att det kostar någonting bygger antingen på en felaktig ekonomisk analys eller på rena falskriker.

Det politiska läget i kärnkraftsfrågan

Ett helt irrationellt uttalande, som kom att få viss legitimitet i debatten genom den förra energiministern var att kärnkraften måste avvecklas, därför att vi måste ta människors oro på allvar. En stunds eftertanke visar att detta är ett fullständigt ohållbart argument. Människor har varit och är oroliga för många företeelser, t.ex. avkristningen, rösträtt åt de egenomslösa klasserna, aborter, homosexualitet, invandring.

Mycket få skulle vara beredda att godkänna argumentet att vi måste ta människors oro på allvar i dessa frågor. Var och en inser att vi inte bara har rätt, utan t.o.m. är skyldiga, att diskutera om oron är berättigad, empiriskt och etiskt. Tanken att debatten skulle tystas och beslut fattas under hänvisning till folks oro som sådan, utan hänsyn till om oron är rationellt motiverad, är farlig och främmande för västerländsk tanketradition och i grunden odemokratisk.

I samma anda har många kärnkraftsmotståndare velat framställa det som ett slags brott mot de demokratiska spelreglerna att förespråka fortsatt användning av kärnkraft i Sverige efter år 2010. Enligt denna syn skulle utslaget i folkomröstningen år 1980 kräva en solidarisk uppslutning av alla på grund av en folkomröstnings starka legitimitet. Längst gick återigen landets förra energiminister, när hon hävdade att det på dessa grunder t.o.m. borde vara förbjudet att bedriva forskning och utveckling på detta område.

Från konstitutionell synpunkt ligger det ingalunda till på detta sätt. Linje 1 och linje 2, som tillsammans fick en betydande majoritet i folkomröstningen, nämnde inget årtal för kärnkraftens avskaffande och ställde upp som ett klart krav att en avveckling inte fick äventyra sysselsättning och välfärd i landet. För att tolka folkomröstningens utslag är det därför helt nödvändigt med debatt och utredningar om kärnkraftsavvecklingens konsekvenser för sysselsättning, välfärd och miljö. Det går inte att avgöra när kärnkraften skall avvecklas enligt folkomröstningsutslaget, förrän vi har kommit fram till välgrundade slutsatser i denna fråga.

Det följande riksdagsbeslutet tolkade folkomröstningens utslag så att de tolv reaktorerna skulle användas i tjugofem år och satte därför det s.k. bortre parantestecknet för kärnkraftens vara i Sverige till år 2010, då de sist färdigställda reaktorerna (i Forsmark och Oskarshamn) skulle fylla tjugofem. Detta beslut byggde av allt att döma på föreställningen att den tjugofemåriga avskrivningsperiod för kärnkraftverk som tillämpas av kraftföretagen skulle vara identisk med

kraftverkens ekonomiska livslängd, en vanföreställning som vi återkommer till nedan.

Härav följer *tre viktiga politiska slutsatser*. För det *första* är det naturligtvis inte bara legitimt utan närmast en skyldighet i en demokrati att fortsätta debatten även i frågor där folket tagit ställning genom folkomröstning eller riksdagsval. Om någon hävdade att det är odemokratiskt att protestera mot Öresundsbro eller Scanlink, när det politiska beslutet väl är fattat i demokratisk ordning, skulle han med rätta bli utskrattad. "Government through discussion" är själva grunden för vårt politiska system och det är oroande att denna rätt faktiskt kommit att ifrågasättas i samband med kärnkraftsfrågan.

För det *andra* är en folkomröstning bara rådgivande i den svenska författningen. Vi har redan tidigare varit med om att riksdagen gått emot ett sådant folkomröstningsutslag några få år efter folkomröstningen. Det står riksdagen fritt att göra så efter grundlig debatt före val till riksdagen. Detta är inte märkligare än att riksdagen anser sig kunna gå emot folkomröstningsutslaget i motsatt riktning och besluta om tidigare-lagd avveckling av två reaktorer.

För det *tredje* är det alltså så att riksdagen, utan att gå emot folkomröstningsutslaget, kan göra bedömningen att det liggande riksdagsbeslutet inte vilade på korrekta förutsättningar och att de befintliga kärnkraftsverken därför bör användas efter år 2010. Den ekonomiska analysen i denna bok leder till att detta är den korrekta slutsatsen av folkomröstningens utslag, ty om icke så äventyras faktiskt sysselsättning och välfärd.

Slutligen vill vi påminna om den egendomliga politiska infallsvinkel som vi har fått på denna fråga. De argument som anförs för att avveckla kärnkraften i förtid bygger på föreställningen att kärnkraften är miljöfarlig. Normalt ställer vi emellertid upp mål för politiken och försöker sedan hitta medel som till lägsta kostnad för oss mot dessa mål. I detta fall gör vi tvärtom. Vi bestämmer oss för ett medel för att

förbättra miljön och sedan försöker vi räkna ut vad det kostar och vad vi vinner. Alla sådana seriösa kostnadskalkyler slutar på belopp som uppgår till mellan några tiotals miljarder och ett par hundra miljarder.

Det ter sig mycket osannolikt att riksdagen eller den allmänna opinionen skulle ha kommit till detta beslut om vi hade gått den korrekta vägen. Då skulle vi nämligen ha gått till väga på följande sätt. Vi skulle ha bestämt oss för att avsätta t.ex. ett hundra miljarder kronor under de närmaste tio åren till miljöförbättringar och reduktion av riskerna för att svenska folket skall utsättas för radioaktiv strålning. Sedan skulle vi ställa frågan vilken den bästa användningen var för den första miljarden, den andra miljarden o.s.v.

Enligt officiella uppgifter dör omkring 1 000 svenskar per år av radioaktiv strålning därför att de bor i s.k. radonhus. Kostnaden för att undanröja detta förfärande förhållande har beräknats till omkring tre miljarder kronor. Detta anser vi oss inte ha råd med för närvarande. Bidrag till att stänga eller förbättra säkerheten i alla kärnkraftsverk i Europa som saknar inneslutning och tryckavlastad filtrering skulle dramatiskt minska eller undanröja risken för Tjernobylolyckor i vår egen världsdel. Det finns omkring 80 reaktorer i Europa som saknar inneslutning. Om det är Tjernobylolyckor vi är rädda för skall vi alltså sätta in ansträngningarna där.

Omedelbar installation av katalysator på alla bilar skulle kosta kanske drygt femton miljarder. Övergång till metanol, etanol eller allra helst vätgas i storstädernas kollektivfabrik inbegripet taxi skulle kanske kosta något tiotal miljarder.

Det är mycket svårt att tro att förtida avveckling av kärnkraften i Sverige skulle få stöd av den allmänna opinionen eller ens av ett flertal i riksdagen, om handlingsalternativen på detta sätt ställdes upp för rationell bedömning. Som vi visar nedan, kan det beräknas kosta 30 miljarder kronor att avveckla två reaktorer femton år tidigare än som ursprungligen var avsikten. Det betyder att vi nu betar oss som om svenska folket vore berett att betala så mycket för att få leva i

ett land med tio reaktorer i stället för tolv under en femton-årsperiod, trots att en alternativ användning kan rädda 1 000 svenskar per år från att dödas av radioaktiv strålning, förse alla svenska bilar med katalysator inom ett par år och dessutom minska industriutsläpp till en kostnad av 10—15 miljarder kronor.

Kärnkraftens internationella ställning

Till de egendomliga inslagen i den svenska kärnkraftsdebatten hör argumentet att kärnkraften inte längre är ett alternativ i resten av världen. Dess utbyggnad skulle ha stoppats överallt. För det *första* är detta inte något rationellt argument. Frågan om vi bör behålla eller rent av bygga ut kärnkraften måste i sista hand naturligtvis avgöras enligt majoritetsprincipen, men i *debatten* är det irrelevant att räkna antalet anhängare för det ena eller det andra alternativet.

För det *andra* är påståendet knappast empiriskt korrekt. Under perioden 1980—1988 har kärnkraften ökat sin andel av världens energiförsörjning från 2,2 procent till 5 procent. Antalet reaktorer i drift är nu uppe i hela 434 st och ytterligare 97 är idag under byggnad. Kärnkraft för fredliga ändamål är installerad i 27 länder och i nästan hälften av dessa svarar den för mer än en tredjedel av den totala kraftproduktionen. Under 1989 ökade kärnkraftskapaciteten i världen med 7 000 MW, vilket alltså är ungefär 70 procent av den totala svenska kapaciteten. Det är en ganska säker förutsägelse att världens kärnkraftskapacitet kommer att öka med ungefär ett totalt svenskt kärnkraftsprogram per år under 90-talet.

Under 1989 stängdes bara tre reaktorer: ett i Storbritannien av åldersskäl och två i Armenien på grund av jordbävning. Samtidigt togs nio nya i bruk under året.

För det *tredje* är det ett argument med obehagliga bumerangeffekter för den som förespråkar alternativa förnybara energikällor av typ sol och vind. Sådana förnybara kommer-

siella energikällor har under samma tid ökat sin andel av världens förbrukning av primär energi från 0,04 till 0,11 procent. Det är då inte i första hand sol och vind som tillkommit utan heta källor, vilket inte är särskilt hoppingsivande för ett land som Sverige.

80-talets erfarenheter pekar på att de förnybara energikällorna är för sporadiskt tillgängliga och har för låg energitätet för att utgöra ett väsentligt alternativ under överskådlig tid. De förhoppningar som låg till grund för folkomröstningens linje 3 och kanske också linje 2 har kommit på skam.

Det finns också skäl att påminna om att vissa företrädare för miljörelsen i Förenta staterna har börjat tänka om i kärnkraftsfrågan just därför att alternativet har visat sig vara användning av fossila bränslen. Den som använder referenser till utländska ställningstaganden i stället för att stödja sig på rationella argument i sin kamp mot kärnkraften kan råka illa ut även av detta skäl.

Kärnkraften — en lyckad industripolitisk satsning

Sverige har nu ett mycket välbalanserat kraftsystem med hälften kärnkraft för baslast och hälften lätt reglerbar vattenkraft för topplast. Detta är en idealisk kombination med tanke på klimat, industristruktur och levnadsvanor i Sverige. På sommaren är det ljus och varmt och vi stänger industrin för semestrarna. Elförbrukningen faller därmed drastiskt och kärnkraftverken kan ställas av för noggranna genomgångar till mycket låg alternativkostnad. När elförbrukningen är maximal under de kallaste och mörkaste vinterdagarna då industrin går på toppvarv, körs vattenkraften och kärnkraften för fullt. Genom att vi är nästan helt oberoende av importerade fossila bränslen för kraftproduktion, har vi inga problem med vare sig prisutvecklingen på sådana energiråvaror eller med utsläpp av växthusgaser vid förbränning.

Kärnkraftssatsningen framstår därmed som det enda

verkligt lyckade industripolitiska projektet i vår historia. Det påbörjades redan i slutet av 1940-talet med en uppbyggnad av den svenska högenergiforskningen och därefter skapandet av ett samarbete mellan stat och näringsliv inom ASEA-Atom. Arbetet på att bygga upp en inhemsk kärnkraftsindustri fullföljdes sedan målmedvetet under ett kvarts sekel. De första reaktorerna startade i början av 1970-talet samtidigt som världen drabbades av den första oljekrisen.

Sedan dess har vi lärt oss *fem grundläggande ting om svensk energiförbrukning*. För det *första* visade Harrisburgolyckan att man kan få en svår härdskada i en lättvattenreaktor med inneslutning utan att det blir några skador på omgivningen över huvud taget. För det *andra* visade Tjernobyl att risken för svenska folket att utsättas för följderna av kärnkraftshaverier kommer från det 80-tal reaktorer i Europa som saknar inneslutning och framför allt från de grafitmodererade i Östeuropa och Sovjetunionen. För det *tredje* är det besvärligt att vara starkt beroende av importerade fossila bränslen på grund av de stora prissvängningar som vi kan drabbas av.

För det *fjärde* ter det sig nu mindre sannolikt att vi skulle kunna bygga den framtida energiförsörjningen på fossilt bränsle på grund av växthuseffekten. För det *femte* har vi i Litauen tidigare i år fått en handfast demonstration av riskerna med att göra sig beroende av naturgasimport från länder som är beredda att använda sin position som leverantör för att driva igenom sin politiska vilja. För ett land som tvekar om anslutning till EG på grund av de säkerhetspolitiska konsekvenserna är detta ett avgörande argument mot naturgasimport via pipeline.

Den svenska reaktionen på dessa erfarenheter har blivit att avveckla den svenska kärnkraften i förtid, ett beslut som inte på något uppenbart sätt ter sig som ett rationellt gensvar. Frågan är om en fördjupad analys ger ett annat svar än det uppenbara. Detta är ämnet för denna bok.

Kapitalförstöringen vid en kärnkraftsavveckling

Det är egentligen ganska lätt att förstå att kostnaderna för en nedläggning av kärnkraften innan reaktorernas ekonomiska livslängd är slut måste bli mycket höga. Kärnkraftverk liksom vattenkraftverk utmärks av att den fasta kostnaden för att bygga verken är mycket hög, medan den rörliga kostnaden för att producera el är mycket låg. Detta betyder att man har tagit en mycket stor del av kostnaden för att producera el redan när kraftverket är färdigbyggt. Ett beslut att inte använda dem under hela deras ekonomiska livslängd blir därmed mycket dyrbart och kostnaden blir högre ju tidigare man stänger av dem.

Det följer av detta förhållande att om vi tolkar folkomröstningsutslaget så att de tolv reaktorerna skall användas så länge de är ekonomiskt lönsamma, så blir det definitionsmässigt ingen kapitalförstöring alls. Kostnaden för en nedläggning av de tolv befintliga reaktorerna försvinner och den samhällsekonomiska kostnad som blir kvar är den att vi inte kan bygga fler reaktorer eller ersätta dem som faller för åldersstrecket. Detta är som vi skall hävda nedan inte någon försumbar kostnad, men likväl mindre dramatisk till sina effekter än den vi nu ställs inför.

Ledtiderna är långa i elproduktion. Om kärnkraften avvecklas skall den därför ersättas med annan kraftproduktion som vi måste börja bygga ut nu. Det blir då fråga om kol- och gaskondens. Kostnaden för att producera el på detta sätt är omkring 35 öre per kWh inklusive fasta kostnader. Alternativet att minska elförbrukningen är inte billigare, eftersom vi kan räkna med att de möjligheter som finns att spara el till lägre kostnad redan kommer att ha utnyttjats. (Denna fråga utvecklas i detalj i Lennart Hjalmarssons uppsats nedan.)

I våra redan byggda reaktorer kostar det bara omkring 9 öre per kWh att producera el. Detta betyder att det kostar omkring en kvarts krona (26 öre) för varje kWh som går

förlorad i en kärnkraftsavveckling. Om vi räknar med att kärnkraftverken nu producerar 70 TWh per år, d.v.s. 70 miljarder kWh, så blir kostnaden i kronor en fjärdedel därav för det första året helt utan kärnkraft. Årskostnaden blir alltså 17,5 miljarder kronor.

Nästa fråga är under hur många år vi drabbas av denna förlust. Detta beror på hur mycket för tidigt reaktorerna har stängts av. All expertis är numera enig om att det inte finns någon anledning, varför de inte skulle kunna drivas i minst 40 år som fallet är med kolkondensverk. I själva verket kan de drivas med lönsamhet i åtminstone 50—60 år, men då stiger naturligtvis efter hand den rörliga kostnaden över de här nämnda 9 örena på grund av ökade insatser på underhållssidan. Vi räknar därför försiktigt med bara 40 år.

Eftersom gällande riksdagsbeslut innebär att reaktorerna skall stängas efter 25 år, är det alltså femton års produktion som går till spillo med en årlig förlust på 17,5 miljarder kronor. Vi måste naturligtvis diskontera de framtida förlusterna, eftersom 17,5 miljarder om tio år är mindre värt än samma belopp i dag. Om vi återigen räknar försiktigt och diskonterar med hela 6 procent realränta, vilket är en hög diskonteringssats och därmed drar ned den framräknade totalkostnaden, får vi följande formel,

$$17,5 \frac{\left(\frac{1}{1,06}\right)^{15} - 1}{\frac{1}{1,06} - 1} \approx 180$$

som leder till resultatet att nuvärdet av en sådan avveckling är en kostnad på 180 miljarder kronor. Annorlunda uttryckt är det samlade värdet av kärnkraftverken när de stängs vid 25 års ålder 180 miljarder kronor som vi då kastar bort. Om realräntan är 6 procent, ger ett sådant kapital en bestående avkastning på 11 miljarder per år, vilket är ett belopp som skulle räcka för att finansiera hela statens utgift för barnomsorg eller nästan hela u-landsbiståndet eller statens totala

utgifter för rättsskipning och samhällsskydd.

Att tidigarelägga avvecklingen av två reaktorer till mitten av 90-talet, vilket också har föreslagits, innebär att två reaktorer, som tillsammans skulle kunna producera omkring 10 TWh per år, stängs ytterligare fem år tidigare. En analog kalkyl ger då en årskostnad på 2 1/2 miljard kr under fem år, vilket diskonterat med 6 procent realränta ger en kostnad på ungefär 11 miljarder kr, varav 5 miljarder då måste läggas till de 180 miljarder kr vi fick fram ovan. (Om vi bara räknar förlusten av att köra dessa två reaktorer 20 år i stället för 40, blir kostnaden hela 30 miljarder, men större delen av den förlusten fanns naturligtvis med i de ovannämnda 180 miljarderna där det ju ingick stängning 15 år för tidigt av alla reaktorer.)

Det har hävdats att ovanstående kalkyler överdriver kostnaden därför att diskonteringen görs till det nuvärde man skulle ha vid den tidpunkt när respektive reaktor stängs av. När vi konstaterar att det kostar 180 miljarder kr i kapitalförstöring att stänga reaktorerna när de fyller 25 år i stället för när de fyller 40, så kan man säga att nuvärdeskostnaden är beräknad till år 2004, eftersom avstängningen antas ske successivt under perioden 1998–2010. Kritikerna menar att vi då bör diskontera dessa 180 miljarder med 6 procent realränta 14 år tillbaka (till 1990) för att få *dagens* nuvärde. Gör vi det, stannar kostnaden vid 80 miljarder kr.

Även 80 miljarder är naturligtvis en gigantisk kapitalförstöring, så det är inte uppenbart att en sådan neddragning av beloppet påverkar våra politiska ställningstaganden. Viktigare är dock att invändningen, ehuru formellt möjlig att göra, är orimlig. Det är nämligen så att vi vill räkna fram dessa kostnader för att kunna sätta in dem i ett ekonomiskt-politiskt sammanhang. Eftersom vi inte diskonterar andra framtida intäkter och kostnader som riksdagen har att ta ställning till blir jämförelsen därmed snedvriden. När vi t ex beräknar kostnaden för Öresundsbron eller för att bygga om och ut det svenska järnvägsnätet, så räknar vi alltid ut vad

det kommer att kosta (i dagens penningvärde), när vi faktiskt gör det. Om vi räknar ut att det kommer att kosta 15 miljarder att bygga Öresundsbron och avser genomföra projektet omkring 1998, så skulle vi kunna diskontera denna kostnad till nuvärde och finna att det bara kostar 9,4 miljarder. Och om vi fattar ett oåterkalleligt beslut att bygga denna bro först år 2010, faller kostnaden (mätt i nuvärde) till futtiga 4,7 miljarder!

På samma sätt betyder kravet på sådan diskontering att riksdagen när den år 1981 fattade beslutet att stänga alla reaktorer när de fyllde 25 år, skulle ha fått informationen att kostnaden diskonterad till dåvärde bara var 47 miljarder (mätt i 1990 års penningvärde och relativpriser). Sedan skulle kostnaden stiga med 6 procent per år i fast penningvärde för att nå 180 miljarder i samma penningvärde, när avstängningen är i full gång! Vi hävdar att det är sedvanligt i Sverige liksom i andra länder att *inte* diskontera framtida investeringskostnader för projekt till nuvärde och att det därför skulle vara helt vilseledande att göra det för att beräkna kostnaderna för en framtida kärnkraftsavveckling.

Kostnaderna via terms-of-trade-förluster när vi ställer om vår industristruktur och måste sälja nya exportprodukter till låga priser och via misslyckanden i omstruktureringen av landets näringsliv behandlas av Lars Bergman nedan. Det bör också tilläggas att utsläppen av växthusgaser ökar om kärnkraften stängs av, eftersom vi hamnar i lösningen att ersätta kärnkraften med fossil förbränning. Även kärnkraftsmotståndare, kända för en stor optimism beträffande möjligheterna att minska vår elförbrukning per producerad enhet, kommer till slutsatsen att kärnkraften måste ersättas med 30—60 TWh kol- och gaskondens.¹

1. Johansson, T.B., "The Challenge of Choices: Technology Options for the Swedish Electricity Sector", i *Electricity — Efficient End-Use and New Generation Technologies, and Their Planning Implications*, Lund University Press, 1989.

Kostnaden för sådana utsläpp är inte lätt att värdera, men det kan hävdas att Sveriges riksdag genom sina förslag till avgifter på sådana utsläpp har satt ett pris. Använder vi detta, finner vi att totalkostnaden för att producera en kWh i fossileldade kraftverk blir ytterligare 10 öre dyrare, d.v.s. omkring 45 öre per kWh. Detta betyder att vi skulle få räkna upp de ovannämnda avvecklingskostnaderna för kärnkraften med hela 40 procent.

Kärnkraftens försäkringskostnader

För att bedöma kärnkraftens lönsamhet och därmed även kostnaderna för en förtida avveckling måste man naturligtvis ha med alla kostnader. Det hävdas ofta att den ena eller andra kostnaden för kärnkraftproduktion inte är med. Det är en allmänt spridd föreställning att vi inte räknar med kostnaderna för att lagra avfallet eller att riva och dekontaminera kärnkraftverken vid skrotning. Detta är emellertid inte sant. För dessa ändamål avsätts tillräckliga medel och avsättningarna belastar kalkylerna för kärnkraftverkens produktionskostnader.

Däremot är det mera tveksamt hur väl riskerna återspeglas i våra kalkyler över kärnkraftens kostnader. I vanliga företag återspeglas verksamhetens risker i försäkringskostnaderna och kommer därmed med i kostnadskalkylen i företagens egen bokföring. När det gäller kärnkraftverken är detta bara delvis sant.

Kärnkraftverken försäkras liksom andra anläggningar både mot skador på den egna anläggningen och mot ansvar gentemot tredje man. Försäkringarna av själva kraftverken (och andra anläggningar som Centrallagret för använt bränsle, Slutförvar för reaktoravfall, ABB Atoms bränslefabrik och Studsvik liksom transporter av atombränsle i olika stadier) erbjuder inte några större problem i sammanhanget. Sex reaktorer, nämligen reaktor 1 och 2 i Barsebäck, Oskarshamn och Forsmark är helvärdesförsäkrade. Ring-

halsreaktorerna som ägs av staten till hundra procent försäkras inte alls i enlighet med principen att staten inte försäkrar sin egendom. Forsmarkstreaan och Oskarshamnstreaan är försäkrade endast på förstariskbasis på grund av den kapacitetsbrist som råder inom atomförsäkringsområdet. Förstariskbeloppen uppgår till omkring 7 å 8 miljarder kronor. Även i övrigt varierar försäkringarna i detta avseende mellan olika slag av anläggningar och utrustning mellan förstarisk och helvärde.

Det kan emellertid konstateras att premierna för helvärdesförsäkringar är blygsamma inslag i kärnkraftens kostnadsbild. Årspremien för en reaktor ligger på i storleksordningen 10 miljoner kronor, vilket innebär att kostnadsbidraget per kWh vid 5 TWh, d.v.s. 5 miljarder kWh, per år blir 0,2 öre och därmed helt försumbart. På grund av det goda skadefallet har denna premie fallit till omkring en fjärdedel i reala termer under det senaste årtiondet och kan antas fortsätta att sjunka.

Problemet ligger på ansvarsförsäkringssidan. Kärnkraftsföretagens ansvar är visserligen strikt, d.v.s. det är oberoende av om anläggningsinnehavaren har varit vållande eller inte, men det är begränsat till ett visst belopp genom den s.k. atomansvarighetslagen. Detta ansvar måste kärnkraftsbolagen täcka genom försäkring.

Reglerna, som är allmänt accepterade internationellt och grundas på den s.k. Pariskonventionen, innebär att staten träder in och svarar för skador på tredjeman utöver ett belopp som nu uppgår till 800 miljoner kronor per skadetillfälle. Detta betyder att kärnkraften, på grund av statlig intervention, inte bär sina totala försäkringskostnader. Detta är från flera synpunkter olyckligt. Dels vet vi alltså inte säkert hur lönsam kärnkraften är, dels är incitamenten till att finna vägar till ökad säkerhet undergrävda. Om kraftverksägarna bure sina totala försäkringskostnader skulle de få sänkta försäkringskostnader, om de investerade i ökad säkerhet.

Vi vet alltså inte hur hög den verkliga försäkringskostna-

den är. Som ett rent räkneexempel kan man peka på att Tjernobylyolyckan påstås redan ha kostat över 100 miljarder kronor. Antag att sluträkningen uppgår till hela 200 miljarder kronor. Sannolikheten för en allvarlig härdskada skall enligt IAEA vara mindre än 1 på 100 000 driftår och de svenska verken uppfyller enligt Kärnkraftinspektionen redan detta krav. Härtill kommer att Tjernobyl tillhör det 80-tal reaktorer i Europa som saknar inneslutning. En Tjernobylyolycka (som ju berodde på att en grafitmodererad reaktor kan skena vid minskad kylvattentillförsel) kan inte inträffa i en svensk reaktor. Däremot kan andra fel i princip leda till härdskador, men inneslutningen och den filtrerade tryckavlastningen gör skador på omgivningen utomordentligt osannolika.

Även om vi trots detta skulle räkna med sannolikheten 1 på 100 000 driftår för en olycka av Tjernobylytyp skulle alltså väntvärdet vara endast två miljoner kronor per år. Om det funnes nog många reaktorer som bidrog med försäkringspremier på denna nivå och återförsäkringskapaciteten räckte till i världen skulle vi automatiskt hamna på mycket blygsamma försäkringskostnader. Vi skulle däremot inte på något sätt komma upp i försäkringskostnader som väsentligt försköt kostnadsrelationerna mellan den redan utbyggda kärnkraften i Sverige och de fossilbaserade alternativen. Det är emellertid angeläget att kärnkraftsstaterna går in och tar fullt försäkringsansvar genom ett internationellt samarbete och belastar kärnkraftverken med dessa försäkringskostnader. Om detta genomförs ter det sig troligt att grafitmoderade reaktorer utan inneslutning inte byggs i fortsättningen och att de flesta inneslutningar förses med filtrerad tryckavlastning. Sannolikt kommer då också framtida reaktorer att byggas på något större avstånd från mycket stora befolkningscentra. Barsebäckslokaliseringen skulle ha framstått som onödigt dyr, om totalförsäkring mot skadeståndsskyldighet mot tredje man hade krävts vid investeringstillfället. Kvar står dock att en samhällsekonomiskt riktig belastning

av kärnkraften med dess fulla försäkringskostnad inte på något sätt skulle hejda fortsatt utbyggnad i världen eller leda till förtida avveckling i Sverige. Men det skulle leda till säkrare kärnkraft och ett normalt försäkringsskydd för tredje man, vilket är mycket angelägna mål.

Vi kan också ställa frågan vilken försäkringskostnad kärnkraften i Sverige tål. Även om man skulle ta ut en försäkringspremie på t.ex. 8 öre per kWh, skulle den rörliga kostnaden för kärnkraft bara vara hälften av alternativkostnaden i andra kraftslag. Dessa 8 öre skulle möjliggöra en årspremie per reaktor på över 450 miljoner kronor i genomsnitt! Vi kan därför lugnt hävda att varje form av aktuariemässigt beräknad kostnad för en total ansvarighetsförsäkring skulle leda till att det framstår som utomordentligt dyrt att avveckla kärnkraften i förtid.

Däremot kan det tänkas att kärnkraften inte hade framstått som konkurrenskraftig vid den tid då investeringarna gjordes. Försäkringsbolagen hade krävt de stora investeringar i ökad säkerhet som nu kom att genomföras senare. Å andra sidan är kärnkraften en ung teknologi där säkerheten stiger snabbt. Som redan framhållits är det de grafitmoderade reaktorerna utan inneslutning i andra delar av Europa som framstår som det stora riskproblemet i dag, inte de svenska lättvattenreaktorerna med inneslutning och filtrerad tryckavlastning. För dessa är den ej inkalkylerade försäkringskostnaden mycket blygsam.

Kärnkraft och komparativa fördelar

Det kan också vara lämpligt att se kärnkraftsfrågan ur ett historiskt-internationellt perspektiv. Utrikeshandeln har alltid spelat en central roll i vårt lands utveckling. Under den svenska genombrottsperioden, tiden 1870—1914, verkade utrikeshandeln som en tillväxtmotor: exportvolymerna steg kraftigt samtidigt som terms of trade förbättrades. Men utrikeshandeln kan också ha negativa verkningar för ett land.

Utrikeshandeln kan, som vi strax skall återkomma till, fungera som en allmän nivellerare och bidra till att mindre konkurrenskraftiga länders ställning försvagas.

Vi har redan sett att en avveckling av kärnkraften skulle leda till gigantiska kostnader för svensk ekonomi. Kraven på anpassning för att försöka bevara standard och välfärd skulle bli enorma. Men för att vi verkligen skall kunna få ett grepp om kärnkraftens stora betydelse för svensk ekonomi måste den ses ur ett kombinerat historiskt-internationellt perspektiv. Vi börjar med den historiska aspekten.

Om vi ser svensk ekonomisk utveckling ur ett litet längre perspektiv finns det ett par karakteristika som är viktiga att förstå. En mer systematisk process av utveckling och omvandling av den svenska ekonomin kan dateras till 1870-talets början. Det som sedan karakteriserade utvecklingen under nästan exakt 100 år var dess ovanliga jämnhet. Det fanns andra länder som under perioder växte snabbare. Men det fanns knappast något annat land som hade samma jämnhet i sin tillväxt. Inte ens den stora 30-talsdepressionen märks hos oss som något annat än ett mycket marginellt hack i tillväxtkurvan. Hundra år av jämn tillväxt födde och utvecklade en mentalitet av självmedvetenhet, en känsla av att vi var ett utvalt folk som alltid skulle ligga i industrialismens tät. Denna utveckling medförde också att vi hade en av de allra högsta inkomstnivåerna i världen per huvud räknat vid 1960-talets slut.

De senaste tjugo åren har inte gått så bra. Vi har tenderat att sladda och sjunka nedåt i tabellerna. Vi skall dock inte uppehålla oss vid denna aspekt utan återgå till det historiska perspektivet.

Jämnhetens motsvarighet på mikroplanet betyder också att svenska företag ofta är ganska gamla. Den stora gründerperioden i svenska näringsliv utgör tiden från 1890 till 1913, den period som fransmännen också brukar kalla för ”la belle époque”. Då var entreprenörtätheten i vårt näringsliv långt större än vad vi kan vänta oss inför 1990-talet och då fanns

också ett — i den historiska litteraturen förbisett — men icke desto mindre mycket fruktbart samarbete mellan stat och näringsliv i vårt land.

Många, kanske de flesta av dagens stora svenska multinationella företag, Alfa-Laval, Bofors, Atlas-Copco, ABB och SKF, härstammar från denna tid. Vad som utmärker svensk industri i allmänhet och dessa företag i synnerhet är kanske inte så mycket förmågan till nya, genomgripande innovationer. De entreprenörföretag som tillkommit under efterkrigstiden är ju av annat slag (som Tetrapak och IKEA) och deras ledningar har redan flyttat utomlands. Inte heller har vi varit särskilt framgångsrika när det gäller nya, högteknologiska produkter där vår export ligger under genomsnittet för OECD-länderna.

Nej, styrkan hos de traditionella svenska multinationella företagen är i stället att de framgångsrikt kunnat vårda en tradition och varit ovanligt framgångsrika när det gäller just jämnhet, förmåga till en aldrig upphörande gradvis förnyelse och ett förbluffande utvecklingsarbete. Har denna tradition någon relevans för frågan om kärnkraftens framtid? Ja, enligt vår mening har den det i högsta grad.

Sverige har inte särskilt många nya teknologier där man tillhör de världsledande. Men kärnkraften är just en av dem. Den kostnadsanalys och de kostnadsjämförelser som vi gjorde i början av vårt kapitel är fundamentala. De visar med all önskvärd tydlighet att vårt land har en stark komparativ fördel just i produktionen av el via kärnkraft. Sverige tillhör här de allra mest effektiva producenterna i världen.

Är kärnkraften en främmande, artskild teknologi, kan den inordnas i ett traditionellt svenskt mönster? Såvitt vi förstår skulle ett sådant mönster innebära att de stora kärnkraftsproducerande företagen gradvis kommer att kunna utveckla kärnkraften så att den blir alltmer kostnadseffektiv och allt säkrare och att — om möjligheter därtill ges — dess användningsområden undan för undan breddades.

Det finns en tankelinje som går ut på det motsatta och som

söker hävda att våra kärnkraftverk blir allt mindre säkra ju längre tiden går. Tanken tycks då vara att den tekniska utvecklingen på detta område plötsligt helt upphör, att historien så att säga tar slut.

Mot denna syn står en annan som menar att kärnkraften är *en* betydelsefull teknologi bland andra, med i grova drag samma karakteristika som andra teknologier. Det innebär att kärnkraften kommer att kontinuerligt utvecklas, att kärnkraftverken kommer att bli allt säkrare med tiden och att kostnaderna för att producera el via kärnkraft kommer att sjunka.

Finns det skäl att tro att de som företräder den senare tankelinjen har rätt? Ja i högsta grad. Det som talar härför är utvecklingens inre logik, den typ av grundläggande mekanism som säger att industriell utveckling i allmänhet och den som präglad de framgångsrika svenska företagen i synnerhet just kännetecknas av de gradvisa förbättringarna. Denna utveckling pekar hän mot två klara slutsatser. Den första är att den tekniska utvecklingen kommer att göra våra kärnkraftverk allt säkrare. Den andra slutsatsen är att vi idag inte kan skönja någon slutpunkt för kärnkraftens användning i vårt land av tekniska eller ekonomiska skäl.

Om vi vill avskaffa kärnkraften år 2010 kommer det därför att ske på rent politiska grunder.

Så till vårt internationella beroende. Vår inhemska standard är långtifrån enbart beroende av vad vi själva gör. Den är i kanske ännu större grad beroende av utvecklingen utomlands. Detta belyses mycket klart av ett av utrikeshandelsteorins mest centrala teorem, det s.k. faktorprisutjämnings-teoremet. Teoremet säger i grova drag att under förutsättning att alla länder har tillgång till samma teknologi så kommer faktorpriserna att utjämnas av internationell handel. Och faktorpriserna, det är just kapitalavkastningen och lönenivån. Enligt teoremet fungerar därför internationell handel som den store nivelleraren. Handel leder till att lönerna tenderar att utjämnas i de länder som handlar med varandra

och som har tillgång till samma teknologi.

På 50-talet föreföll teoremet esoteriskt. 70-talet och 80-talet har gett det en starkt förnyad relevans. Vi har fått se hur en grupp länder i främst Sydostasien och ledda av Japan har stormat fram. De började med att exportera enklare konsumtionsvaror och industriprodukter. Idag har NIC-länderna lärt sig att använda sofistikerade teknologier och produktionsmetoder. Det är ingen slump att löner och standard stigit kraftigt i dessa länder, under det att reallönerna i Sverige legat stilla de senaste femton åren. I en värld där andra stormar fram med hjälp av djärva teknologiska satsningar och offensiv strukturomvandling, blir det land som tvekar och våndas obönhörligt efter och kan t.o.m. förlora i absolut mening.

Faktorpristjämnning och internationellt beroende är av stor relevans för kärnkraftsfrågan. Om vi skall kunna behålla vår relativa och absoluta position måste vi finnas vid den teknologiska fronten på åtminstone några få avsnitt. Det är inte särskilt många teknologier där vi tillhör de världsledande. Kärnkraften är dock en sådan. Därför blir den och dess utnyttjande av särskild stor betydelse för den svenska ekonomins fortsatta utvecklingsmöjligheter.

I ljuset av komparativa fördelar och ekonomisk utveckling erbjuder oss kärnkraften två särpräglade fördelar. Svensk industri har för det första en komparativ fördel i produktionen av komponenter till kärnkraftsanläggningar och byggandet av sådana. Det ger oss särskilda möjligheter till att exportera sådana anläggningar, exempelvis i form av Secure- och Piusanläggningar som torde bli nästa generation av kärnkraftsaggregat. De präglas av relativ småskalighet, flexibilitet och en mycket hög grad av framför allt s.k. passiv säkerhet (se Sokolowskis kapitel).

Ett utnyttjande av våra egna anläggningar ger oss också möjlighet att producera el till internationellt sett mycket konkurrenskraftiga kostnader. Detta i sin tur gör att våra elintensiva industrier också i framtiden kan fortsätta att vara kon-

kurrenskraftiga. Genom att kärnkraftsproducerad el är så kostnadseffektiv kan vi fortsätta att exportera el- och kapitalintensiva produkter som stål, papper och massa så länge som vi fortsätter att använda våra kärnkraftverk.

Som vi sett är kärnkraften internationellt sett en livaktig och starkt expanderande teknologi. Men den är inte politiskt oomstridd. I två länder, Sverige och Österrike, har principiella avvecklingsbeslut fattats. Vi bör dock observera att för Österrikes vidkommande omfattade beslutet endast en anläggning, som dessutom aldrig tagits i bruk. I Italien har vidare på grund av politiskt motstånd två färdiga anläggningar lagts i malpåse.

En annan intressant fråga är den om kärnkraftens livslängd. Världens äldsta kärnkraftverk för kommersiell elproduktion finns i England och fyller i år 34 år. Ett ökande antal av aggregat närmar sig nu en ålder av 30 år. Detaljerade studier visar att det i många fall är utomordentligt lönsamt att fortsätta driften av dessa, till att börja med i ett tioårsperspektiv. Man börjar nu också mer allmänt räkna med att kärnkraftverk skall kunna drivas betydligt längre än vad som ursprungligen var tänkt. I USA har exempelvis alla reaktorer getts ett ursprungligt initialt drifttillstånd om 40 år. Myndigheterna har nu påbörjat studier som syftar till procedurer att förlänga dessa tillstånd i första hand till 50 och 60 år. Därefter kommer frågor om mer omfattande ombyggnad av kärnkraftverken att bli aktuella.

All kärnkraftsel är naturligtvis inte lika konkurrenskraftig. Även om el är en relativt homogen produkt är byggandet och drivandet av kärnkraftsaggregat en i högsta grad speciell och heterogen sysselsättning. Teori och empiriska erfarenheter visar att svensk kärnkraftsteknologi tillhör den mest avancerade och lönsamma i världen. Oavsett vad vi gör, kan vi räkna med att kärnkraft för fredligt bruk blir en alltmer betydelsefull energikälla i resten av världen. Mot denna bakgrund framstår tanken på att i förtid avveckla kärnkraften som extra märklig.

Vi har redan med räkneexempel visat vilka stora kostnader som är förknippade med en kärnkraftsavveckling. Vår senare analys tyder på att kärnkraften har en långt mer central ställning i svensk ekonomi än vad en ren kostnadsanalys kan visa. Dess betydelse för den svenska ekonomin är svår att överskatta. Ett avskaffande av den utan att någon stor alternativ teknologi hinner utvecklas som skulle kunna ersätta den, är ett handlings sätt som på ett kusligt sätt liknar ett nationellt ekonomiskt harakiri.

LARS BERGMAN

2 Vad kostar det att avveckla kärnkraften?

I den mer än decennielånga debatten om kärnkraftens vara eller icke vara i den svenska energiförsörjningen är det två frågor som hela tiden stått i centrum. Den ena rör riskerna i samband med drift av kärnkraftverken och lagringen av det använda bränslet. Den andra rör de ekonomiska konsekvenserna av att avveckla kärnkraften.

I en fullständig kalkyl över de samhällsekonomiska kostnaderna för att avveckla kärnkraften måste båda dessa aspekter vägas in. Syftet med detta kapitel är emellertid mer begränsat. Frågan om kärnkraftens risker och den ekonomiska värderingen av dessa lämnas därhän. Förutom att frågan om dessa risker är kontroversiell, är en ekonomisk värdering av riskerna i fråga utomordentligt svår både från konceptuell och praktisk synpunkt. Framställningen inriktas i stället på att förklara vilken typ av samhällsekonomiska konsekvenser som en avveckling av kärnkraften medför och att redovisa vilken kostnad som dessa konsekvenser beräknas motsvara.

Kärnkraftsavveckling enligt nu gällande riksdagsbeslut innebär dels att befintlig kapacitet för elproduktion tas ur drift i förtid, dels att kärnkraft utesluts som alternativ för framtida nyinvesteringar i kraftsektorn. Konsekvenserna för den

En del av de beräkningar som diskuteras i kapitlet har genomförts av ekon.lic. Anders Carlsson. För detta arbete framför jag härmed ett varmt tack. För alla bedömningar och slutsatser är jag dock ensam ansvarig.

ekonomiska utvecklingen av den senare aspekten behandlades i Bo Söderstens och Nils Lundgrens kapitel. Jag skall i detta kapitel koncentrera mig på den förra, d.v.s. konsekvenserna av att en stor mängd realkapital i kraftsektorn skrotas innan dess ekonomiska livslängd är till ända.

Ämnet är ingalunda originellt. Med början i den s.k. konsekvensutredningen har en rad olika analyser av den planerade kärnkraftsavvecklingens samhällsekonomiska kostnader genomförts och redovisats i rapporter från myndigheter, fristående forskare och intressegrupper. Ändå är det motiverat att än en gång behandla detta ämne. Det är speciellt två skäl som talar för detta.

Det första är att innebörden av "kärnkraftsavveckling" har förändrats över åren. Exempelvis studerade konsekvensutredningen en "kärnkraftsavveckling" som innebar att sex befintliga reaktorer togs ur drift under en period på mindre än tio år, medan sex reaktorer under byggnad inte färdigställdes. När 1981 års energikommitté, EK 81, gjorde sina konsekvensanalyser innebar "kärnkraftsavveckling" dels förbud mot nyinvesteringar i kärnkraft, dels en begränsning av de tolv reaktorernas drifttid till 25 år.

I den dagsaktuella debatten innebär "kärnkraftsavveckling" att tolv befintliga reaktorer skall avvecklas före år 2010 med början 1995. Till dessa skillnader kommer att de tolv reaktorernas kapacitet att producera elenergi, till följd av ökad tillgänglighet och effekthöjningar, vuxit över tiden. Således räknade konsekvensutredningen med att de tolv reaktorerna skulle kunna producera 58 TWh elenergi per år, medan den faktiska produktionen de senaste åren har uppgått till mer än 66 TWh per år. Efter ytterligare effekthöjningar väntas denna siffra stiga till nära 70 TWh per år.

Det är uppenbart att analyser av dessa olika varianter av "kärnkraftsavveckling" måste leda till olika resultat. Detta enkla förhållande förklarar en betydande del av de skenbart motstridiga resultat som utredningar vid olika tidpunkter lett fram till. Det är också uppenbart att de enda relevanta

konsekvensanalyserna är de som gäller den beslutssituation som vi nu befinner oss i, d.v.s. en situation där tolv färdiga reaktorer med en beräknad årsproduktion på nära 70 TWh skall avvecklas inom mindre än 20 år med början om cirka fem år.

Det andra skälet till att återigen behandla frågan om kärnkraftsavvecklingens samhällsekonomiska konsekvenser är av pedagogisk natur. Flertalet av de konsekvensanalyser som under åren presenterats är rika på beräkningsalternativ och siffermässiga resultat, men förhållandevis sparsamma när det gäller förklaringar till varför de studerade avvecklingsalternativen leder till just de beräknade resultaten. Till detta kommer att graden av säkerhet i de redovisade resultaten och bakomliggande bedömningarna sällan preciseras. Mot denna bakgrund finns det skäl att dels förklara hur en avveckling av kärnkraften kan väntas påverka den svenska ekonomin, dels redovisa graden av osäkerhet i försöken att beräkna kärnkraftsavvecklingens samhällsekonomiska kostnader.

Vilka slag av kostnader medför avvecklingen?

Kärnkraftsavveckling i enlighet med senaste riksdagsbeslut innebär, som sagt, att de befintliga reaktorerna skall tas ur drift mellan 1995 och 2010, d.v.s. betydligt tidigare än vad kraftindustrin på företagsekonomiska grunder skulle önska. Det innebär att Riksdagens beslut, om det genomförs, medför kostnader för kraftföretagen. Den första frågan är då om denna "förtida" avveckling också medför samhällsekonomiska kostnader.¹

Det kapital som bundits i kärnkraftverken saknar i allt väsentligt alternativ användning; det kan antingen utnyttjas

1. Observera att jag inte behandlar frågan om kärnkraftsavveckling medför samhällsekonomiska "intäkter" i form av reducerade risker vid drift, transport och lagring.

för kraftproduktion eller inte utnyttjas alls. Det senare alternativet innebär en samhällsekonomisk kostnad om värdet i användarledet av den el som kärnkraftverken kan producera överstiger den rörliga (samhällsekonomiska) produktionskostnaden i kärnkraftverken och kostnaderna för att distribuera den aktuella kraften. Modern ekonomisk-teoretisk forskning har visat att den aktuella elenergens samhällsekonomiska värde kan beräknas med utgångspunkt i användarnas s.k. marginella betalningsvilja för el. Huruvida den för-tida avvecklingen medför samhällsekonomiska kostnader beror alltså på om betalningsviljan för el under 1990-talets andra hälft kan väntas överstiga kärnkraftverkens rörliga (samhällsekonomiska) kostnader.

För närvarande råder det inte någon brist på elenergi² i Sverige; var och en kan köpa den el som han eller hon önskar vid de priser som eldistributörerna annonserat. Den observerade elanvändningen kan därför ses som ett resultat av hushållens och företagens anpassning dessa priser. Elpriserna ger med andra ord god information om elkonsumenternas marginella betalningsvilja för el. Alternativt kan man säga att elpriserna anger den kostnad som en marginell reduktion av eltillförseln skulle innebära för elkonsumenterna.

Elprisnivån i producentledet är för närvarande c:a 18 öre/kWh.³ Aktuella bedömningar pekar mot ökad elefterfrågan under 1990-talet. Samtidigt är kostnaden för nyinvesteringar i kraftindustrin så höga att ny kapacitet knappast kan för-räntas vid en elprisnivå under 25—30 öre/kWh. Med skärpta miljörestriktioner kan det röra sig om 35—50 öre/kWh. Resultatet blir tilltagande knapphet på el, d.v.s. elkonsumenternas marginella betalningsvilja för elenergi kommer att växa.

2. Däremot finns det restriktioner på vad man får använda el till, exempelvis när det gäller uppvärmning av bostäder och lokaler.

3. Som mått på elpriset i producentledet har jag tagit energiavgiften i tariffen för högspänningskunder.

Den rörliga produktionskostnaden i kärnkraftverken är ungefär 6 öre/kWh. I en samhällsekonomisk kalkyl tillkommer de produktionsvolymberoende kostnaderna för framtida hantering och lagring av bränslet. Den avgift som kärnkraftföretagen betalar till statens kärnbränslenämnd för att täcka samtliga framtida kostnader för bränslehanteringen uppgår till i genomsnitt 1,9 öre/kWh. Den bränslevolymberoende delen av denna kostnad utgör högst 3/4 eller 1,5 öre/kWh. Därmed är den rörliga kostnaden i kärnkraftverken, exklusive riskkostnader, för närvarande c:a 8 öre/kWh. Några betydande förändringar i kärnkraftverkens rörliga kostnader under 1990-talet förutses inte.

De svenska kärnkraftverken är således en resurs som för högst 8 öre/kWh kan producera el som användarna värderar till minst 18 öre/kWh. Man kan således med en mycket hög grad av säkerhet hävda att kostnaden för att avveckla kärnkraften är positiv; det kostar något att eliminera de risker som fortsatt drift av de svenska kärnkraftverken innebär.

Hur stor är då denna kostnad? Här är graden av osäkerhet större. Till en del beror svaret på hur avvecklingen genomförs; med tillräckligt många felaktiga beslut på olika nivåer kan avvecklingen komma att kosta nästan hur mycket som helst. En grundläggande fråga är därför vad en avveckling av kärnkraften oundvikligen kommer att kosta det svenska samhället, d. v. s. den lägsta möjliga kostnaden. Från pedagogisk synpunkt är det ändamålsenligt att dela upp denna kostnad i fyra, låt vara ömsesidigt beroende, komponenter.

Den första kan kallas *direkta kostnader* och innefattar de ökade kostnader som drabbar elproducenter och elkonsumenterna. Den andra kan kallas *indirekta kostnader* och har sin grund i de effekter som högre elpriser och ökad resursanvändning i elsektorn har på resten av ekonomin. Den tredje kan kallas *anpassningskostnader* och reflekterar de temporära kostnader som uppstår då elproducenter och elkonsumenterna anpassar sig till, på grund av kärnkraftsavvecklingen, ändrade förutsättningar. Den fjärde kan, i brist på bättre,

kallas *politiska kostnader* och utgörs av de kostnader som uppstår på grund av politiska beslut som direkt hänger samman med avvecklingen av kärnkraften. Exempelvis kan avvecklingens regionala effekter leda till ekonomisk-politiska åtgärder som omfördelar, men samtidigt höjer, den samlade kostnaden för avveckling av kärnkraften.

Ett skäl till denna uppdelning är att förutsättningarna för kvantifiering skiljer sig starkt mellan de olika komponenterna. De direkta kostnaderna är förhållandevis lätta att beräkna. Motsvarande skattning av de indirekta kostnaderna är svårare, men analysen kan grundas på väletablerad ekonomisk teori och väldefinierade begrepp. Anpassningskostnaderna beror på ekonomins dynamiska egenskaper, vilket innebär att den teoretiska grunden för de empiriska beräkningarna är i hög grad ofullständig. När det gäller de politiska kostnaderna har man närmast sig den spekulativa nivån.

I det följande skall jag diskutera kärnkraftsavvecklingens samhällsekonomiska kostnader med utgångspunkt i denna komponentuppdelning. Dessförinnan finns det skäl att säga några ord om prisbildningen på el i teori och praktik.

Prisbildningen på elmarknaden

Kärnkraftsavvecklingens direkta kostnader beror, bland många faktorer, på prisbildningen på elmarknaden. Om elpriserna inte alls påverkas av avvecklingen, så påverkas inte heller elanvändningen i någon större utsträckning. Den kärnkraftskapacitet som avvecklas måste då ersättas med annan elproduktionskapacitet. Om elpriserna däremot stiger till följd av avvecklingen, så kommer en del av anpassningen att ha formen av minskad elanvändning.

Den prissättningsprincip som fördelar anpassningen mellan ökad tillförsel och minskad användning på ett sådant sätt att den samlade kostnaden blir så låg som möjligt är prissättning efter kortsiktig marginalkostnad, eller kort och gott

”marginalkostnadsprissättning”.⁴ Denna princip innebär att priset sätts så att det blir jämvikt på marknaden vid en prisnivå som minst uppgår till den rörliga kostnaden i de anläggningar som används för den ”marginella” produktionen.

Man kan säga att marginalkostnadsprissättning är ett sätt att styra en monopoliserad marknad så att den efterliknar en marknad med många konkurrerande säljare. Att marginalkostnadsprissättning leder till effektiv hushållning med ekonomins resurser är nära nog självklart: Med denna prissättningsmetod ges ju elkonsumenter som planerar att dra ned sin användning korrekt information om den samhällsekonomiska avkastningen på de planerade åtgärderna.

I ett kraftsystem där det råder balans mellan produktionskapacitet och efterfrågan leder marginalkostnadsprissättning till elpriser som motsvarar summan av drifts- och kapitalkostnader per kWh i tillkommande kraftverk, d.v.s. till elpriser som är lika med den s.k. långsiktiga marginalkostnaden. Det hävdas ibland att marginalkostnadsprissättning innebär att elpriserna *alltid* skall vara lika med den långsiktiga marginalkostnaden, men detta är ett missförstånd. I ett kraftsystem med kapacitetsöverskott, innebär således marginalkostnadsprissättning att elpriset sätts lika med den rörliga kostnaden i marginella anläggningar. Om det i stället råder kapacitetsbrist, kommer elpriset att vara högre än den rörliga kostnaden i marginella anläggningar och lika med vad den marginelle konsumenten är villig att betala för elenergin.⁵

Det finansiella utfallet för ett kraftföretag som tillämpar

4. Detta är inget kontroversiellt påstående, utan väl etablerade forskningsresultat som sedan länge finns med i läroböcker i nationalekonomi.

5. Den långsiktiga marginalkostnaden är i själva verket ett investeringskriterium: En investering i ny kapacitet skall företagas när den befintliga kapaciteten är så knapp att jämviktspriset är lika med den långsiktiga marginalkostnaden.

marginalkostnadsprissättning beror dels på företagets kostnadsstruktur, dels på förhållandet mellan produktionskapacitet och efterfrågan. Ett kraftföretag arbetar emellertid i allmänhet under vissa avkastningskrav; intäkterna måste täcka företagets finansiella åtaganden med en viss marginal.

Det betyder att man i praktiken måste skilja mellan, å ena sidan, den totala tariffnivån och, å andra sidan, de avgifter som är beroende av den levererade kvantiteten. Skillnaden utgörs av olika fasta avgifter som gör att avkastningskraven kan tillgodoses. Till detta kommer att produktion och användning av el har både en effektdimension och en energidimension. När man talar om elpriser bör man således skilja mellan priset på effekt och priset på energi.

Prisbildningen på högspänd el i Sverige bestäms till en avgörande del av Vattenfalls tariffer. Dessa tariffer måste betraktas som en långtgående praktisk tillämpning av principen om prissättning efter kortsiktig marginalkostnad i företag med finansiella avkastningskrav. Tariffnivån påverkas av fasta avgifter, men avgifterna på energi och effekt är satta med utgångspunkt i marginalkostnaden för energi respektive effekt.

I den fortsatta framställningen skall jag till en början utgå från att nu gällande prissättningsprinciper kommer att tillämpas även i framtiden. Jag skall således diskutera kärnkraftsavvecklingens inverkan på marginalkostnaden för elenergi och utgå från att förändringar i denna marginalkostnad kommer att reflekteras i priserna på elenergi. Av detta följer att de skattningar av direkta avvecklingskostnader som presenteras har karaktären av "oundvikliga kostnader", d. v. s. lägsta möjliga kostnader. Utrymmet medger ingen diskussion av de i och för sig betydelsefulla frågorna om kärnkraftsavvecklingens inverkan på tillgång och pris på effekt samt kraftföretagens ekonomi.

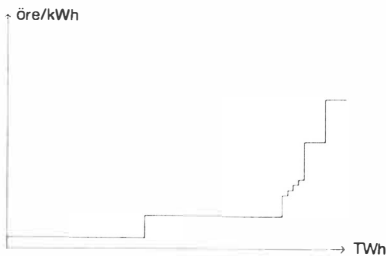
Direkta kostnader

Om man vill ha en grov approximation av kärnkrafts-avvecklingens direkta kostnader behöver man bara räkna ut vad det skulle kosta att ersätta de befintliga kärnkraftverken med andra kraftslag. En sådan översiktlig kalkyl redovisades i Bo Söderstens och Nils Lundgrens kapitel. I en mer ingående analys måste man emellertid ta hänsyn till att kärnkrafts-avvecklingen kan komma att påverka elpriserna och därmed efterfrågan på el. Det betyder dels att all kärnkraft inte behöver ersättas av andra kraftslag, dels att man måste ta hänsyn till den kostnad som den högre elprisnivån innebär för elkonsumenterna.

I detta avsnitt skall jag redovisa några beräkningar av kärnkrafts-avvecklingens direkta kostnader som genomförts med hjälp av en numerisk modell av den svenska elmarknaden, den s.k. ENMARK-modellen.⁶ Som grund för denna redovisning måste först några ord sägas om den svenska elmarknaden och de teoretiska grunderna för de genomförda beräkningarna.

Figur 1 ger en schematisk beskrivning av den svenska marknaden för högspänd el. Utbudskurvan, som i figuren är trappstegsformad, anger de kvantiteter som kraftproducenterna är villiga att leverera vid olika prisnivåer. Efterfrågekurvan anger de kvantiteter som kraftkonsumenterna önskar köpa vid olika prisnivåer. Jämviktspriset är det pris som gör att producenterna önskar sälja just den kvantitet som konsumenterna önskar köpa.

6. *ENERGI*MARKnadsmodellen har utvecklats vid Handelshögskolan i Stockholm. Den är dokumenterad i bl.a. Carlsson, A. (1990). ENMARK är i första hand en modell av prisbildningen på den svenska marknaden för högspänd el, d.v.s. modellen avbildar samspelet mellan utbud och efterfrågan på denna marknad. Med hänsyn till kraftvärmens faktiska och potentiella betydelse belyser modellen även prisbildningen på tre typer av lokala marknader för fjärrvärme och samspelet mellan den nationella elmarknaden och dessa lokala fjärrvärmemarknader.



Figur 1 Den svenska kraftindustrins utbudskurva vid mitten av 1990-talet. En principskiss.

Utbudet på den svenska elmarknaden

Utan större våld på verkligheten kan man säga att utbudskurvan sammanfaller med kraftindustrins, eller kraftsystemets, marginalkostnad. Samarbetet mellan de svenska kraftproducenterna, den s.k. samkörningen, innebär nämligen att kraftindustrin kan ses som ett integrerat system i vilket ett visst kraftslag tas i bruk först när kapaciteten i kraftslag med lägre rörlig kostnad är fullt utnyttjad. Därmed kan man konstruera kraftindustrins utbudskurva genom att ordna de olika kraftslagen efter stigande kostnad per producerad kWh.

Emellertid varierar effektefterfrågan, d.v.s. elefterfrågan per tidsenhet, kontinuerligt under årets alla 8 760 timmar. Eftersom elenergin måste produceras i samma ögonblick som den efterfrågas har kraftsystemet minst 8 760 olika utbudskurvor under året. Vid en översiktlig beskrivning kan man emellertid betrakta året som en period. Därmed bortser man i praktiken från de kraftslag som endast används under korta perioder med hög effektefterfrågan och som därför svarar för en mycket liten del av årsproduktionen av elenergi.⁷ Utbudskurvan i figur 1 bygger på en sådan förenkling. Hur kan man då motivera dess utseende?

7. I ENMARK är året indelat i tre olika perioder med olika karaktäristika med avseende på effektefterfrågan.

Kurvan avses reflektera förhållandena vid mitten av 1990-talet. Tills vidare bortser jag från effekterna av beslutet att avveckla kärnkraften. Den befintliga vattenkraften har en mycket låg rörlig kostnad, 1—2 öre/kWh. Dess kapacitet på c:a 65 TWh per år utnyttjas därför fullt ut innan något annat kraftslag tas i bruk. Utbudskurvans första steg representerar således den rörliga kostnaden i de befintliga vattenkraftverken. Nästa steg representerar den rörliga kostnaden i de befintliga kärnkraftverken, d.v.s. omkring 8 öre/kWh. Kärnkraftverkens kapacitet vid mitten av 1990-talet ligger i intervallet 65—70 TWh.

När vatten- och kärnkraften är fullt utnyttjad stiger kraftsystemets marginalkostnad. Först kommer ett antal små steg som representerar den marginella kostnaden för el från befintliga kraftvärmeverk och s.k. industriellt mottryck. Det är anläggningar som producerar såväl el som hetvatten för fjärrvärmenät respektive industrier. Marginalkostnaden för el från dessa anläggningar beror dels på vilket bränsle som används, dels på avsättningsförhållandena för hetvattnet. Med den befintliga anläggningsstrukturen ligger marginalkostnaden i intervallet 10—16 öre/kWh, medan kapaciteten kan väntas vara 5—10 TWh per år vid mitten av 1990-talet.

Efter kraftvärmeverken kommer de befintliga oljekondenskraftverken. Här är den rörliga kostnaden starkt beroende av oljepriset, beskattningen av olja samt miljöavgifter av olika slag.⁸ Vidare är den för ”normal” produktion tillgängliga kapaciteten beroende av effektefterfrågan och behovet av reservkraft. Mot denna bakgrund kan man räkna med att marginalkostnaden för oljekondenskraft ligger i intervallet 20—30 öre/kWh, medan den tillgängliga kapaciteten är c:a 10 TWh per år.

Utöver de hittills diskuterade kraftslagen finns det i det svenska kraftsystemet även s.k. gasturbiner. Dessa har emell-
8. I en samhällsekonomisk kalkyl skall såväl skatter som miljöavgifter räknas som en kostnad i kraftproduktionen och som en intäkt för skattebetalarkollektivet.

lertid mycket höga rörliga kostnader och används bara under ett fåtal timmar då effektefterfrågan är som störst. Det betyder att kraftproduktion utöver de c:a 150 TWh som kan levereras från befintliga anläggningar av de tidigare diskuterade slagen måste föregås av investeringar i nya kraftverk. Utbudskurvans sista steg är därför marginalkostnaden för tillkommande kraft.

Till skillnad från de befintliga anläggningarna innefattar marginalkostnaden för ny kraft både drifts- och kapitalkostnader. Beroende på bränslepriser och miljökrav ligger marginalkostnaden för ny fossileldad kraft därför i intervallet 25—50 öre/kWh. Ny kärnkraft, liksom ny vattenkraft, torde kosta mellan 20 och 30 öre/kWh.

I ett tidsperspektiv på 5—6 år, d.v.s. fram till 1990-talets mitt, kan det emellertid ifrågasättas om någon ny kraft kan göras tillgänglig. Skälet till detta är att den sammanlagda tiden för tillståndsprovning, projektering och byggande tar mer än 5—6 år för de flesta kraftslag. Om ny kraft inte kan göras tillgänglig blir kraftindustrins utbudskurva en lodrät linje vid den produktionsnivå som svarar mot fullt kapacitetsutnyttjande i befintliga anläggningar.

Efterfrågan på den svenska elmarknaden

Trots osäkerheten om framtida bränslepriser, miljökrav och den tekniska utvecklingen inom kraftindustrin är våra kunskaper om energimarknadens utbudssida förhållandevis goda. När det gäller efterfrågesidan är osäkerheten större. Här är det inte frågan om produktionskostnader och tillgängliga kapaciteter i ett fåtal anläggningar, utan om teknik, kunskaper, förväntningar och önskemål hos miljoner elanvändare i företag, förvaltningar och hushåll.

Med utgångspunkt i vissa rationalitetsantaganden⁹ är det

9. Den viktigaste av dessa är förutsättningen om att individers val mellan konsumtionsalternativ är transitiva, d.v.s. att en individ som föredrar alternativ A framför alternativ B och alternativ B framför alternativ C också föredrar alternativ A framför alternativ C.

emellertid möjligt att uttrycka marknadens efterfrågan på el som en funktion av observerbara storheter som priser, inkomster, väder etc. Efterfrågekurvan i figur 1 representerar sambandet mellan pris och efterfrågad kvantitet vid *i övrigt givna förhållanden* för aggregatet av alla elanvändare.

Ett sätt att karaktärisera efterfrågan på elenergi är att ange dess priselasticitet, d. v. s. förhållandet mellan procentuell förändring i efterfrågad kvantitet och procentuell förändring i pris, vid olika punkter längs kurvan. Elefterfrågans priskänslighet kan delas upp i två komponenter.

Den första reflekterar substitutionsmöjligheterna, d. v. s. de tekniska och ekonomiska möjligheterna att ersätta el med andra energiformer, ökad kapitalanvändning, ökad insats av mänskligt arbete etc. vid given produktionsnivå. Substitution av andra produktionsfaktorer för el ligger nära det som i dagligt tal brukar kallas "elsparande".

Empiriska studier av elefterfrågan tyder på att substitutionsmöjligheterna mellan elenergi och andra produktionsfaktorer är ganska små i såväl industri och handel som i hushåll, särskilt på kort sikt. Skälet till detta torde vara att elanvändningen till en betydande del är bestämd av den elförbrukande utrustning som man utnyttjar och att en måttlig elprisförändring endast i undantagsfall gör det lönsamt att ersätta denna utrustning. Dessa förhållanden talar för att elefterfrågans priselasticitet är förhållandevis låg, åtminstone på kort sikt.

Den andra komponenten bakom elefterfrågans priskänslighet reflekterar elprisernas inverkan på konsumtionsmönster och näringslivets struktur. Här är bilden ganska splittrad. För hushållen och många företag i verkstadsindustri och tjänstesektorn utgör elkostnaden en ganska liten del av de totala kostnaderna. Elpriserna har därför ganska liten betydelse konsumtionsval respektive produktionsinriktning i dessa fall, möjligen med undantag för hushåll med elvärme. I den s. k. kraftkrävande industrin, d. v. s. pappers- och masaindustrin, järn- och stålindustrin och delar av den kemiska

industrin, är emellertid förhållandet ett annat.

Företagen i dessa branscher, som svarar för c:a 25 procent av elanvändningen i Sverige och för en betydande del av nettoexporten, är för sin internationella konkurrensförmåga mycket känslig för elprisnivån. Högre elpriser kan med andra ord väntas leda till minskad export och därmed minskad produktion och elanvändning i dessa industrier. En stor del av oron för kärnkraftsavvecklingens konsekvenser har sin grund i just detta förhållande.

Sett i ett energimarknadsperspektiv innebär den kraftkrävande industrins beroende av elpriserna att den samlade elefterfrågan är relativt priskänslig.¹⁰ Hur stor denna priskänslighet är låter sig inte med lätthet fastställas, men en realistisk bedömning av den samlade elefterfrågans priselasticitet på kort sikt torde ligga i intervallet $-0,3$ till $-0,6$ vid "normala" elprisnivåer. Denna bedömning har också lagts till grund för de simuleringar med ENMARK-modellen som redovisas längre fram i detta avsnitt.

Den fråga som naturligen inställer sig är vad som händer med elefterfrågan vid "onormalt" höga respektive låga elprisnivåer. Kan man räkna med att efterfrågesamband som skattats på observationer från en period med måttliga elprisvariationer ger en god beskrivning av hur elefterfrågan reagerar på mycket höga eller mycket låga elpriser? Svaret är mycket enkelt: Det kan man inte.

Emellertid är det troligt att låga elpriser, liksom under några år under 1980-talet, skulle leda till en omfattande användning av elpannor o.dyl. i fjärrvärmenät och enskilda fastigheter. Det är alltså sannolikt att den svenska elefterfrågan är mycket priskänslig vid prisnivåer strax under den som för närvarande gäller. Även detta förhållande är inkorporerat i ENMARK-modellen.

10. Jag återkommer till frågan om de samhällsekonomiska kostnaderna för en, till följd av högre elpriser, omfattande utslagning av kraftkrävande industri.

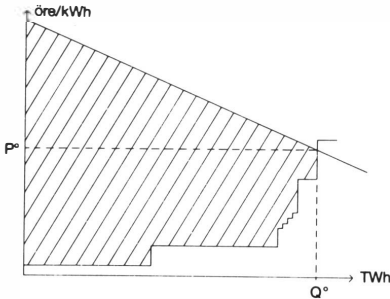
Mått på kostnaden för kärnkraftsavveckling

Utbud- och efterfrågekurvorna är analytiska redskap för att bestämma jämviktspris och jämviktspris på en marknad. Men de kan också läggas till grund för beräkningar av de kostnader som en avveckling av kärnkraften innebär för elproducenter och elkonsumenter. Man kan ju uppfatta efterfrågekurvan som information om hur mycket elkonsumenterna, vid olika elanvändningsnivåer, på marginalen är villiga att betala för ökad tillgång på elenergi.

Denna "marginella betalningsvilja" är ett väldefinierat mått på det samhällsekonomiska värdet av en marginell kvantitet elenergi. Genom addition av värdet av ett antal marginella kvantiteter får man ett mått på värdet av en större kvantitet elenergi. Men detta är inget annat än att beräkna ytan under efterfrågekurvan över ett visst intervall på kvantitetsaxeln. I *figur 2* är således ytan under efterfrågekurvan från nollpunkten till Q^0 ett mått på det samhällsekonomiska värdet av Q^0 enheter elenergi.

På motsvarande sätt kan man beräkna den totala produktionskostnaden för en viss mängd elenergi genom att beräkna ytan under marginalkostnadskurvan, d.v.s. utbudskurvan i *figur 2*. Det samhällsekonomiska nettovärdet av en viss kvantitet elenergi kan följaktligen uttryckas som ytan mellan efterfrågekurvan och utbudskurvan fram till jämviktskvantiteten. Detta nettovärde, eller samhällsekonomiska överskott, illustreras av den skuggade ytan i *figur 2*.

Om man vill ha ett komplett och teoretiskt välgrundat mått på de direkta kostnaderna för en avveckling av kärnkraften skall man således beräkna den förändring av det samhällsekonomiska överskottet som kärnkraftsavvecklingen medför. Detta mått innefattar dels alla kostnadsökningar i kraftindustrin och kostnaderna för elbesparande åtgärder, dels den realinkomstförlust som en högre elprisinivå innebär för elanvändarna. De beräkningar som genomförts med EN-MARK-modellen avser detta mått på kärnkraftsavvecklingens direkta kostnader.¹¹



Figur 2 Utbud, efterfrågan och jämvikt på den svenska elmarknaden vid mitten av 1990-talet. En principskiss.

Beräknade kostnader

Kärnkraftsavvecklingens direkta kostnader beror bland annat på i vilken takt som de olika reaktorerna tas ur drift. I en noggrann kalkyl bör man alltså göra explicita förutsättningar på denna punkt. De beräkningar som presenteras här är emellertid inte fullständiga i detta avseende. Således studeras bara två framtida tidpunkter, 1997 och 2010. Vid den förra tidpunkten förutsätts två reaktorer och vara tagna ur drift, medan detta antas gälla för samtliga tolv reaktorer vid den senare tidpunkten.

Kärnkraftsavvecklingens direkta kostnader beror också på efterfrågans utveckling, vilka miljökrav som ställs på nya anläggningar, prisutvecklingen för olja, kol och naturgas etc. Det skulle föra för långt att diskutera alla förutsättningar bakom "referenskalkylen". Den centrala förut-

11. Det bör påpekas att ENMARK-modellen genererar elpriser som sammanfaller med kraftsystemets kortsiktiga marginalkostnad. Det betyder att dessa priser *inte* reflekterar de avkastningskrav som finns på företagen kraftindustrin. Detta har en viss betydelse eftersom avveckling av kärnkraften med säkerhet innebär högre genomsnittskostnader för kraftindustrin, men inte nödvändigtvis högre marginalkostnad. ENMARK-modellen kan därför underskatta de elprisökningar som kärnkraftsavvecklingen medför.

sättningen är emellertid att den ekonomiska tillväxten, även kärnkraftsavvecklingen förutan, av allt att döma blir relativt långsam under 1990-talet. Vid fortsatt utnyttjande av samtliga tolv kärnkraftsreaktorer, och viss ny kapacitet i kraftvärmeverk, innebär detta att det knappast finns något behov av ny kapacitet i kraftsektorn före sekelskiftet.

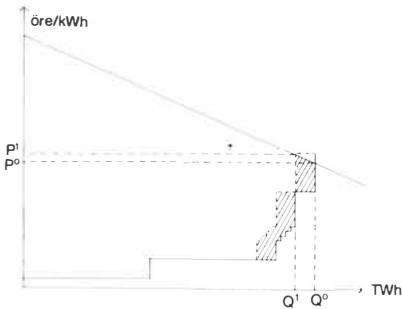
Om två reaktorer skall avvecklas med början 1995 kan man däremot räkna med kapacitetsbrist i kraftsektorn. Detta leder till stigande marginalkostnader och därmed ökad lönsamhet för investeringar i ny kraft. Om ny kapacitet inte kan göras tillgänglig i tid måste elpriserna stiga så att efterfrågan kan tillgodoses med befintlig kapacitet. Alternativt ransoneras den tillgängliga kraften på annat sätt.

I de modellkalkyler som genomförts förutsätts att ny kapacitet trots allt kan göras tillgänglig i tid. Den inverkan på jämviktspris och jämviktskvantitet på elmarknaden som kärnkraftsavvecklingen då kan väntas medföra illustreras av *figur 3*. Den skuggade ytan representerar den samhällsekonomiska årskostnad som avvecklingen medför vid tidpunkten 1997.

Beräkningsresultaten¹² är bland annat beroende av förutsättningarna om vilka miljökrav som kommer att gälla under 1990-talet. Om man skulle acceptera att avvecklingen av två reaktorer medför ökade utsläpp, blir den beräknade direkta kostnaden c:a 1 800 miljoner kronor per år. Om däremot miljökraven skärps så att avvecklingen inte leder till högre utsläpp i kraftindustrin blir motsvarande skattning c:a 3 200 miljoner kronor per år. Den beräknade elprishöjningen i producentledet var 24 procent respektive 32 procent.

När det gäller situationen år 2010 utgår jag från att samtliga befintliga kärnkraftverk skulle kunna vara i drift och så

12. En närmare beskrivning av beräkningsresultat och bakomliggande förutsättningar finns i Carlsson, A. (1990). De resultat som redovisas här är hämtade från fallet med 1,7 procent tillväxt i BNP och uppräknade till 1990 års prisnivå.



Figur 3 Effekten på elmarknaden av att två reaktorer avvecklas: Jämviktspris och jämviktskvantitet ändras från P^0 , Q^0 till P^1 , Q^1 och det samhällsekonomiska överskottet minskar med den streckade ytan.

förbli under ytterligare ett antal år. I detta tidsperspektiv behövs under alla omständigheter kapacitetstillskott i förhållande till nuläget. Det är också troligt att nödvändiga investeringar hinner genomföras fram till år 2010. Om kärnkraften avvecklas blir givetvis behovet av ny kraft större, men detta behöver inte nödvändigtvis påverka kraftsystemets marginalkostnad.¹³

Frågan är då vilka kraftslag som ingår i detta kapacitetstillskott i en situation med respektive utan kärnkraftsavveckling. Här är en mängd alternativ tänkbara och det skulle föra för långt att närmare diskutera sannolikheten för att det ena eller andra alternativet realiserar. I de kalkyler som genomförts med ENMARK-modellen finns emellertid två alternativ för tillkommande kraftproduktion: Kolkondens med avancerad rening och naturgaseldad kondenskraft.

Under dessa omständigheter blir den beräknade direkta kostnaden för avveckling av samtliga tolv reaktorer c:a

13. Däremot påverkas kraftindustrins genomsnittliga produktionskostnader av kärnkraftsavvecklingen, vilket har betydelse för den totala tariffnivån.

14 500 miljoner kronor per år om man accepterar att kärnkraftsavvecklingen ökar miljöutsläppen. Om avvecklingen genomförs med restriktionen att dessa utsläpp inte får öka, blir kostnaden i stället 32 700 miljoner kronor per år. Den beräknade elprishöjningen i producentledet är 0 procent i det första fallet. Det betyder att kärnkraftsavvecklingen leder till större investeringar i ny kraft, men det "marginella" kraftslaget är detsamma, kolkondens, både med och utan kärnkraft. I det senare fallet blir emellertid prishöjningen i producentledet hela 80 procent. Det visar att fullständig avveckling av kärnkraften väsentligt höjer kostnaden för att hålla tillbaka kraftindustrins miljöutsläpp.

Dessa beräkningar är givetvis behäftade med betydande osäkerhet. Det går dessvärre inte att precisera denna osäkerhet med sannolikhetstal, konfidensintervall e.dyl. Den metod som återstår är s.k. känslighetstest. Ett stort antal känslighetstest har därför genomförts. Resultaten visar sig då naturligtvis vara mer eller mindre beroende av gjorda antaganden. Emellertid är storleksordningen av de beräknade kostnaderna mycket robust.

Man kan därför på mycket goda grunder hävda att redan en förtida avveckling av två reaktorer leder till direkta samhällsekonomiska kostnader som kan räknas i miljarder kronor per år. Att beräkna ett nuvärde av hela avvecklingsprojektets kostnader mellan mitten av 1990-talet och några decennier in på 2000-talet är givetvis ganska spekulativt. För den hugade kan de här redovisade årskostnaderna vid tidslägena 1997 och 2010 dock ge vissa ingångsdata.

Indirekta kostnader

Den svenska ekonomin är till en betydande del specialiserad på el- och råvaruintensiv produktion. Produktionen av stål, pappersmassa, papper m.m. är således betydligt större än den inhemska förbrukningen. Skillnaden mellan inhemsk produktion och inhemsk förbrukning exporteras och de in-

täkter som exporten inbringar möjliggör import av andra varor och tjänster. Detta förhållande är ingen slump; den goda tillgången på råvaror och vattenkraft gav Sverige tidigt s.k. komparativa fördelar i el- och råvaruintensiv industriell verksamhet.

Frågan om fortsatt utnyttjande av kärnkraft gör det möjligt för den svenska ekonomin att bevara sina komparativa fördelar i elintensiv produktion diskuterades i Söderstens kapitel. Här skall jag diskutera effekterna på nationalinkomsten och det svenska näringslivets struktur av att nära hälften av kapaciteten i kraftindustrin avvecklas. Annorlunda uttryckt: Vilka strukturella förändringar av den svenska ekonomin ligger bakom det som i en elmarknadsanalys framstår som minskad elanvändning?

Några siffror kan belysa problematiken: "Kraftkrävande industri", som svarar för c:a 25 procent av elanvändningen, definieras som industrier där elkostnaden motsvarar minst 3 procent av saluvärdet. År 1985 var denna siffra över 5 procent för massa- och pappersindustrin, drygt 6 procent för gruvindustrin och omkring 4 procent för den baskemiska industrin.¹⁴ Elkostnaden i förhållande till förädlingsvärdet var mellan 10 procent och 20 procent för dessa industribranscher.

I verkstadsindustrin motsvarar emellertid elkostnaden mindre än 1 procent av saluvärdet. Den svenska "basindustrin" är med andra ord förhållandevis elintensiv jämfört med "förädlingsindustrin". En fullständig anpassning till en situation med ökad knapphet på elenergi måste därför innebära en omfördelning av kapital och arbetskraft från de elintensiva basindustrierna till andra delar av näringslivet. Man kan säga att kärnkraftsavvecklingen, via ökad knapp-

14. Dessa siffror är branschgenomsnitt. För vissa delbranscher uppgår elkostnaden till betydligt mer än 10 procent av saluvärdet och det finns produktgrupper för vilka elkostnaden utgör mer än 30 procent av tillverkningskostnaden.

het på elenergi, förändrar den svenska ekonomins s.k. komparativa fördelar.

Jag har i ett annat sammanhang (Bergman, 1989) studerat vilka specialiseringsmönster i näringslivet som kan ge den högsta nationalinkomsten, och vad denna nationalinkomst kan bli, om kärnkraftsavvecklingen genomförs. Skillnaden mellan denna nationalinkomstnivå och den som kan nås vid fortsatt kärnkraftsutnyttjande ger ett mått på kärnkraftsavvecklingens indirekta kostnader. Storleken på dessa kostnader beror i hög grad på marknadsstruktur och konkurrensförhållanden på de internationella marknader där svenska företag avsätter sina produkter.

Den kraftkrävande industrin, d.v.s. skogsindustrin, järn- och stålindustrin samt delar av den kemiska industrin arbetar under stark internationell konkurrens. Exportandelen i produktionen är i många delbranscher högre än 50 procent. Eftersom importinnehållet i dessa branschers produktion är liten, medför den stora exporten en betydande nettointäkt av utländsk valuta.

En rimlig approximation av verkligheten är att betrakta den kraftkrävande industrin som "pristagare" på internationella marknader. Det betyder att företagen, för att finnas kvar på marknaden, helt måste anpassa sig till internationellt bestämda priser. Om anpassningen inte kan ske genom "övervältning bakåt" på inhemska faktorpriser, främst löner och råvarupriser, faller exporten och produktionen måste skäras ned.

Lägre export från den kraftkrävande industrin medför emellertid en försämring av bytesbalansen. En sådan balansbrist kan emellertid inte bli bestående. En kombination av minskad import och ökat export från andra sektorer måste förr eller senare komma till stånd. Detta förutsätter emellertid lägre löner och råvarupriser samt lägre avkastning på realkapital. Sådana anpassningar av de inhemska faktorpriserna medför ju dels ökad internationell konkurrensförmåga i de icke elintensiva delarna av näringslivet,

dels lägre inkomster och därmed minskad efterfrågan på importerade varor och tjänster.

Dessa förändringar av inhemska faktorpriser och inkomster kan dock inte adderas till de "direkta kostnader" för kärnkraftsavveckling som diskuterades i föregående avsnitt. De är bara uttryck för ekonomins anpassning till en situation med ökad knapphet på elenergi. Utan dessa faktorsprisförändringar skulle kärnkraftsavvecklingen leda till arbetslöshet och andra balansbrister och kostnaderna skulle i själva verket bli större.

Om emellertid ökad export från t.ex. verkstadsindustrin förutsätter lägre exportpriser, medför kärnkraftsavvecklingen en försämring av ekonomins bytesförhållande (terms of trade) med omvärlden. Detta innebär en extra inkomstförlust för folkhushållet och utgör alltså en indirekt kostnad av kärnkraftsavvecklingen. Det är också troligt att denna typ av kostnader skulle uppstå. Verkstadsindustrins och tjänstesektorerna export utgörs av differentierade produkter som säljs i konkurrens med liknande produkter från andra länder. Ökade marknadsandelar för svenska företag förutsätter därför en kombination av lägre priser och högre kostnader för marknadsföring, d.v.s. minskad nettointäkt per försald enhet.

Varje kvantifiering av dessa effekter är naturligtvis högst osäker. I den ovan refererade studien genomförde jag dock en rad beräkningar med hjälp av en modell av den svenska ekonomin. Beräkningarna avsåg ett framtida år då anpassningen till ökad knapphet på el och, i vissa fall, skärpta miljökrav, är helt genomförd. I kalendertid preciserades denna tidpunkt till år 2000, vilket implicerar vissa ganska godtyckliga antaganden om anpassningsförloppet. Detta saknar dock väsentlig betydelse för slutsatserna.

Enligt modellkalkylen reducerar kärnkraftsavvecklingen den möjliga nationalinkomsten vid sekelskiftet med 27—39 miljarder kronor per år i 1988 års priser.¹⁵ Det är inte möjligt

15. Siffrorna är hämtade från Bergman (1989) och uppräknade till 1990 års prisnivå.

att dela upp detta belopp i direkta och indirekta kostnader, men mot bakgrund av de skattningar som redovisades i föregående avsnitt är det uppenbart att de indirekta kostnaderna kan utgöra en avsevärd del av de totala kostnaderna för den planerade kärnkraftsavvecklingen.

Bakom den långsammare ekonomiska tillväxten ligger en omstrukturering av näringslivet där produktion och sysselsättning i skogsindustrin minskar, medan verkstadsindustrin växer snabbare än ekonomin i övrigt. Modellkalkylerna påvisade också en annan typ av indirekt kostnad för kärnkraftsavvecklingen. Det visade sig nämligen att kostnaden i form av lägre nationalinkomst för att reducera utsläppen av svaveloxider, kväveoxider och koldioxid blev ungefär 50 procent högre om kärnkraften avvecklas. I absoluta tal rörde det sig om en årskostnad på c:a 67 miljarder vid fortsatt kärnkraftsutnyttjande och c:a 92 miljarder om kärnkraften avvecklas.

Frågan är då vilka slutsatser som kan dras från modellkalkyler av detta slag. Återigen gäller att alternativa, men högst plausibla, förutsättningar leder till andra siffermässiga resultat. Emellertid finns det ett mönster som står sig genom ett stort antal känslighetstest: Avvecklingen av kärnkraften har påtagliga effekter på ekonomins komparativa fördelar och medför en avsevärd reduktion av den möjliga nationalinkomsten.

Anpassningskostnader

De beräkningar som diskuterades i föregående avsnitt utgick från att anpassningen till en situation utan kärnkraft var fullständigt genomförd. Analysen gällde också stora aggregat som hela näringsgrenar, hela arbetskraften och det samlade realkapitalbeståndet. I verkligheten finns det emellertid inte bara en typ av arbetskraft och en typ av realkapital. Till detta kommer att en betydande del av arbetskraften och realkapitalet på kort sikt är bundna till mer eller mindre

lokala arbets- och kapitalmarknader.

En anpassning av faktorpriserna innebär därför dels en allmän nivåförändring av det slag som diskuterades i föregående avsnitt, dels en förändring i prisrelationerna mellan olika typer av arbetskraft och realkapital. Exempelvis kan kärnkraftsavvecklingen medföra minskad efterfrågan och därför lägre jämviktspriser på arbetskraft med en kompetensprofil eller en bosättning som passar kärnkraftsindustrin eller den kraftkrävande industrin. Avvecklingen kan också, via den omlokalisering av produktion och sysselsättning som den initierar, reducera avkastningen på kapital bundet i bostäder, kommersiella lokaler, service och infrastruktur i vissa orter.

Om alla de förändringar i relativa faktorpriser som krävs för att befintliga arbetskrafts- och kapitalresurser skall vara fullt utnyttjade verkligen kommer till stånd,¹⁶ innebär detta effekter på inkomstfördelningen. Med hänsyn till den strukturomvandling som kärnkraftsavvecklingen initierar, kan dessa inkomstomfördelningseffekter vara betydande. Enskilda individer kan alltså finna att marknadens värdering av deras yrkeskunnande, deras fastigheter och andra lokalt bundna tillgångar fallit dramatiskt och i ett slag eroderat ekonomiska tillgångar som byggts upp under en lång tid. Att detta till stor del motsvaras av ökade fastighetsvärden på andra orter och höjda löner för individer med annan yrkeskompetens är då en ringa tröst.

Det är sannolikt att många människor på olika sätt kommer att motsätta sig den ändring av de relativa faktorpriserna som en avveckling av kärnkraften nödvändiggör. Om denna faktorprisanpassning emellertid inte kommer till stånd, kommer den att ersättas av ett större inslag av s.k.

16. I vissa fall kan de nya jämviktspriserna vara noll eller negativa, d.v.s. avvecklingen av det realkapital som bundits i kärnkraftverk gör kapital som bundits i vissa andra tillgångar värdelöst. Detta innebär indirekta kostnader som inte identifierats i den aggregerade analys som diskuterades i föregående avsnitt.

kvantitetsanpassning; delar av den arbetskraft vars reallöner inte sänks blir i stället arbetslös. Ej utnyttjade arbetskrafts- och kapitalresurser innebär en samhällsekonomisk kostnad; nationalinkomsten blir lägre än vad som annars skulle kunna uppnås. Det är dessa inkomstförluster som brukar kallas anpassningskostnader.

Det är uppenbart att kvantitativa beräkningar av inkomstomfördelningseffekter och anpassningskostnader borde ingå i en någorlunda komplett konsekvensanalys av beslutet att avveckla kärnkraften. Dessvärre är det inte möjligt att göra sådana beräkningar med godtagbar precision. Ett skäl till detta är bristen på lämpliga data. En mer grundläggande svårighet är att våra kunskaper om anpassningsprocesserna på olika faktormarknader är alltför bristfälliga. Kalkylerna skulle därför bli så osäkra att de knappast skulle kunna tillföra någon kunskap.

Politiska kostnader

I grova drag kan man säga att anpassningen till en situation utan kärnkraft innefattar fyra moment: Effektivisering av elanvändningen, övergång till mindre elkrävande konsumtionsmönster, investeringar i nya kraftverk samt omstrukturering av näringslivet mot mindre elintensiv verksamhet. Om kärnkraftsavvecklingens kostnader skall bli så låga som möjligt, gäller det att "blanda" dessa anpassningsmekanismer på ett lämpligt sätt.

I ett politiskt perspektiv synes emellertid effektivare elanvändning och ändrade konsumtionsmönster framstå som betydligt attraktivare alternativ än investeringar i ny kraft och nedläggning av elkrävande industrier. Utöver de kostnader som diskuterats i de föregående avsnitten kan därför avvecklingen av kärnkraften medföra "politiska kostnader". Med detta begrepp avses kostnader som beror på att anpassningen till ökad knapphet på el, genom politisk styrning, blir dyrare än vad som vore möjligt.

I debatten kring kärnkraftsavvecklingen har företrädare för regeringen framhållit att produktion och sysselsättning i den kraftkrävande industrin skall skyddas. Samtidigt har man givit exempel på en mycket optimistisk syn när det gäller effektivisering av i första hand hushållens elanvändning. Om den konkreta politiken faktiskt kommer att bygga på dessa idéer, kommer den ekonomiska utvecklingen i Sverige att kännetecknas av ökad knapphet på el och fortsatt specialisering på kraftkrävande industri. Det är också troligt att alltför stora resurser kommer att satsas på elsparande i olika former och att den väl fungerande prisbildningen på elmarknaden kommer att ersättas av tariffer med betydande inslag av diskriminering av särskilt hushållen och elanvändning för uppvärmning.

Sammantaget kommer detta att medföra kostnader i form av reducerad ekonomisk tillväxt. Dessa allmänna farhågor måste emellertid ersättas av ett konkret ekonomisk-politiskt program innan det är meningsfullt att försöka beräkna de aktuella kostnaderna. Emellertid är det också möjligt att politiska ingrepp på elmarknaden i någon mån kan dämpa de inkomstomfördelningseffekter som kan väntas uppstå vid en snabb anpassning till en situation utan kärnkraft.

Slutsatser

Slutsatsen av diskussionen i de föregående avsnitten är att avveckling av kärnkraften i enlighet med gällande riksdagsbeslut kommer att medföra mycket höga samhällsekonomiska kostnader. Huruvida dessa kostnader är "för" höga beror på hur man värderar de risker vid drift av kärnkraftverken och hanteringen av det utbrända kärnbränslet som kan elimineras genom den planerade kärnkraftsavvecklingen.

Emellertid är kostnadsuppskattningarna behäftade med en betydande osäkerhet och till detta kommer att vissa typer av kostnader inte kunnat kvantifieras. Dessvärre är det inte möjligt att ange några sannolikhetstal eller konfidensinter-

vall för att närmare precisera osäkerheten i de skattningar som diskuterats här.

En rad olika känslighetstest har emellertid visat att de redovisade storleksordningarna är mycket robusta för variationer i bakomliggande förutsättningar. Detta gäller inte minst för variationer i förutsättningarna om substitutionsmöjligheterna mellan el och andra produktionsfaktorer. Elsparande kan med andra ord inte trola bort kärnkrafts-*avvecklingens* samhällsekonomiska kostnader.

Referenser

- Bergman, Lars, "Tillväxt och miljö — en studie av målkonflikter". Bilaga 9 till LU90. Allmänna Förlaget 1989.
- Carlsson, Anders, *Avvecklingen av två kärnkraftsreaktorer — kostnader och miljökonsekvenser*. Stencil. Ekonomiska Forskningsinstitutet vid Handelshögskolan i Stockholm 1990.

LENNART HJALMARSSON

3 Kan kärnkraften sparas bort?

Ytterligare en avvecklingsutredning har nu presenterats. Återigen visas att kärnkraften är mycket dyr att avveckla — nu ännu dyrare än tidigare. Kostnaderna för en avveckling påverkas i betydande utsträckning av i vilken omfattning förväntningarna i hushåll och näringsliv är inställda på en avveckling, d.v.s. i vilken grad som beslutet om avveckling framstår som trovärdigt. Mycket tyder på att trovärdigheten i avvecklingsbeslutet successivt sjunkit. Orsaken till detta är inte svår att finna. Under de senaste åren har avståndet mellan ord och handling vuxit. Flera politiska beslut har fattats — de flesta i stor politisk enighet — som istället för att underlätta kärnkraftens avveckling bidragit till att starkt försvåra den.

Nu är det inte längre enbart kärnkraftsavvecklingen som skall förverkligas, utan detta skall ske samtidigt som älvarna bevaras och utsläppen av koldioxid ej får öka. Dessutom skall kärnkraften avvecklas på ett sätt som gör att varken hushåll eller industri drabbas. Genom ett omfattande energisparande skall behovet av elprishöjningar hållas nere och den elintensiva industrins konkurrenskraft bevaras. Innebörden av detta är att ett av de största och dyraste ”reformpaket” som sett dagens ljus i Sverige skall genomföras utan att kostnaderna märks. En avveckling under sådana förutsättningar blir ingen billig avveckling.

Värdefulla kommentarer har erhållits från Lars Bergman, Nils Lundgren, Bo Södersten och Bo Walfredsson.

Stora förväntningar knyts till energisparandet. Och naturligtvis bör vi hushålla med energi, men vi bör också hushålla med råvaror, arbete och kapital. Om vi ensidigt går in för att spara energi, så kommer den totala hushållningen med resurser att försämras. Om man vill uppnå en god hushållning med samtliga knappa resurser måste en avvägning alltid ske mellan energisparande och annat sparande. Distinktionen mellan energihushållning och energisparande är därför viktig. Ett överdrivet energisparande är faktiskt dålig resurshushållning.

Ett vanligt påstående är att ”den miljövänligaste energin är den som aldrig produceras”. Denna vid första anblicken så uppenbara sanning utgör en av hörnstenarna i energisparoptimisternas föreställningsvärld. Målkonflikten mellan miljömål och kärnkraftsavveckling existerar ej eftersom kärnkraften kan ersättas med ett forcerat elsparande och, om detta inte skulle räcka, med biobränslen. I detta synsätt ingår också följande uppfattningar:

- En sparad kWh är mer värd än en producerad
- Genom ett omfattande elsparande kan elprishöjningar undvikas
- Elmarknaden fungerar inte väl varför marknaden för elsparande har stora brister
- Elpriserna bör uppmuntra till sparande
- Elkonsumenterna är inte rationella i sitt beteende
- Företagen förstår inte sitt eget bästa utan använder alltför höga avkastningskrav för energibesparande investeringar
- Avståndet mellan bästa och genomsnittlig teknik är för stort och bör krympas

Den syn på elmarknad och energisparande som här framträder kan synas mycket välmotiverad och intuitivt rimlig. Det är lätt att finna exempel på personer eller företag i vår omgivning som vi tycker slösar med energin, och det är svårt att förstå varför vi inte skulle utnyttja den mest energieffekti-

va tekniken när den finns tillgänglig. Det är också svårt att förstå varför energiföretagen envisas med att ha fasta avgifter i sina taxor, istället för att ytterligare stimulera energisparandet genom att baka in den fasta avgiften i en högre energiavgift.

Men det som vid en första anblick kan framstå som högst rimligt kan vid en djupare analys visa sig vara mindre klokt och faktiskt vara direkt skadligt och t.o.m. motverka sitt eget syfte. Det är inte enkelt att genomskåda hur en ekonomi fungerar eller att bedriva politik för att uppnå vissa målsättningar. Hur ofta hör vi inte besvikelse över att politiken på ett område misslyckats, och att vi inte nått ända fram eller, ibland, inte ens en bit på vägen. En grundläggande erfarenhet när det gäller att bedriva ekonomisk eller annan politik är att det räcker inte att själva syftet med politiken är gott; det gäller också att analysera och förstå sambandet mellan mål och medel.

Syftet med denna artikel är att närmare granska energisparoptimisternas påståenden om att det föreligger betydande brister, generellt i energimarknadernas och speciellt i elmarknadens funktionssätt, vad gäller avvägningen mellan sparande och produktion av energi. Kombinationen av energisparoptimism och påstådda marknadsbrister har lett till krav på kraftproducenter och eldistributörer att omvandla sina företag från snäva producenter av direkt energitillförsel till breda energitjänstföretag med en helhetssyn på avvägningen mellan tillförsel och sparande i hushåll och företag.

Inspirationen till en mera aktiv energisparverksamhet kommer i hög grad från USA, där många kraftföretag bedriver en omfattande verksamhet med inriktning på att dämpa tillväxten i efterfrågan. Även i Sverige har energisparandet vuxit till en mångmiljardverksamhet, såväl kommersiell som finansierad av energikonsumenterna via energipriserna och med en betydande insats av konsulttid. Till energisparoptimisterna hör ett stort antal energiföretag alltifrån Vattenfall, med sitt miljardprojekt Energi 2000, till mindre el-

distributörer som bedriver energisparprojekt i mera blygsam skala. I dessa fall är gränsen mellan affärsverksamhet och subventionsverksamhet högst oklar, även om kraftföretagens intresse för elsparande ofta motiveras med att detta kan minska behovet av framtida kapacitetsutbyggnad och dämpa höjningarna av elpriset i framtiden. Det kan därför finnas goda skäl att granska själva grundvalen för den icke-kommersiella delen av energisparverksamheten. Är argumenten för denna hållbara? Kan kärnkraften sparas bort?

Innan vi går in på denna diskussion bör det betonas, att även om vi kan spara elenergi i stor omfattning så följer inte av detta att kärnkraften bör avvecklas. En sparad kWh har alltid en alternativ användning, och det är först om värdet av denna kWh ute hos företag eller hushåll understiger produktionskostnaden som elproduktionen bör minskas. Ett framgångsrikt elsparande kan endast i begränsad omfattning ekonomiskt underlätta och förbilliga en kärnkraftsavveckling.

Är elpriserna för låga?

Påståendet att en sparad kWh är mera värd än en producerad kWh implicerar att elmarknaden ur vissa aspekter fungerar mindre väl. En marknad karakteriseras alltid av en efterfrågesida och en utbudssida. Kritiken riktar sig mot båda. Utbudssidan fungerar mindre väl därför att elpriset är för lågt för att ge tillräcklig stimulans till sparande. (En del sparoptimister hävdar dock att vi måste öka elsparandet för att undvika elprishöjningar.) Efterfrågesidan påstås fungera mindre väl därför att de elförbrukande företagen kräver för hög avkastning på energibesparande investeringar, samtidigt som hushållen påstås bete sig irrationellt och inte inse sitt eget bästa. Enligt kritiken krävs därför rejäla insatser för att korrigera marknaden. I stället för att planera för ny elproduktion bör resurserna satsas i elsparande.

Prisets främsta funktion på en marknad är att skapa ba-

lans mellan utbud och efterfrågan. Denna funktion är ännu viktigare på elmarknaden än på andra marknader. Elenergin har nämligen som vara eller tjänst en mycket speciell karaktär som skiljer den från andra varor och tjänster, nämligen att den inte kan lagras varför produktionen vid varje tidpunkt måste anpassas till efterfrågan. Elmarknaden är således en form av självbetjäningssystem. Om efterfrågan överstiger produktionen uppstår överbelastning i elsystemet, spänningsfall och till slut ett avbrott med höga kostnader för abonnenterna, men begränsade kostnader för producenterne. Eftersom leveranssäkerheten i ett elsystem har denna kollektiva karaktär, vilar det ett samhällsansvar på elproducenterna att inte prissätta elenergin så lågt att avbrottssannolikheten blir för hög och leveranssäkerheten i systemet därmed äventyras. En viss reservkapacitet måste alltid finnas.

Den säkraste indikationen på ett för lågt elpris är en alltför låg leveranssäkerhet i systemet, d.v.s. en under normala förhållanden alltför liten reservkapacitet tillgänglig. Denna aspekt har knappast uppmärksammats i elprisdebatten. Istället diskuteras huruvida elen skall prisättas enligt någon genomsnittskostnad eller marginalkostnad.

Nu förhåller det sig emellertid så, att det man menar med prissättning enligt samhällsekonomisk marginalkostnad är just en elprisnivå som ger en betryggande (men inte alltför betryggande) leveranssäkerhet. En marginalkostnad består dels av en rörlig produktionskostnad dels av en kapacitetskostnad. I viss typ av produktion (t.ex. vattenkraftsproduktion) kan den rörliga kostnaden vara nära noll, i annan typ av produktion (t.ex. stamnätsöverföring vid ledig kapacitet) kan kapacitetskostnaden vara nära noll.

Marginalkostnadsprissättning är alltså ingenting annat än en prissättning som ger jämvikt mellan utbud och efterfrågan på en marknad (dock med den reservationen att prisnivån minst täcker de rörliga kostnaderna i produktionen). Den prisbildning som råder på elenergi i Sverige innebär att detta förhållande gäller med god approximation. Vi kan inte

med fog påstå att vi i Sverige under de senaste decennierna haft en för hög avbrotts sannolikhet (med undantag för vissa delar av stamnätet och inom vissa eldistributionsområden). Detta kan dock komma att förändras under åren framöver, om inte elpriserna tillåts stiga när efterfrågan växer och investeringar i ny produktionskapacitet ej kommer till stånd.

I det svenska elsystemet utgörs reservkapaciteten av relativt gamla olje- och delvis koleldade kraftverk (de största i Stenungsund och Karlshamn) samt ett stort antal gasturbiner. Importmöjligheterna kan också betraktas som en del av reservkapaciteten. Det är inte ovanligt med förslag om att ersätta kärnkraften genom att ta i anspråk den reservkapacitet vi har i oljekondens och gasturbiner. Detta skulle emellertid innebära att vi blev utan reservkapacitet i elsystemet. Sannolikheten för omfattande avbrott och elransonering skulle då öka mycket kraftigt. Antingen måste då kapaciteten i elsystemet utökas med nya kraftverk så att vi får tillbaka vår reservkapacitet, eller måste elpriset höjas så kraftigt att efterfrågan på elenergi reduceras i tillräcklig omfattning att vi den vägen återfår en rimlig reservkapacitet.

På motsvarande sätt är den bästa indikationen på en alltför hög elprinsnivå att all existerande billig kapacitet för elproduktion ej utnyttjas. För att bedöma om elprinsnivån är eller varit för hög i Sverige, kan vi studera siffrorna för kapacitetsutnyttjandet i vår vattenkraft och kärnkraft. Vid denna bedömning måste vi dock beakta variationerna i tillrinning för vattenkraften, inte bara i Sverige utan också i Norge. Under extrema våtar som 1989 kan vi inte förvänta oss att all produktionskapacitet utnyttjas tillfullo. Det vi, med denna reservation, kan observera är att den billiga produktionskapaciteten i det svenska kraftsystemet utnyttjats väl under de senaste decennierna.

Ett viktigt test på elmarknadens funktionssätt har varit utvecklingen under 1980-talet. Många fruktade kanske att de stora tillskotten av kärnkraft skulle få till resultat att reaktorer skulle komma att stå utan belastning under en

stor del av året, men elpriset anpassade sig väl så att jämvikt uppnåddes mellan tillgänglig kapacitet av billig elenergi och efterfrågan. Eventuella frestelser att höja priserna för att underlätta finansieringen av de sista reaktorerna har förhindrats av konkurrensen mellan kraftproducenterna. Det som i energidebatten betecknas som elrea är ett viktigt tecken på att prisbildningen på elmarknaden faktiskt, ur samhälls-ekonomisk synvinkel, fungerar väl. Många vill säkert tolka detta som att det existerar en fungerande konkurrens mellan elproducenterna. En något försiktigare slutsats är att den svenska elmarknaden fungerar som om den vore en konkurrensmarknad med en följsam anpassning av elprisnivån till variationer i utbud och efterfrågan.

Det verkliga testet kommer emellertid under 1990-talet. Kommer elpriserna att få fullgöra sin uppgift att balansera ett allt knappare utbud och en ökad efterfrågan på elenergi, eller kommer elmarknaden att sättas ur spel av politiska ingrepp och kraftföretag som inte inser vad samhällsansvar betyder?

Men även om en nationalekonom hävdar att prissättningen på elenergi fungerar väl, inte minst vid en internationell jämförelse, övertygar detta knappast energispararna. Företag och konsumenter betar sig enligt en utbredd uppfattning inte rationellt. Priserna bör därför vara mera sparvänliga, och detta kan uppnås på tre olika sätt:

- Den fasta avgiften bör omvandlas till en rörlig avgift per kWh
- Elpriset bör höjas till nivån för kostnaderna i ny produktionskapacitet (långsiktig marginalkostnad)
- Trappstegsformade tariffer bör införas med högt marginalpris och lägrepris innanför marginalen

Avvägningen mellan fasta och rörliga avgifter utgör ett gammalt kärt diskussionsämne i olika typer av prissättning. Ur samhälls-ekonomisk synvinkel utgör en tariff med rörliga och

fasta avgifter en lösning på problemet hur man skall kunna förena en optimal dimensionering av ett stort system med betydande stordriftsfördelar och ett optimalt utnyttjande av systemets kapacitet, när investeringarna väl är genomförda, samtidigt som verksamheten går ihop företagsekonomiskt. För att inte den företagsekonomiska budgetrestriktionen skall leda till ett alltför lågt kapacitetsutnyttjande rekommenderas ofta en rörlig marginalkostnadsbaserad avgift plus en fast avgift som inte påverkar kapacitetsutnyttjandet nämnvärt.

När det gäller elenergi tillkommer ytterligare en faktor. Elenergi har som tjänst både en energi- och en effektdimension. Ett elsystem skall klara av att producera såväl en viss årlig efterfrågan på energi som en momentan effekt vid varje tidpunkt. Vi kan uttrycka det så att på ett elsystem vilar både en effekt- och en energirestriktion som måste beaktas i prisbildningen. Förenklat kan vi betrakta det som att en elkonsument konsumerar både kilowattimmar och kilowatt. (Att "konsumera" effekt innebär att man betalar för möjligheten att ta i anspråk en viss del av systemets kapacitet under en självvald period. Det man köper är alltså en option eller ett abonnemang.) Som konsumenter kan vi välja att installera ett bastuaggregat på 4 kW som värmer upp bastun på 30 minuter istället för ett aggregat på 2 kW där vi får vänta en timma på en varm bastu. En lantbrukare kan för sin höinjektor välja mellan en motor på 10 kW och en på 15 kW och motsvarande gäller för motorer och processer i företagen.

Varför väljer vi inte det starkaste bastuaggregatet eller den starkaste motorn? Kostnadsskillnaden är ju ofta försumbar och energiförbrukningen blir i stort sett densamma. Det är här den fasta avgiften kommer in. Det som på ytan ser ut som en fast avgift är nämligen ingen fast avgift utan en effektagift. Och det är denna avgift som håller oss tillbaka.

Eftersom ett elsystem, på grund av dess självbetjäningskaraktär, måste dimensioneras efter den maximala ögonblickliga förbrukningen under året bör elkonsumenterna ge-

nom priset upplysas om att det är dyrare att betjäna konsumenterna vid högbelastning än vid lågbelastning. En prisättning som beaktar detta går under beteckningen *peak-load pricing*. På elmarknaden innebär *peak-load pricing* antingen att elpriset i öre per kWh varierar mellan olika delar av dygnet och året, och/eller att konsumenterna också får betala en avgift i kr per kW för sin effektkonsumtion. En stor del av den fasta avgiften för elenergi är därför ingen fast avgift utan ett effektpolis som varierar med effektkonsumtionen (säkringsavgift för hushållsabbonenter). Att baka in den fasta avgiften i den rörliga skulle innebära införandet av noll-pris på effekt (även om elpriset skulle variera betydligt mellan olika tidpunkter). På sikt skulle detta sannolikt innebära en starkt ökad effektkonsumtion i såväl industri som hushåll (starkare motorer, starkare svetsar för hemmabruk etc.) vilket skulle ställa krav på kraftiga utbyggnader av framförallt ledningsnäten för att klara effekttopparna. Vi skulle också behöva ta i anspråk en större reservkapacitet i gasturbiner med höga rörliga produktionskostnader. Att på detta sätt subventionera effektkonsumtionen med syfte att dämpa energikonsumtionen kan knappast vara rimligt ens med energisparande som högprioriterad målsättning.

Tanken med det andra förslaget, att sätta priset på elenergi på nivån för kostnaden i framtida nya anläggningar, ofta kallad långsiktig marginalkostnad, är att redan idag få elkonsumenterna att anpassa sig till en högre framtida elprisnivå. Syftet är vällovligt. Osäkerhet i en ekonomi medför kostnader för företag och hushåll, varför det kan ligga ett stort värde i en reducerad osäkerhet om den framtida prisutvecklingen. Man kan därför fråga sig varför regeringen inte griper in och reducerar osäkerheten om den framtida prisutvecklingen och hjälper företagen att förbättra sin framförhållning och fatta kloka investeringsbeslut genom att åtminstone lägga fast elpriset.

För att förstå varför regeringen är så passiv måste vi först inse att företagen inte anpassar sig till priset på *en enskild*

produktionsfaktor utan till den förväntade framtida utvecklingen av *ett helt system* av relativpriser, el/olja, el/arbetskraft, olja/kapital o.s.v. Det är därför inte tillräckligt att lägga fast utvecklingen enbart för elpriset, eftersom alla övriga framtidspriser är okända. För att åtminstone hjälpa företagen med ett framtida relativpris borde man därför också samtidigt höja företagens lönekostnader för att företagen redan idag skulle få möjlighet att anpassa sig till de med säkerhet högre arbetskraftskostnaderna i framtiden. Vi kunde också gå vidare och uppmana regeringen att bestämma det framtida oljepriset och kapitalpriset samt ett antal råvarupriser för vilka stor osäkerhet råder om den framtida utvecklingen.

Lite eftertanke säger oss att detta kanske trots allt inte vore så klokt. Regeringen har också försökt — och misslyckats. Vid början av 1980-talet bestämde riksdagen, på förslag av regeringen och i stor parlamentarisk enighet, att det reala oljepriset i Sverige skulle stiga med minst 2 procent per år. Detta beslut hindrade inte oljepriset från att sjunka kraftigt under mitten av 1980-talet. Regeringen insåg naturligtvis att kostnaderna för att garantera den framtida oljeprisutvecklingen skulle bli alltför höga. För att få en uppfattning om de samhällsekonomiska kostnaderna för en generell politik som går ut på att på politisk väg bestämma priserna på produktionsfaktorerna erbjuder Östeuropa tillräckligt med pedagogiskt avskräckande exempel för att få förslaget att te sig absurt.

Det tredje förslaget, trappstegsformade tariffer eller progressiva eltaxor, har inte bara ett starkt stöd bland energispararna utan det har också rönt ett stort intresse inom kraftindustrin och eldistributionsföretagen. Seriösa utredningar pågår faktiskt om möjligheterna att införa ett sådant system i Sverige. Detta förslag måste därför tas på stort allvar. Tanken är alltså att låta det marginella elpriset överstiga marginalkostnaden för att därigenom begränsa elkonsumtionen. Även här är USA-inspirationen tydlig.

Progressiva eltaxor har en lång tradition i USA under beteckningen *life-line rates*, men syftet har där varit att till abonnenterna från kraftföretagen återföra för höga inkomster på ett sätt som inte påverkar incitamenten till hushållning negativt.

En viktig egenskap hos goda tariffer är att de är icke-diskriminerande och kostnadsriktiga. Detta innebär inte att alla abonnenter betalar samma genomsnittliga eller marginella elpris, utan att elpriset varierar med transportkostnaderna och tidpunkten för konsumtionen. Med den teknologi och de kostnadskaraktäristika som gäller för eldistribution innebär detta att genomsnittskostnaderna och därmed priset för elenergi stiger ju längre avståndet är från stamnätet till abonnenten och ju mindre kvantitet elenergi som konsumeras av en abonnent. Det som på ytan kan se ut som rabatter för storförbrukare av elenergi är därför i realiteten ingenting annat än ett lägre pris på grund av låga transportkostnader och en i många fall jämn elförbrukning under året. Denna kostnadsriktiga, icke-diskriminerande prissättning har också stöd i regelverket för elmarknaden och är den prissättning som tillämpas i Sverige.

Med trappstegsformade tariffer enligt svensk modell kommer det att vara mera lönsamt att spara en kWh än att producera en kWh. En "skattekil" uppstår i den betydelsen att lönsamheten för den enskilde konsumenten att spara kommer att vara högre än lönsamheten för samhället. Abonnenterna kommer därför att få fel information om det samhällsekonomiska värdet av sina besparingar och kommer att bete sig samhällsekonomiskt orationellt. Det kommer att gå åt mera arbetskraft och kapital för att reducera elförbrukningen än vad som är samhällsekonomiskt lönsamt. Denna arbetskraft och detta kapital hade i sin alternativa användning med stor sannolikhet hushållat bättre med energin än i den användning resurserna nu får; se Baumol and Wolff (1981).

Konsekvenserna blir att en sparad kWh är mera värd för

abonnenterna än kostnadsminskningen för producenten. Denne torde då kompensera sig genom att höja priset. På kort sikt torde detta innebära att den fasta avgiften i tariffen ökar, eftersom en ytterligare höjning av energiavgiften leder till ytterligare snedvridningar.

Även om de kvalitativa effekterna är entydiga torde de kvantitativa effekterna bli relativt små eller måttliga, om inte betydande förändringar sker i skillnaden mellan marginalpris och genomsnittspris, och om tariffsnedvridningen begränsas till hushållsektorn. Enligt de resultat vi erhållit, vid den Nationalekonomiska institutionen vid Göteborgs Universitet, i ekonometriska analyser av de svenska hushållens elpriskänslighet är denna relativt låg. Man kan förvänta sig att en höjning av elenergens marginalpris med 10 procent resulterar i en sänkt förbrukning med c:a 2—5 procent.

Vid ett införande av trappstegsformade tariffer är rättvisefrågorna av stort intresse. Begreppet marginell förbrukning av elenergi låter sig inte enkelt eller entydigt definieras för ett abonnentkollektiv där förbrukningen är en funktion av en lång rad variabler som ständigt undergår förändringar i tillägg till de normala temperaturvariationerna. (Skall abonnenterna bestraffas när det inträffar en köldknäpp?) Med nödvändighet kommer systemet att innehålla ett betydande mått av godtycke. Det är därför svårt att tänka sig ett mera effektivt sätt för monopolföretag att producera missnöje hos sina konsumenter.

Eftersom trappstegsformade tariffer innebär en prisdiskriminering som, utövad av monopolföretag, inte har sin grund i kostnadsskillnader mellan olika abonnentkategorier, bör det klarläggas huruvida förslaget är förenligt med konkurrenslagstiftningen generellt och regleringen av elmarknaden speciellt. När det gäller prissättningen är den svenska elmarknaden relativt mild reglerad, men det finns en klagonämnd för abonnenter som uppfattar sig som diskriminerade. Principiellt kan det hävdas att trappstegsformade tariffer innebär ett utnyttjande av företagets monopolmakt för att

beskatta och subventionera konsumenterna enligt ett visst system så att förhållandet mellan genomsnittspris och marginalpris förändras. Snedvridningen av tariffstrukturen kan med goda skäl hävdas vara till skada för abonnenterna.

Felaktigt satta tariffer resulterar i misshushållning med knappa samhälleliga resurser. Som inledningsvis betonades innebär en god hushållning, hushållning med *samtliga* resurser. Att ensidigt spara energi innebär ett slöseri med råvaror, arbetskraft och kapital och leder därmed till en lägre välfärd för konsumenterna.

Den effekten kan till och med uppstå att ett överdrivet energisparande inom ett visst område leder till att energisparandet minskar inom andra områden av ekonomin och i en sådan grad att nettoeffekten blir negativ. Att spara energi inom ett visst område kräver resurser i form av arbete, råvaror och kapital som måste tas från andra områden av ekonomin. Det kan mycket väl hända att om dessa resurser också hade fått utnyttjas på dessa andra områden så hade den totala energianvändningen minskat mera än vad den kommer att göra genom att ta resurserna i anspråk för ett specifikt energisparprogram. Det finns en inneboende styrka i marknadens förmåga att hushålla med resurser som det i praktiken inte är lätt att överträffa med aldrig så välmentade ingrepp. Det paradoxala är således att försök att spara energi kan leda till slöseri med energi om nämligen sparandet överskrider vad som är samhällsekonomiskt lönsamt; se Baumol och Wolff (1981).

Vi har i diskussionen av elpriserna ovan bortsett från en lång rad aspekter på elmarknaden som också kan vara värda en viss uppmärksamhet; för en mera utförlig diskussion se Hjalmarsson (1986) samt Hjalmarsson och Veiderpass (1986).

Är elkonsumenterna rationella?

Energisparoptimisterna svarar ett entydigt nej på frågan om huruvida företag och hushåll uppvisar ett rationellt beteende på marknaden för energisparande. Företagen tillämpar alltför höga avkastningskrav på sina investeringar, och hushållen genomför inte uppenbart lönsamma energisparåtgärder. Om energisparoptimisterna skulle ha rätt faller en hel del av mina invändningar i föregående avsnitt mot alternativa pris-sättningsprinciper.

Man behöver inte vara nationalekonom för att ifrågasätta sparoptimisternas uppfattning på denna punkt. Det frågan gäller är om hushåll och företag anpassar sig till förändringar i incitamentsstrukturen, d.v.s. anpassar sig till förändrade relativpriser och administrativa regler. Om så inte skulle vara fallet rycks grunden bort för en decentraliserad ekonomi.

Lyssnar vi till samhällsdebatten kan vi knappast undgå att upptäcka, att ett stort problem för de lagstiftande politikerna är att hushållen på vissa områden är alltför rationella i sitt beteende, i den betydelsen att de anpassar sig alltför väl till förändrade regler. Ett sådant område är skatteområdet, där regeringen försökt begränsa hushållens rationella beteende med generalklausuler. Men rationaliteten är inte begränsad till skatteområdet. Den som reser utomlands torde redan i avgångshallen observera såväl sin egen som medresenärernas omedelbara anpassning till nya relativpriser på vissa produkter. Mera seriösa ekonometriska studier av konsumenternas beteenden motsäger heller inte uppfattningen att konsumenter betar sig rationellt, i den betydelsen att de anpassar sin konsumtion på ett förutsägbart sätt till förändringar i priser och inkomster.

Om det nu är så att vi, i en rad situationer där vi kan observera konsumenters beteende på ett klart sätt, finner att dessa betar sig i hög grad rationellt, varför skulle då inte detta gälla också inom energisparområdet? Det enda vi med säkerhet kan konstatera, är att hushållen inte betar sig som energispararna anser att de borde bete sig. Men detta säger

ingenting om huruvida konsumenterna är rationella eller inte. Orsaken till detta är att konsumenternas valsituation när det gäller energisparande inte är transparent för en utomstående bedömare. Eftersom de flesta vill njuta av en god dryck till lågt pris blir kalkylen i avgångshallen mycket enkel och genomskinlig. Detta gäller däremot inte för ett energisparprojekt för vilket ofta en betydande del av kostnaden för en utomstående betraktare är osynlig. Framförallt gäller detta förbrukningen av tid och priset på tid som inte låter sig enkelt observeras. Inte heller bekvämlighetsaspekter är lätta att observera eller värdesätta för en utomstående. För alltfler hushåll utgör idag tidsrestriktionen en väl så viktig förklaringsfaktor till uppvisat beteende som budgetrestriktionen. Medan budgetrestriktionen är tänjbar är tidsrestriktionen behård: dygnet har inte mera än 24 timmar.

Vi kan dock inte av detta dra slutsatsen att hushållen verkligen betar sig fullt rationellt på energiområdet. Med mycket stor sannolikhet existerar det ett stort antal lönsamma investeringsprojekt inom hushållen som egentligen borde genomföras även utifrån en kalkyl baserad på hushållens egna värderingar av alla kostnader och intäkter. Detsamma gäller företagen. Hushåll och företag är nog inte fullt rationella i denna betydelse, men här är det lätt att glida in i semantik. Någon orsak till att lönsamma projekt ej genomförs går säkert att finna, och det är svårt för en utomstående att dra en skarp gräns mellan relevanta och icke-relevanta orsaker.

Mera fruktbart än att spekulera över detta, är det att fråga sig om hushåll och företag är mindre rationella inom energiområdet än inom andra områden, och om så skulle vara fallet bör någon göra någonting åt detta? Ser vi på andra stora poster i hushållens konsumtion, mat, kläder, transporter, o.s.v. är jag övertygad om att de professionella tyckarna och experterna inom dessa områden anser att hushållen betar sig slösaktigt eller hushållar dåligt, och att hushållen därför borde ägna mera tid åt att skaffa sig ökad matkun-

skap, klädkunskap, bilvård o.s.v. Kan vi dra någon annan slutsats än att hushållen borde ägna mera tid åt det mesta? Det skulle möjligen vara att hushållen redan vet sitt eget bästa och försöker att fördela sin knappa tid och sina knappa ekonomiska resurser mellan olika aktiviteter på ett i stort sett förnuftigt sätt.

Inom produktionssektorn finner man liknande tongångar. Produktivitetsexperter anser att företagen också utnyttjar sin arbetskraft och sitt kapital dåligt. Men är det någon som tror att Sveriges problem, med den långsamma utvecklingen av arbetsproduktiviteten och den låga kapitalproduktiviteten, skulle kunna lösas genom att skicka ut några tusen rationaliseringsexperter till företagen? Om Sveriges produktivetsproblem vore så lättlost, skulle det inte existera. Dock är det denna metod som sparoptimisterna förespråkar när det gäller företagens energiproduktivitet. Även i detta fall måste vi nog dra slutsatsen att företagen förstår sitt eget bästa, och att om företagen följt alla de välmenande råd de fått av utomstående "experter" så hade vår totalproduktivitet och levnadsstandard varit betydligt lägre än den är idag.

Blotta tanken att man genom central styrning skulle få hushåll och företag att bete sig på ett i energisparoptimisternas tycke rationellt sätt är minst sagt befängd.

Bör avståndet mellan bästa och genomsnittlig teknik krympas?

Den kanske viktigaste faktorn bakom den utbredda sparoptimismen är den observationen att det inom de flesta områden existerar ett stort avstånd mellan bästa och genomsnittlig teknik. Det gäller allt från kylskåp till massaanläggningar. Så har framförallt professor Thomas B. Johansson (med medförfattare) i ett antal skrifter och tidningsartiklar redovisat omfattande energisparpotentialer utifrån dessa produktivetsgap; se t.ex. Johansson et. al. (1989). Hans budskap kan, som jag uppfattat det, sammanfattas på följande sätt:

Det existerar idag en stor potential för energibesparing. Ny teknologi är mycket mindre energikrävande än den genomsnittliga teknologi vi utnyttjar i hushåll och industri. Lönsamheten är stor att gå över till denna teknologi, och om detta sker så kan vi avveckla kärnkraften utan att elpriset behöver stiga och utan att välfärden sjunker. Vi kan till och med klara en ökad tillväxt utan att energiförbrukningen ökar. Det enda hindret på vägen är brist på information och kunskap och alltför höga avkastningskrav inom industrin. Regering och kraftföretag bör därför sätta igång stora energibesparingsprogram för att reducera och helst eliminera de existerande produktivitetsgapen.

Det är mycket som kan sägas om detta resonemang, och tänkesättet är verkligen inte nytt. Det utgör faktiskt grunden för en stor del av det industripolitiska tänkandet under efterkrigstiden i Sverige. Fram till mitten av 1970-talet var inresset inriktat på att spara arbetskraft och först därefter på att spara energi. Detta är dock av mindre betydelse eftersom den nya energisnåla tekniken ofta också är snål på arbetskraft.

Observationen att det inom nästan alla områden av en ekonomi existerar ett, ofta betydande, gap mellan den bästa tekniken och den genomsnittliga är givetvis helt korrekt. Det man som lekman kan undra över är varför företagen inte utnyttjar den bästa tekniken. Intuitivt förefaller det orimligt att utnyttja gammal ineffektiv teknik, när det finns ny och effektiv tillgänglig. Men även här leder oss intuitionen fel, och jag skall nu diskutera varför.

Så länge kapitalföremål har producerats har det funnits ett avstånd mellan genomsnittlig och bästa teknik. Den tekniska utvecklingen är i hög grad kapitalbunden, d. v. s. utnyttjandet av ny teknik kan i allmänhet inte ske utan investeringar i ny produktionskapacitet eller genom investeringar i modifieringar av existerande anläggningar. Vid en gradvis teknisk utveckling kommer därför, vid en viss tidpunkt, kapitalstrukturen inom en bransch eller ett hushåll att uppvisa en

stor spridning, på olika årgångar, mellan bästa och genomsnittlig teknik.

Man kan emellertid inte utan vidare dra slutsatsen att detta avstånd är onaturligt eller inoptimalt och något som bör åtgärdas. Tvärtom, den spridning av teknologier som vi observerar kan mycket väl vara resultatet av en optimal, i betydelsen kostnadsminimerande, utveckling. Orsaken till att äldre anläggningar överlever och har sitt existensberättigande, är att det är lönsamt (också samhällsekonomiskt) att behålla dem så länge som intäkterna överstiger de löpande kostnaderna för råvaror, energi och arbetskraft; för en analys av sådana problem, se Hjalmarsson (1973) samt Försund och Hjalmarsson (1987).

Det är emellertid eliminerandet av detta högst naturliga avstånd som sparoptimisterna syftar till. Om bästa teknologi utnyttjades överallt i såväl industri som hushåll skulle en stor del av kärnkraften sparas in. Denna tankegång har sina motsvarigheter i den svenska strukturrationaliseringsdebatten från 1930-talet och framåt. Missnöjet med det stora avståndet mellan gammal och ny teknik i den existerande kapitalstrukturen har nämligen ofta varit stort. Den industripolitiska debatten från mitten av 1940-talet till i början av 1970-talet dominerades just av frågan om möjligheterna att med ekonomisk politik påskynda strukturomvandlingen i olika branscher och reducera eller eliminera produktivitetsgapet. Om produktivitetsgapen kunde reduceras eller elimineras så skulle en betydande andel av arbetskraften bunden i mindre effektiva anläggningar frigöras för mera produktiva ändamål.

Klarast lyser kanske tankegången i ett betänkande om stordriftsfördelar från Koncentrationsutredningen (SOU 1970:30). Eftersom en viktig orsak till avståndet mellan ny och gammal teknik är utnyttjandet av stordriftsfördelar, skulle vi med denna tankegång klara oss med några få mas-safabriker, ett bryggeri, ett par bagerier, ett par mejerier etc. Tekniskt låter sig detta givetvis göras, men det torde inte

behövas mycket eftertanke för att inse att det knappast kan vara ekonomiskt rationellt att skrota existerande lönsamma kapitalföremål för att ersätta dessa med nya kapitalintensiva men arbets- och energisnåla sådana av optimal storlek. En sådan politik skulle innebära en gigantisk kapitalförstöring. Men det är faktiskt detta som ligger i sparoptimisternas filosofi.

Även i hushållen har kapitalet en relativt lång livslängd, samtidigt som hushållsproduktionen är mycket kapitalintensiv, d.v.s. driftskostnaderna är i allmänhet låga. Detta innebär att det i hög grad är den tekniska livslängden som avgör förnyelsen av kapitalbeståndet — inte energiprisutvecklingen.

Den bästa tekniken kommer alltid att finnas i nya anläggningar och kapitalföremål. Och den bästa tekniken blir ständigt bättre. Att omedelbart införa den bästa tekniken överallt skulle innebära att kapitalstocken i näringsliv och hushåll skulle behöva bytas ut i stort sett varje år. Uppskattning av kapitalstockar är ofta vanskliga att företa och kräver därför ett visst mod. Sådant illustreras i den senaste Konjunkturrådsrapporten från SNS (1990), där beräkningar av den svenska kapitalstocken redovisas. Enligt dessa beräkningar skulle den totala kapitalstocken uppgå till c:a 6 500 miljarder kronor i prisnivå (1989). Enbart konsumtionskapitalet i hushållen beräknas till 790 miljarder kronor, medan näringskapitalet i industrin uppskattas till c:a 3 400 miljarder kronor. Dessa siffror kan lämpligen jämföras dels med investeringarna i dessa kapitalstockar 1988/89 som enligt samma källa uppgick till 159 resp. 165 miljarder kronor dels med den totala privata konsumtionen 1989 på c:a 650 miljarder kronor. Vid en omfattande kapitalförnyelse skulle vi onekligen producera med den bästa tekniken, men vi skulle inte få mycket över att leva på. Större delen av vår inkomst skulle slukas av det enorma investeringsprogrammet.

Slutsatsen av detta är att struktururomvandlingen i såväl industri som hushåll är en tidskrävande process, och att

försök att påskynda denna i allmänhet innebär en kapitalförstörelse. Ur samhällsekonomisk synvinkel bör ett kapitalföremål utnyttjas så länge det täcker sina rörliga kostnader.

Det kan dock inte helt uteslutas a priori, att strukturomvandlingsprocessen i hushåll och näringsliv på grund av olika trögheter kan vara alltför långsam, och att det därför kan vara motiverat med ekonomiska stimulanser till energisparande och arbetskraftssparande (eller generellt till nedläggning av gamla anläggningar) för att påskynda strukturomvandlingen. A priori kan det dock med ungefär samma tyngd anföras argument för att strukturomvandlingsprocessen i näringslivet är alltför snabb, och att hushållen uppvisar en alltför utbredd släng- i stället för slitmentalitet. En viktig lärdom från vår näringspolitiska strukturrationaliseringshistoria är, att de försök som gjorts att på politisk väg effektivisera strukturomvandlingen misslyckats (dock med den rörlighetsstimulerande arbetsmarknadspolitiken som lysande undantag). Den information och kunskap som skulle krävas för en framgångsrik sådan politik existerar helt enkelt inte på regeringsnivå i en marknadsekonomi; för en översikt se Hjalmarsson (1990). Jag ställer mig därför mycket skeptisk till tanken att svenska regeringar med hjälp av energitjänstföretag och energisparprogram nu helt plötsligt har fått förmåga att styra strukturomvandlingen i mera effektiva banor än tidigare.

För förståelsen av det problem vi här diskuterar tror jag ändå att det är värdefullt att ställa sig frågan vad vi egentligen hade uppnått, om vi verkligen hade lyckats eliminera gapet mellan gammal och ny teknik inom alla områden. Hade vi då inte haft en betydligt lägre energiförbrukning än idag? Sparoptimisternas svar på denna fråga är uppenbarligen ett obetingat ja. Enligt min uppfattning är svaret: Nej, med stor sannolikhet inte. Sparoptimisternas planhushållningstänkande låter sig nämligen inte enkelt realiseras i en marknadsekonomi, med företag som strävar efter att minimera sina kostnader, och hushåll som strävar efter att få så

stor glädje som möjligt av sina inkomster.

För att besvara frågan krävs en beskrivning av den politik och den process som kan tänkas leda till en eliminering av produktivitetsgapet för energi. Man kan nämligen inte mekaniskt förutsätta att det går att spara energi utan att en lång rad andra variabler i ekonomin påverkas, och förändringen i dessa variabler kan mycket väl leda till att energianvändningen faktiskt ökar istället för att minska.

Att försöka eliminera produktivitetsgapet för energi är i realiteten liktydigt med att påskynda strukturomvandlingen i ekonomin, att ersätta gammalt kapital med nytt. Eftersom den tekniska utvecklingens karaktär vanligen är sådan att nytt energisnålt kapital också är snålt på arbetskraft frigörs inte enbart energi vid utslagningen av gammalt kapital utan också betydande mängder arbetskraft. Såväl själva strukturomvandlingen som sådan som utnyttjandet av den frigjorda arbetskraften kan förväntas leda till en ökad tillväxttakt i näringslivet. Även om den nya kapitalstocken är mycket mera energisnål, i betydelsen energiåtgång per producerad enhet, är det högst osannolikt att den totala energianvändningen skulle sjunka under en sådan utveckling. Endast vid mycket kraftiga höjningar av relativpriset mellan energi och arbetskraft kan den totala energianvändningen förväntas sjunka; för en analys av sådana processer, se Hjalmarsson och Eriksson (1985).

Det paradoxala är således att en övergång till bästa teknik överallt i näringsliv och hushåll sannolikt skulle leda till en ökning av den totala energianvändningen i ekonomin. Det av Thomas B. Johansson och Peter Steen (1983) presenterade räknexemplet att tillväxten i den svenska ekonomin kan öka starkt utan att energianvändningen behöver öka är just inget annat än ett mekaniskt och mycket vilseledande räknexempel utan kontakt med de ekonomiska mekanismerna i en ekonomi.

Däremot är det lättare att uppnå en reducerad användning av ett enskilt energislag, t.ex. elenergi. Men även detta kräver

betydande elprishöjningar samtidigt som det kan förväntas leda till en kraftig övergång till andra energislag framförallt kol och olja. Den s.k. korspriskänsligheten mellan el och kol-olja utgör nämligen större delen av elpriskänsligheten, d.v.s. en isolerad prishöjning på elenergi i näringslivet innebär först och främst att kol- och oljeanvändningen ökar, medan den totala energianvändningen ej påverkas så mycket.

Blir elpriserna för höga i framtiden?

Det, i skrivande stund, senaste bidraget till avvecklingsdebatten är utredningen El 90. Här diskuteras effekterna på den elintensiva industrins konkurrenskraft av de framtida prishöjningar som uppstår på grund av kärnkraftsavvecklingen och förbud mot ytterligare utbyggnad av kärnkraften. En viktig punkt i utredningen är avvägningen mellan prissättning enligt marginalkostnad och prissättning enligt genomsnittskostnad (El 90, sid. 387-388):

Tillämpas marginalkostnadsprissättning får man, när ny elproduktionskapacitet måste tillföras, en snabb prishöjning som kan leda till stora omställningsproblem i det svenska samhället. . . . Det finns enligt utredningen inga bärande skäl för statsmakterna att låta kraftigt höjda elpriser skapa övervinster hos kraftproducenterna samtidigt som delar av den svenska basindustrin — till följd av samma elpriser — stagnerar eller läggs ner. . . . Enligt El 90:s mening innebär en rimlig prissättningsprincip . . . att tariffnivån ungefär motsvarar kraftföretagens *genomsnittskostnad*.

Det utredningen vill undvika, är att en kärnkraftsavveckling leder till snabbt stigande elpriser. Jag vill inte kritisera utredningen för att inte ha beaktat konsekvenserna på elsparandet av att försöka dämpa utvecklingen av elpriserna —

för det har den. Det jag vill kritisera är den förmenta motsättningen mellan prissättning enligt marginalkostnad och prissättning enligt genomsnittskostnad. Som diskuterats ovan (se sid. 73—76) är marginalkostnadsprissättning liktydigt med marknadsprissättning i betydelsen att priset tillåts skapa jämvikt mellan utbud och efterfrågan. Prissättning enligt genomsnittskostnad kan, om genomsnittskostnad avviker från marginalkostnad, antingen innebära en högre prisnivå, vilket då innebär att all billig produktionskapacitet ej utnyttjas, eller en lägre prisnivå vilket innebär att elenergin måste ransoneras. Inget av dessa alternativ föresvävar, efter vad jag kan förstå, utredaren utan genomsnittskostnaden förutsätts implicit leda till jämvikt på marknaden.

Det som föreslås i utredningen är därför inte någon ny prissättningsprincip utan en ny investeringsprincip. Investeringar i ny produktionskapacitet skall inte längre baseras på förväntad framtida lönsamhet hos anläggningarna. I stället skall nya elproduktionsanläggningar byggas i så snabb takt, att det pris som krävs för att skapa jämvikt mellan utbud och efterfrågan på elmarknaden stiger i långsam takt. Den s.k. elrean ligger faktiskt inte bakom oss utan snarare framför oss om EL 90:s förslag genomförs.

Tanken är att Vattenfall skall ikläda sig rollen av icke-kommersiellt företag som bygger ut ny produktionskapacitet utan att bekymra sig om lönsamheten, och endast för att expandera kapaciteten i så snabb takt att jämviktspriset hålls nere. Istället för att låta prisutvecklingen på marknaden vara styrande för lönsamheten av att bygga nya anläggningar, så är förslaget alltså att låta kapacitetsutbyggnaden styra prisutvecklingen. Av någon anledning betecknas detta som prissättning enligt genomsnittskostnad istället för marginalkostnad.

De allvarligaste konsekvenserna av detta förslag är två:

- Den uteblivna anpassningen till våra förändrade komparativa fördelar.

- De långsiktiga konsekvenserna för elmarknadens funktionssätt.

I ett skede då allt fler länder, som medel för att stimulera produktivitetens utvecklingen, strävar efter att förbättra marknadernas funktionssätt genom avreglering och borttagande av subventioner föreslås här att Sverige skall välja motsatt väg dels genom att låsa in resurser i icke livskraftiga delar av näringslivet (analogt med varvspolitiken på 1970-talet), dels genom att sätta marknadsmekanismerna ur spel på elmarknaden.

Att inte ta konsekvenserna av förändrade komparativa fördelar är ett säkert sätt att dämpa tillväxttakten i en ekonomi. Den direkta bördan på svenska folket vid en kärnkrafts-avveckling torde vara fullt tillräcklig utan den ytterligare börda som inlåsnings effekterna ger upphov till.

Konsekvenserna för elmarknaden blir också allvarliga. Eftersom Vattenfall är det enda företag som kan förväntas genomföra olönsamma investeringar, kommer Vattenfalls andel av elmarknaden att successivt öka. Den svenska modellen, med en blandning av statlig prisledare och privata kraftföretag, har fungerat mycket väl och starkt bidragit till de låga elproduktionskostnaderna i Sverige. Om en kärnkrafts-avveckling nu också skulle medföra en avveckling av den effektiva svenska elmarknaden, stiger de förväntade avvecklingskostnaderna kraftigt.

Har inte sparprogrammen varit effektiva?

Från den första oljekrisen i mitten av 1970-talet och framåt har riksdagen anslagit betydande medel till energisparåtgärder, oljeersättning, energiteknisk utveckling m.m. När man tar del av utvärderingar av energisparprogram tyder resultaten ofta på stor framgång och effektivitet i utnyttjade medel. Enligt min uppfattning har de flesta utvärderingarna varit metodmässigt otillfredsställande och resultaten i vissa

fall djupt missvisande och med starkt överdrivna energispar-effekter som resultat.

Vid Nationalekonomiska institutionen vid Göteborgs Universitet har vi sedan många år tillbaka bedrivit forskning om energiefterfrågans bestämningsfaktorer. Det är tre resultat av denna forskning som jag vill framhäva:

1. Utvecklingen av industrins energianvändning förklaras mycket väl av produktionsvolymens utveckling samt prisutvecklingen på produktionsfaktorerna. För hushållen är det på motsvarande sätt inkomstutvecklingen och relativpriset mellan el och olja som förklarar utvecklingen. Någon inverkan av energisparprogrammen har vi inte funnit. De stora anslagen till energisparåtgärder framstår därför främst som en inkomstomfördelning från löntagarkollektivet till ett antal alerta fastighetsägare och företag som med statsbidrag genomfört åtgärder som de ändå skulle genomfört på grund av prisutvecklingen.
2. Även om en gradvis teknisk utveckling leder till energisnålare processer och kapitalvaror så stiger energianvändningen på grund av produktionsvolymens utveckling i industrin och inkomstutvecklingen i hushållen. Det krävs kraftiga prisökningar på energi för att inte energianvändningen skall öka.
3. Vi finner en inte obetydlig elpriskänslighet men huvudpoängen är att denna elpriskänslighet domineras av korspriskänsligheten med olja, d.v.s. större delen av den elspareffekt som uppstår vid en elprishöjning innebär att el ersätts med ökad bränsleförbrukning. Målkonflikten mellan kärnkraftsavveckling och koldioxidemissioner får således ett mycket starkt stöd i våra resultat. För att förringa denna målkonflikt krävs en stor energisparoptimism.

Eftersom regeringen inte visat någon större entusiasm för ytterligare energisparprogram, knyts nu stora förhoppning-

ar till kraftföretag och eldistributörer när det gäller att satsa på energisparåtgärder. "Energitjänstföretag" och "kommersiell energihushållning" anger den nya inriktningen. Mest ambitiöst är Vattenfall med sitt miljardprojekt Uppdrag 2000. En intressant fråga är om kraftindustrin kommer att lyckas bättre än staten när det gäller att åstadkomma energisparåtgärder.

Enligt min uppfattning finns det starka skäl att dämpa förväntningarna. Som investeringsprojekt är Vattenfalls Uppdrag 2000 ekonomiskt sett ett högriskprojekt. (PR-mässigt är det dock en succé.) Den grundläggande affärsidén är nämligen baserad på att företag och hushåll betar sig irrationellt och ej inser sitt eget bästa när det gäller energihushållning. Därför existerar det en stor potential lönsamma investeringsprojekt som ligger och väntar på att genomföras. Man behöver inte vara ekonom för att ha sina tvivel på en sådan affärsidé. Å andra sidan är risken att misslyckade investeringsprojekt uppdagas inte så stor.

Fördelen med att investera i kapitalintensiv teknologi, typ vattenkraft och energisparande är att investeringsmisslyckanden nästan aldrig syns. När investeringen har skett och kapitalet väl är "sunk cost" lönar det sig nästan alltid att utnyttja anläggningen, och det är lätt att visa upp goda energisparresultat. Energisparprogram framstår därför ofta som lyckade. Genom att jämföra en kontrollgrupp med en energispargrupp kan man i utvärderingar lätt visa de omfattande energispareffekter som uppnåtts.

Vid en närmare granskning har det dock visat sig att denna typ av utvärderingar, genom brister i utvärderingsmetoden, kan vara djupt missvisande. Om man inte tar hänsyn till att de som deltar i ett energisparprojekt ej är slumpmässigt utvalda överdrivs energispareffekten mycket kraftigt (s.k. selektivitetsbias), enligt studier av amerikanska kraftbolags energisparprogram med upptill 60—70 procent; se Hartman (1988). Vi får heller inte glömma allt det energisparande som ligger i den "normala" utvecklingen. Under den obser-

verade efterfrågeutvecklingen fram till idag ligger naturligtvis genomförandet av en lång rad (osubventionerade) energisparprojekt vilka förklarar varför energianvändningen just nu inte är högre än den observerade. Det är möjligt att vi med subventioner kan tidigarelägga vissa sparprojekt, men effekten av subventionsprogram framstår som mycket begränsade.

Således kan vi förvänta oss att kraftindustrins energisparprojekt i stor utsträckning innebär en beskattning av elabonnentkollektivet för finansiering av transfereringar till vissa företag och hushåll. Den dominerande effekten av sparprogrammen är sannolikt den godtyckliga inkomstomfördelningen från ett abonnent- eller löntagarkollektiv till ett slumpmässigt urval fastighetsägare, vars kapitalstock just råkade befinna sig i en fas då det var lönsamt att vidta energisparåtgärder som annars ändå hade genomförts inom en nära framtid.

Slutsatsen är därför att varken staten eller kraftindustrin bör ge sig in på att subventionera omfattande energisparprojekt. Även energisparverksamheten bör bedrivas under afärsmässiga former, och det godtyckliga utnyttjandet av energiföretagens monopolmakt, med överföring av vinster från en del av verksamheten till en annan, upphöra. Om det existerar en stor potentiell lönsamhet inom produktionen av energispartjänster torde konsultföretagen snabbt upptäcka denna. Förutsättningen är givetvis en konkurrens på lika villkor.

Slutord

Den svenska energispardebatten har dominerats av sparoptimister med mycket rudimentära kunskaper i en ekonomisk funktionsätt. De förslag som framförs präglas av ett planhushållningstänkande som det idag är svårt att finna exempel på i någon annan del av världen. Samtidigt som större delen av Östeuropa fjärrar sig från en politik med den inriktning sparoptimisterna förordar just på grund av dess

misslyckande även, och kanske inte minst, med avseende på effektiviteten i energiförbrukningen, förslår många energisparentusiaster att Sverige också skall försöka sig på denna väg. När EG och Östeuropa går in för marknadsprisbildning och avreglering av energimarknaderna, föreslås i Sverige mycket långtgående regleringar av energipriserna och andra ingrepp i marknadernas funktionssätt. Jag har i denna artikel försökt att visa på det i långa stycken orimliga och befängda i de ideer som framförs även utifrån energisparoptimalisternas egna målsättningar.

Det billigaste sättet för folkhushållet att reducera energiförbrukningen vid en avveckling av kärnkraften är genom prishöjningar på energi. Istället för att ägna sig åt föga effektiva energisparprojekt med syfte att eliminera elprishöjningar borde kraftindustri och regering ägna sig åt att pedagogiskt förklara varför elprishöjningar är oundvikliga och faktiskt ligger i konsumenternas intresse om vi skall ha en väl fungerande elmarknad även i en framtid utan kärnkraft. Myten att man kan spara bort förväntade elprishöjningar är en myt och för elabbonnenterna en mycket dyrbar myt.

Referenser

- Baumol, William J. och Wolff, Edward N.: "Subsidies to New Energy Sources: Do They Add to Energy Stocks?" *Journal of Political Economy*, 89(5), 1981.
- Forsund, Finn och Hjalmarsson, Lennart: *Analyses of Industrial Structure: A Putty-Clay Approach*. Almqvist & Wiksell International, 1987.
- Hartman, Raymond S.: "Self-Selection Bias in the Evolution of Voluntary Energy Conservation Programs." *Review of Economics and Statistics*, 3, 1988.
- Hjalmarsson, Lennart: "Optimal Structural Change and Related Concepts." *Swedish Journal of Economics*, 1973.
- Hjalmarsson, Lennart: Prissättningen på elenergi och elmarknadens utveckling. Vattenfall, oktober 1986.

- Hjalmarsson, Lennart: The Swedish Model of Industry Policy. Publicerad i DIVERGING PATHS — A Century of Latin-American and Scandinavian Development. Eds, Blomström and Meller Johns Hopkins, 1990.
- Hjalmarsson, Lennart och Eriksson, Sven-Göran: *Choice of Technology and Energy Demand in a Vintage Framework*. Working paper. September 1985.
- Hjalmarsson, Lennart och Veiderpass, Ann: *Den svenska elmarknaden. En översikt över funktionssätt och spelregler*. National-ekonomiska institutionen, Göteborgs universitet, juli 1986, andra reviderade upplagan oktober 1986.
- Johansson, Thomas B. och Steen, Peter: *Perspektiv på energi*. Ds I 1983:18
- Johansson, T.B., Bodlund, B. och Williams, R.H. (red.): *Electricity — Efficient End-Use and New Generation Technologies, and Their Planning Implications*, Lund University Press, Lund, 1989.
- Konjunkturrådets rapport 1990. *I samtidens bakvatten?* SNS 1990.
- SOU 1970:30, *Stordriftsfördelar inom industriproduktionen*
- SOU 1990:21, *Den elintensiva industrin under kärnkraftsavvecklingen*. Betänkande från El 90.

II

GUNNAR WALINDER

4 Hur farlig är strålningen?

Den strålning som alstras i kärnvapen och i kärnkraftverk, har gett upphov till en oro, som förefaller vara mer djupgående än vad andra, objektivet sett lika allvarliga risker brukar väcka. Strålningsfaran uppfattas inte sällan på ett sätt, som påminner om gamla tiders rädsla för det övernaturliga och okända.

Det är heller inte så konstigt. Den här typen av strålning kan inte uppfattas av våra sinnen — det kommer ingen varningssignal via lukt, känsel, smak eller hörsel. Dess psykologiska verkan är alltså stor.

Men jämförelsen med gamla tiders tro på och rädsla för det övernaturliga haltar i ett väsentligt avseende; den strålning vi här talar om kan bevisligen skada oss. Den är så energirik att den kan påverka materiens minsta byggstenar — atomerna och molekylerna — och göra dem elektriskt laddade, d.v.s. den kan skapa joner och strålningen kallas därför "joniserande". Det är just denna joniserande förmåga, som gör att den här strålningen kan utgöra en fara för oss.

Den mängd strålenergi, som vid jonbildningen absorberas i 1 kilo av något material kallar vi för stråldos. Dosen brukar vanligen anges i enheten sievert (Sv). Just därför att den här enheten baseras på bildningen av joner (och deras rumsliga fördelning) utgör den ett rätt bra mått på strålningens biologiska verkan.

Den joniserande strålningen kan försaka mer eller mindre direkta skador, alltifrån subtila förändringar i blo-

det, som bara kan upptäckas med avancerade metoder, till skador som, om dosen är tillräckligt hög, kan döda oss. Men vi kan också drabbas av sent uppträdande skador som cancer eller förändringar i vår arvsmassa. Sådana skador kan uppstå efter lägre doser än de som åstadkommer de mer "akut" uppträdande verkningarna.

Därför har risken för cancer blivit grundläggande för våra strålskyddsnormer, såväl vid planeringen av olika verksamheter där joniserande strålning förekommer, som vid val av åtgärdsnivåer efter olyckshändelser. Av flera skäl kan ärftliga (genetiska) strålskador inte läggas till grund för sådana normer eller åtgärder. Varför det förhåller sig så, skall jag återkomma till.

De erfarenheter vi idag har av canceruppkomst i bestrålade befolkningar har visat, att vi i flera fall inte kunnat fastlägga några tröskeldoser, d.v.s. stråldoser under vilka vi med bestämdhet kan hävda, att risken för cancer är obefintlig.

Detta, att ingen stråldos är så liten att den kan sägas vara helt riskfri med avseende på cancer, har lett till att många människor uppfattat strålriskerna som väsensskilda och av en annan "dimension" än andra faror. Och att så verkligen skulle vara fallet, tycks ju t.ex. Tjernobylolyckan klart ha visat. Antalet direkt inträffade dödsfall (31 personer, varav 28 helt eller delvis beroende på strålningen) var visserligen inte större än i många andra olyckor. Men hundratusentals människor måste evakueras. Samhällen och jordbruksarealer måste läggas öde. Kostnaderna för evakueringar, sanering och förlust av livsmedel, som blivit otjänlig, har ju också varit betydligt högre än vid någon annan inträffad olycka.

Vi har sett de förtvivlade människorna, som måste lämna den trakt där de levat och bott i kanske hela sin livstid och vi har skakats av den sorg och ovisshet inför framtiden de måste ha känt. Även om vi inte alltid helt förmått sätta oss in i den tragedi de drabbats av har vi dock inte kunnat undgå att starkt beröras av deras öde.

Även i vårt land har Tjernobylolyckan som bekant skapat stora problem för samer, lantbrukare och jägare. Och detta 150 mil från utsläppsplatsen!

Om de här konsekvenserna verkligen är unika för en kärnkraftolycka — och ingen kan lova att Tjernobylolyckan inte kan upprepas — då väger tekniska, industriella och ekonomiska synpunkter lätt.

Nästan vilket alternativ som helst förefaller vara bättre än kärnkraft. Det kan säkert vara riktigt, att avvecklingen av kärnkraften kan vålla en ekonomisk "baksmälla" och att andra lösningar på våra energiproblem är tekniskt mindre eleganta. Vi kan också få bekymmer med ökad arbetslöshet samt problem för vår elintensiva industri. Alternativen är säkert inte heller riskfria.

Men nu gäller det vår grundläggande miljö och hälsa och våra barns framtida liv inför ett hot av en helt annan dimension och med konsekvenser som vi inte kan överblicka.

Men är den här bilden riktig? Det har ju förr inträffat olyckor där cancerframkallande ämnen släppts ut. Är riskerna med annan industri verkligen "av en annan dimension"? Är det t.ex. verkligen sant, att det bara är strålriskerna, som saknar tröskeldoser? Eller är det så, att själva det faktum att vi äger vetskap om strålningens existens, helt enkelt därför att vi kan mäta extremt låga stråldoser, som gör att vi känner en rädsla? Varför är vi inte rädda i andra situationer? Beror det enbart på att vi saknar vetskap om att vi blivit exponerade och bl.a. därför tvingas använda andra riskkriterier? Hur var det exempelvis i det här avseendet med konsekvensbedömningarna efter Seveso-olyckan i Italien eller efter Bhopal-olyckan i Indien och hur är det med cancerriskerna i våra egna tätorter?

Innan jag försöker besvara de här frågorna, skulle jag vilja ta upp några andra, viktiga typer av strålskadorna, som man inte får glömma bort i diskussionen om strålning och cancer.

Strålframkallade arvs- och fosterskador

Såväl ärftliga (genetiska) skador som fosterskador kan iaktas som synliga missbildningar eller som mer subtila effekter hos barnen. Man har därför ofta sammanblandat dem, vilket lett till en del missförstånd.

De ärftliga skadorna har uppstått i föräldrarnas eller föräldrarnas könsceller under det att fosterskadorna framkallats direkt i fostren.

Detta innebär, att den genetiska skadan, av samma skäl som bildningen av cancer, anses vara en effekt, som saknar tröskeldoser under det att risken för fosterskador, åtminstone teoretiskt, bör vara obefintlig vid tillräckligt låga stråldoser. Om det senare verkligen är sant, är emellertid idag föremål för diskussion.

Strålframkallade, genetiska skador är svåra att upptäcka i exponerade befolkningar. Detta beror främst på att den normala frekvensen medfödda, genetiskt betingade skador är så hög. Vår klassifiering av vad som bör kallas en ärftlig skada, är i mycket en definitionsfråga. Flertalet av de skador som inrymmes i gängse definitioner är resultat av komplicerade, genetiska orsakskedjor, som inte kan åstadkommas med strålning.

Det fordras därför höga stråldoser och ett stort antal exponerade människor för att man skall kunna påvisa en förhöjning utöver den naturliga förekomsten av ärftliga skador. Våra bedömningar av sambanden mellan stråldoser och frekvensen genetiska förändringar är därför i allt väsentligt grundade på pessimistiskt tolkade djurförsök.

Inte ens i det stora material, som vi har från Japan, där man under 43 år undersökt 24 000 barn till bestrålade föräldrar, har man kunnat påvisa någon förhöjd förekomst av en specifik, ärftlig skada vid jämförelser med de 48 000 barn i Hiroshima och Nagasaki, vilkas föräldrar inte bestrålats eller endast exponerats för ytterst små stråldoser. De bestrålade föräldrarna hade exponerats för rätt höga stråldoser

(i medeltal mellan 0,2 och 0,3 Sv).

Endast om man lagt ihop alla effekter, som antagits ha en genetisk bakgrund och därvid tagit med subtila, cellulära effekter, har man nu efter 43 års intensiva studier fått fram värden, som antyder att en liten förhöjning av ärftliga skador kan ha inträffat. Men denna förhöjning är i så fall avsevärt lägre än vad exempelvis FN:s vetenskapliga strålkommitté uppskattat i sina riskkalkyler.

Allt detta har medfört att det inte varit möjligt att lägga de genetiska effekterna till grund för riskbedömningar.

I litteraturen har det förekommit talrika rapporter om medfödda missbildningar hos experimentdjur, som blivit bestrålade som foster. Det har därför varit förvånande, att så litet i det avseendet kunnat observeras bland de japanska barn som befann sig i moderlivet vid atombombsfällningen 1945.

En liten minskning i kroppslängd och kroppsvikt har dock konstaterats samt en genomsnittligt mindre skulldiameter hos en del barn, som fått mottaga relativt höga stråldoser. Den allvarligaste skadan har varit en mental retardation bland barnen, som bl.a. yttrat sig i ökade svårigheter att följa en normal skolgång. Det har här inte varit fråga om en "antingen-eller" effekt, utan snarare om en förskjutning av intelligenskvoten.

Effekten har varit speciellt tydlig i de fall då bestrålningen inträffat mellan den 8:e och 16:e graviditetsveckan, men enstaka fall har förekommit ända upp till omkring den 26:e veckan. Det här är naturligtvis ingen tillfällighet. Det är mellan den 8:e och 16:e graviditetsveckan, som storhjärnan växer som hastigast. Före den 8:e eller efter den 26:e veckan har inga sådana mentala effekter kunnat iakttagas.

Huruvida det här har förelegat en tröskeldos eller ej kan man inte med säkerhet konstatera på grund av det begränsade antal barn det rör sig om, men de forskare som har lett undersökningarna anser, att så sannolikt varit fallet. Hur det än förhåller sig med den saken måste en tröskeldos — om

den finns — vara mycket låg. Sambandet mellan skadefrekvens och stråldos har visat sig stiga mycket brant vid ökande doser.

Iakttagelsen utgör naturligtvis en mycket viktig information inte bara för riskberäkningar efter strålolyckor, utan också vid medicinska röntgenundersökningar och för gravida kvinnor som arbetar i yrken där joniserande strålning kan förekomma.

Vad är cancer?

Låt mig i det här försöket att beskriva de grundläggande drag, som kännetecknar godartade och elakartade tumörer, bokstavligen börja från början.

Våra liv startade med en enda cell: det befruktade ägget i våra mödrar. Omedelbart efter befruktningen sätter ägget igång med att reproducera sin egen arvs massa samt de för cellen karakteristiska ämnena och organellerna. Styrningen av den här "själv-produktionen" ligger i cellens arvs massa.

När nyproduktionen nått en fördubbling av det ursprungliga cellinnehållet, delar sig cellen i två dotterceller, som i sin tur påbörjar en ny produktion. Processen upprepas några gånger, tills vi fått en klase celler, där varje cell förefaller vara identiskt lik de övriga. Det är ju också detta vi har anledning att vänta oss.

Det som styr cellens beteende, funktion, utseende etc, är ju dess arvs massa och eftersom denna är densamma i alla cellerna, bör de ju också vara lika i alla andra avseenden.

Men så händer plötsligt något. Det börjar bildas en hållighet i klasen och cellerna i dess ena ände tenderar att bli litet större än i den andra. Det ser inte så märkvärdigt ut i mikroskopet, men för mig som biolog är detta ett av livets största mysterier och en förutsättning för allt högre liv. Hur kan celler, trots att de har samma arvs massa, ändå utvecklas på olika sätt?

Den här specialiseringen — eller differentieringen som

biologen säger — blir allt mer uttalad, tills vi i det fullgångna fostret har en praktiskt taget komplett uppsättning av organ och vävnader, som var för sig är uppbyggda av celler med helt olika utseende, beteende och funktion: nervceller, hudceller, muskelceller etc.

Hur är detta möjligt? Det något genanta svaret är att vi vet utomordentligt litet om "varför" och "hur". Men precisionen i celldelningen och i cellernas differentiering är minst sagt förbluffande.

För att dessa processer skall lyckas, fordras att cellen inför varje delning förfogar över en uppsättning enzymer, organeller etc. i rätt mängd, vid rätt tidpunkt och på rätt plats och under en människas liv skall detta upprepas ett ofattbart stort antal gånger.

Skall vi ange antalet celldelningar under en människas liv fordras ett femtonsiffrigt tal, d.v.s. ett antal som t.ex. motsvarar antalet millimetrar runt jordens ekvator i 10 000 varv. Hur hög uppfattning vi än må ha om stabiliteten hos dessa processer, tvingas vi inse att det måste inträffa många "missstag". Men vi tycks ha en enormt hög förmåga att reparera och/eller eliminera sådana "misstag".

Ibland inträffar dock felaktigheter, t.ex. att förändringar uppstår i en cells arvs massa utan att skadorna repareras eller elimineras. Får en sådan cell en möjlighet att dela sig, d.v.s. att övervinna allt försvar mot avvikelser, kan den vävnad den bygger upp inte bli exakt lik den normala. Det har uppstått en tumör.

Lyckligtvis växer de flesta tumörceller i strukturer, som mer eller mindre liknar den normala vävnadens och cellerna håller samman utan tendenser att slita sig loss. Tumören kommer så småningom att utöva ett tryck på den omkringliggande vävnaden, varvid det ofta bildas en bindvävskapsel omkring den och tillväxten tenderar att upphöra. Tumören sägs då vara godartad eller benign.

Men så kan också det vi fruktar inträffa. I utvecklingen av en tumör kan ett antal kloner (d.v.s. små cellgrupper här-

stammande från en enda ursprungscell) bildas genom en serie stegvisa förändringar. En del av dessa kloner kommer att dö ut under det att andra, i en slags kamp för tillvaron, kommer att dominera över andra.

I denna heterogena "cellklump" kan ibland en cells arvs-massa förändras, eller redan från början delvis eller helt ha förändrats på sådant sätt, att cellen blir autonom, d.v.s. så att den förlorat sina möjligheter att svara på de tillväxtregulatorer som styr de andra cellernas växt.

Detta kan ofta innebära en fördel för cellen, som då också fått sådana ytförändringar, att den ensam eller i cellaggregat kan slita sig loss från modertumören, angripa omkringliggande, normal vävnad och tränga in i blod- och lymfkärl. På så sätt kan de förändrade cellerna föras till andra delar av kroppen, fastna och börja växa på nytt. Tumören har då blivit livshotande och vi säger att den är elakartad eller malign. Organismen har drabbats av cancer.

Utvecklingen av en elakartad tumör påminner alltså rätt mycket om ett cellulärt "naturligt urval" i Darwins mening.

Hur kan joniserande strålning ge upphov till cancer?

Det fordras således många utvecklingssteg både i cellen själv och i dess förhållande till omgivningen för att skapa en elakartad tumör.

Först måste cellens arvs massa förändras i flera avseenden. Den måste göras "odödlig", d.v.s. den måste förhindras att nå sitt slutliga utvecklingsstadium där den upphör att dela sig och dör på ett naturligt sätt.

Den måste stå under oavbruten tillväxtstimulation och — möjligen med undantag för leukemicellen — måste dess ytegenskaper ändras så, att den kan "angripa" andra celler och sprida sig i kroppen.

Alla dessa förändringar sitter inte på samma ställe i arvs-massan och, som sagt, utöver alla dessa cellulära förändring-

ar, måste den också övervinna kroppens effektiva reparations- och eliminationsförsvar mot ”avvikelser”.

Strålningen kan inte göra allt detta i ett steg utan man brukar säga att tumörbildningen är en ”flerstegsprocess”. Den tidigare inte så ovanliga monolitiska tanken, att en cell kunde förvandlas från sitt normaltillstånd till en potentiell cancercell i ett enda steg har därför måst överges i ljuset av modern tumörforskning. Detta har gjort, att jag hellre talar om att den joniserande strålningen kan bidra till canceruppkomst än att strålningen framkallar cancer.

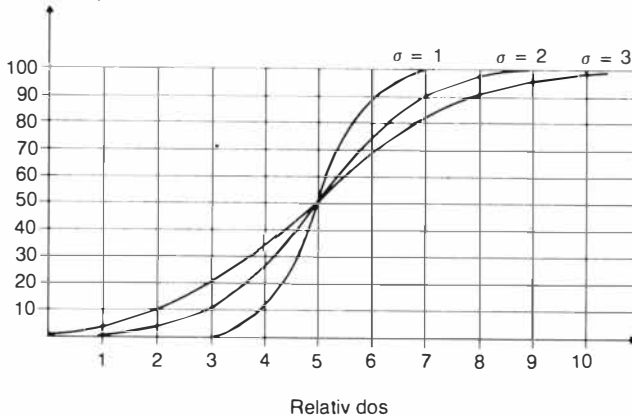
Om strålningen skall ”lyckas” åstadkomma en elakartad tumör beror således på en rad andra förhållanden. Sålunda kan jag efter en bestrålning av sköldkörteln i mina försöksmöss bestämma om en tumör skall uppstå eller ej, om den skall bli elakartad eller ej och även hur pass elakartad den skall bli, bara genom att variera muskostens sammansättning.

Å andra sidan tycks strålningen kunna ingripa i många av de erforderliga stegen för en tumörbildning, men den är inte särskilt effektiv. Många kemiska ämnen är betydligt mer effektiva i det avseendet.

Den komplicerade utvecklingen av en tumör gör att det tar lång tid från bestrålningen (eller exponeringen för en cancerframkallande substans) till dess att en iakttagbar, elakartad tumör uppkommit. När det gäller ”solida” tumörer tar det minst 10 år för att utvecklingen skall nå dithän och det kan dröja i mer än 40 år innan så sker.

När det gäller leukemier kan utvecklingen ske något snabbare, kanske bara inom 5 år, vilket bl.a. kan ha att göra med att leukemicellerna inte behöver genomgå samma ytförändringar, som är nödvändiga för att cellerna i en ”solid” tumör skall bli elakartade.

Frekvens, procent



Figur 1. Denna schematiska bild avser att visa vad som händer när spridningen i känslighet för något ämne eller stråldos ökar inom en djurgrupp eller befolkning. Är denna spridning liten, dvs om alla individer har ungefär samma känslighet för det ämne eller dos de utsatts för, får man en S-formad dos-effekt kurva av den typ som i figuren åsatts beteckningen $\sigma = 1$ (σ är den sk standarddeviationen till den typ av fördelningskurva, som figuren visar. Figuren visar också de kurvor man får om standarddeviationen fördubblas eller tredubblas). Den kurva som betecknats med $\sigma = 1$ är av den typ man vanligen får för cancerfrekvenser i bestrålade försöksdjur. Ökar nu successivt spridningen i känslighet, får man de mer utsträckta kurvor, som betecknats med $\sigma = 2$ resp. $\sigma = 3$. Blir spridningen i känslighet tillräckligt stor, får man slutligen en kurva som inte kan skiljas från en rät linje. Det bilden således vill visa är varför sådana här dos-effekt kurvor genomgående får ett mer linjärt utseende då de erhållits ur heterogena befolkningar än vad fallet är om de härrör från försök med inavlade djur.

Strålrisker och strålskydd

Vill jag åstadkomma elakartade tumörer i djur med joniserande strålning, så är det långt ifrån säkert att jag lyckas.

Ofta måste jag också behandla djuren med något ämne eller skapa vissa livsbetingelser för dem om jag vill uppnå ett resultat. Även då är det långt ifrån säkert att jag lyckas. Kanske hade det gått bättre om jag haft tillgång till många fler djur.

Men för vissa cancerformer och i vissa djurstammar kommer jag att lyckas. Börjar jag med en liten stråldos händer emellertid nästan aldrig någonting. Ökas dosen något, händer fortfarande ingenting, men så vid en viss gränsdos (inte nödvändigtvis en tröskeldos i den mening jag tidigare använt ordet) börjar jag hitta ett fåtal tumörer i mina djur. Ökar jag så dosen ytterligare får jag allt fler tumörer. (Se *figur 1*).

Den här trögheten tycks bl.a. återspegla den motståndsförmåga mot "misstag", som organismen besitter och som jag tidigare talat om. Utseendet på det här "dos-effekt"-sambandet eller den "dos-effekt"-kurva jag får om jag ritar upp mina resultat i ett diagram, kan i regel lätt ändras genom att djurens livsbetingelser ändras eller om jag tillsätter någon substans, som underlättar eller motverkar tumörutvecklingen.

Men om jag studerar motsvarande samband mellan stråldos och tumörfrekvens i bestrålade befolkningar, får jag inte sällan en annan bild. Här kan det ofta vara omöjligt att urskilja ett lågdosområde inom vilket effekten uteblir, d.v.s. där man kan utsluta en förhöjd tumörförekomst. Det förefaller med andra ord, som om tröskeldoser saknas.

Kan detta bero på att människan är mera strålkänslig när det gäller cancer än alla andra däggdjur? Nej, naturligtvis inte. Men det finns en väsentlig skillnad mellan en heterogen befolkning och försöksdjur.

Försöksdjuren är i regel inavlade — d.v.s. lika som en-äggstvillingar — eller i varje fall genetiskt väldefinierade. De utfodras med samma kost och deras livsbetingelser är i det närmaste identiska.

Så enhetliga förhållanden råder inte i en befolkning. Vi har olika benägenhet att drabbas av cancer beroende på

ärfrliga faktorer, på hur vi lever, på vår miljö och på våra rök- och matvanor.

Detta gör att känslighetsvariationen med avseende på strålframkallad cancer är mycket större i befolkningen än bland försöksdjuren. De samband mellan stråldoser och tumörfrekvenser vi kan få från undersökningar av bestrålade befolkningar blir därför mycket mer utdragna än vad fallet är i undersökningar av motsvarande samband hos försöksdjur.

Vi finner således inte sällan att sambanden mellan stråldoser och tumörfrekvenser får ett "linjärt" utseende när vi undersöker exponerade befolkningar och inte den S-liknande form som motsvarande samband nästan alltid får i undersökningar på djur.

Den här "linjäriteten" är inte något mystiskt förhållande, som enbart råder mellan strålning och cancer. Även andra samband mellan skadliga substanser och deras verkningar uppvisar mera linjära utseenden då undersökningen görs i befolkningar än vad fallet är då de utförs med försöksdjur.

Låt mig ge ett exempel på detta. Utsätter man friska djur eller människor för svaveldioxid, måste man i regel gå ganska högt i luftkoncentration för att kunna iaktta någon effekt. Men ser man efter vad som skett i befolkningar (sådana undersökningar har gjorts i New York, London och Oslo), får man en helt annan bild.

De kurvor över frekvensen dödsfall som funktion av luftens halt av svaveldioxid som man erhållit från de tre städerna, blir lika "linjära" som exempelvis cancer-kurvorna från Japan och det är lika svårt att finna någon tröskelkoncentration för svaveldioxid och mortalitet som det var att utpeka en sådan stråldos för cancermortaliteten i Japan.

Precis som fallet är med strålning och cancer beror skillnaden mellan djurförsök och befolkningar, när det gäller mortalitet och svaveldioxid, helt enkelt på att människor är olika känsliga för gasen i en helt annan utsträckning än vad fallet är med försöksdjur. De som drabbades av de låga koncentra-

tionerna i de nämnda städerna, var främst människor som led av astma, kroniska halskatarrer och hjärt-lung sjukdomar.

Dessutom sker inte en höjning av luftens halt av svavel-dioxid isolerat, utan samtidigt med en sådan förhöjning sker också i verkligheten en ökning av andra luftföroreningar, som säkert bidragit till effekten.

Men så ser verkligheten ut. Härvidlag föreligger det ingen principiell skillnad mellan Japan 1945 och situationerna i de tre städerna. Vid värderingen av risker är det naturligtvis människorna och deras situation vi är intresserade av och inte vad som kan ske med inavlade försöksdjur.

Våra riskuppskattningar när det gäller joniserande strålning grundar sig i allt väsentligt på resultat erhållna från exponerade befolkningar (epidemiologiska data) och då speciellt på observationerna i Japan. Så har inte skett — eller kunnat ske — när det gäller andra risker, på grund av bristen på sådana data och kanske också delvis på att man inte haft den principiella skillnaden mellan djurförsök och epidemiologiska undersökningar klar för sig.

Inom strålskyddet har man sagt sig, att kan vi inte finna några tröskeldoser under vilka vi med bestämdhet kan säga att effekten är obefintlig, har vi inte heller rätt att anta att det existerar någon sådan dos. Men någon exakt kunskap om den mycket låga stråldosens cancerframkallande verkan kan vi inte få utan vi tvingas till att beräkna en s.k. interpolerad risk. Och detta har skett på enklast tänkbara sätt. Man har antagit att det råder en direkt proportionalitet mellan stråldos och av denna ”framkallad” cancerfrekvens och dragit en rät linje i dos-effekt diagrammen från höga doser med klart påvisbar frekvens av cancer ned till den frekvens som förekommer vid den naturliga bakgrundstrålning, som vi alla utsätts för; man har ”linjärt interpolerat” risken.

Metoden innebär självfallet inte någon vetenskaplig bedömning av risken, men den anses av internationella instanser som FN:s vetenskapliga strålkommitté (UNSCEAR)

och den internationella strålskyddskommissionen (ICRP) sannolikt utgöra en överskattning av risken och kan väl därför anses försvarbar när man fastställer strålskyddsnormer.

På det här sättet får man inte bara direkta humandata utan man får också med de känslighetsvariationer, som kan förekomma i en befolkning och därigenom en mer korrekt bild av den verkliga risk människorna i en befolkning löper då de utsätts för bestrålningar. Men samtidigt måste man ha klart för sig, att sådana faktorer, som kan påverka benägenheten att få cancer kan variera från en befolkning till en annan.

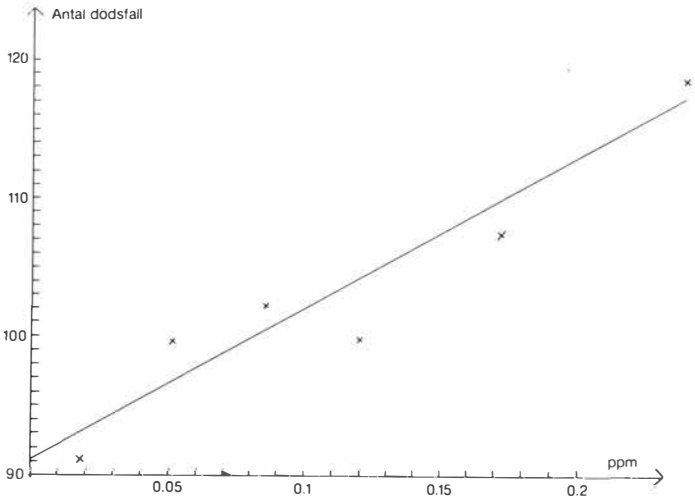
I Japan hade människorna fått svälta under en lång tid, de hade fått hela sin omvärld lagd i ruiner och i Hiroshima utbröt en omfattande tyfusepidemi på hösten 1945. I vad mån dessa förhållanden tillsammans med det faktum att många människor skadats på annat sätt än av strålning (skador av bombernas stötvågor och brännskador) vet man inte.

Vad skillnaden i kriterierna för riskbedömningarna kan betyda, åskådliggörs i en jämförelse mellan antalet dödsfall på grund av exponeringen för svaveldioxid i Oslo och antalet dödsfall i cancer på grund av exponeringar för joniserande strålning, så som den kan beräknas vid en interpolation av risken ur befolkningsdata (se figur 2).

Den högsta tillåtliga luftkoncentrationen av svaveldioxid i Sverige vid långtidsexponeringar är 0,02 ppm (d.v.s. 0,02 cm³ svaveldioxid per m³ luft). Ur kurvan från Oslo skulle detta innebära en överdödlichkeit på inte mindre än c:a 2 procent. Den högsta tillåtliga stråldosen från våra tolv kärnkraftverk skulle, med en interpolerad riskbedömning, innebära en risk för dödlig cancer om c:a 0,001 procent.

Skillnaden är således av storleksordningen 2000; inte därför att riskerna skulle på något sätt vara av olika slag, utan helt enkelt som en följd av att vi använder olika kriterier vid bedömningen av strålningsrisker och av andra faror vi kan utsättas för.

Sättet att beräkna strålrisker har medfört att man infört



Figur 2. Antalet dödsfall i Oslo per vecka som funktion av den under samma vecka rådande medelkoncentrationen av svaveldioxid i luften. Koncentrationen har angetts i enheten ppm (*parts per million*, dvs antalet kubikcentimeter svaveldioxid per kubikmeter luft). De observerade värdena (kryssen) ser ut att någorlunda väl kunna anpassas till en rät linje. Det går inte att ur dessa värden påvisa en ”tröskelkoncentration”, dvs en koncentration av svaveldioxid under vilken man med bestämdhet kan säga att ingen effekt kan uppkomma. Värden i figuren har hämtats från Walter Lindbergs avhandling: *Den alminnelige luftforurensning i Norge*. Norske Røykskaderådet, Oslo 1968.

olika begrepp. Man talar inte om individuella strålrisker utan om statistiska risker och man har infört ett begrepp man kallar för kollektivdos.

Denna dos får man helt enkelt om man adderar de doser alla berörda personer i en befolkning fått motta. Man anger kollektivdosen i *man Sv*. Begreppet som sådant har visat sig svårförklarar för många människor. Låt mig ge ett exempel.

Den för sina utmärkta naturvetenskapliga rapporter kän-

de TV-reportern Hans Rehnvall berättade för mig hur lantbrukarna i Gävletrakten efter Tjernobylylyckan hade funnit att mjölken de fått från sina kor visat sig innehålla litet för mycket radioaktivt cesium (^{137}Cs).

De frågade då myndigheterna om de inte kunde späda ut mjölken med mjölk som inte innehöll någon radioaktivitet och på så sätt komma ned under de nivåer som myndigheterna föreskrivit. Så hade man ju tidigare gjort då det gällde otillåtna substanser i livsmedel.

Men svaret från myndigheterna blev ett nej. Förklaringen var att man mycket väl kunde sänka den individuella risken genom sådana här utspädningar, men på samma gång ökar man antalet konsumenter, vilket medför att risken förblir densamma men nu fördelad bland fler personer.

Det här förstod inte lantbrukarna. De hade uppenbarligen hellre velat tillhöra en stor grupp människor där risken för cancer varit exempelvis 1 på 100 000 än en liten grupp där risken var 1 på 1000. Man förstod helt enkelt inte hur man kunde jämföra individuella och statistiska risker.

Svenska myndigheter hade ju sagt att nedfallet från Tjernobyl i vårt land inte var det minsta farligt för individen. Samtidigt sa man att det ändå var farligt för kollektivet. Det var alltså både ofarligt och farligt på samma gång. Hur man skall förstå detta har nog förblivit en oklarhet, som inte enbart upplevts av lantbrukarna i Gävletrakten.

En annan konsekvens av kollektivdos-tänkandet är ju att de låga stråldoserna kommer att tillmätas en särskilt stor vikt genom att så många fler människor i regel exponeras för låga stråldoser än för höga doser. Detta blir ju en oundviklig följd av att man ”mekaniskt” antar en direkt proportionalitet mellan dos och effekt oberoende av hur låg dosen än må vara.

I slutänden medtas ju så låga interpolerade effekter, att de aldrig skulle betraktas som risker i några andra sammanhang: jämförbara med att resa sig ur en stol, gå i trappor, resa från en ort till en annan o.s.v. Och dessa ”homeopatiska risker” får sin särskilda betydelse därför att de omfattar så

många människor.

En ännu allvarligare konsekvens får det här betraktelsesättet när man vill vidta skyddsåtgärder efter olyckshändelser, som medför bestrålningar. Här är sannolikheten stor, för att motåtgärderna i sig själva innebär större risker än den strålningen kan medföra. Låt mig ge ett exempel.

Cancerförekomsten i våra tre största städer, Stockholm, Göteborg och Malmö är mellan 10 procent och 50 procent högre än i de omgivande länen. Detta faktum har säkert flera orsaker, men de högre koncentrationerna av luftföroreningar spelar säkert en stor roll.

En del personer, som levat i grannskapet av Tjernobylreaktorn sägs ha evakuerats till Kiev. I många fall kan man fråga sig om den sortens evakuering verkligen minskar cancerrisken för de förflyttade. Säkert kan många av de restriktioner rörande konsumtion av radioaktiva livsmedel också inrymmas i kategorin "tveksamma åtgärder".

I det långsiktiga perspektivet har man i Sovjetunionen som lämpligt evakueringskriterium satt gränsvärdet för markbeläggningen till $2,5 \text{ MBq/m}^2$. I den akuta situationen efter olyckan har man satt denna gräns vid en 25 till 50 gånger högre nivå. Till en början har den senare markbeläggningen beräknats ge mellan 1 och 6 mSv/dag om man inte räknar med någon skärmning av strålningen.

Den teoretiskt beräknade cancerrisk som dessa stråldoser ger i det långa loppet är av ungefär samma storleksordning som den faktiskt påvisbara skillnaden i cancerrisk, som föreligger för människor i Stockholm, Göteborg eller Malmö jämfört med den som människorna i de kringliggande länen löper.

Med det betraktelsesätt man har inom strålskyddet, skulle man kunna säga att all mänsklig verksamhet innebär risker och att även sådant, som är nödvändigt för vår överlevnad också innehåller moment, som är negativa för vår hälsa. Men riskbegreppet blir orimligt om allt vi företar oss skulle betraktas som en risk. Det förefaller således rimligt, att vi

inför undre gränser för kollektivdosen, så att vi når bättre samklang med det vi i andra sammanhang uppfattar som en risk.

Nu kan man visa, att det av rent kunskapsteoretiska skäl inte finns några möjligheter att uppnå någon kännedom om den riktigt låga stråldosens biologiska verkan samt att en praktisk gräns för sådan kunskap föreligger redan vid doser omkring den naturligen förekommande bakgrundsstrålning, som vi alla i alla tider exponerats för.

I de här sammanhangen brukar jag föredra, att i stället för höga och låga stråldoser tala om *dominanta* och *icke-dominanta doser*. Med en icke-dominant stråldos (eller koncentration av ett ämne) avser jag då en dos (koncentration), som är så låg att dess verkningar är mindre än de variationer i förekomst som dessa effekter normalt uppvisar mellan olika platser eller vid olika tidpunkter i oexponerade befolkningar.

Det går också att visa att med denna definition kan någon kunskap inte uppnås om den icke-dominanta dosens (koncentrationens) biologiska verkan, eftersom detta skulle kräva en detaljerad kännedom om den exponerade personens eller befolkningens hela framtid samt om alla de faktorer, som kan vara av betydelse för uppkomsten av olika cancerformer.

Det finns forskare, som hävdar att låga stråldoser har en cancer-reducerande verkan. Man har då hänvisat till det välkända förhållandet, att små stråldoser visat sig kunna stimulera de reparationsmekanismer som visat sig kunna "laga" skador på vår arvs massa. Man talar om strålningens "hormesis-effekter". Hur det verkligen förhåller sig härvidlag kan man emellertid, som påpekats, av rent principiella skäl inte veta, därför att doserna som åstadkommit dessa effekter genomgående har varit mycket låga (icke-dominanta).

Problemen med uppskattningar av de låga stråldosernas eventuella biologiska effekter har påpekats av alla de internationella instanser, som utvärderat strålrisker eller utfärdat

rekommendationer rörande högsta tillåtliga stråldoser.

Sålunda påpekar FN:s vetenskapliga strålkommitté (UNSCEAR) att effekten vid mycket låga stråldoser mycket väl kan vara noll. Den internationella strålskyddskommisionen (ICRP) är ännu mer distinkt när den i sin publikation nr 26 varnar för okritiska jämförelser med andra risker (min översättning): användningen av linjära extrapolationer, från en observerad effektfrekvens vid höga doser, kan vara tillfyllest för att uppskatta en övre gräns för en risk, med vilken nyttan av en verksamhet eller risken med en alternativ verksamhet — som inte inkluderar strålexponering — kan jämföras.

Men ju mer försiktigt ett sådant antagande om linjäritet är, ju viktigare blir det att man inser att detta antagande kan leda till en överskattning av strålriskerna, vilket i sin tur kan leda till ett val av alternativ som är mer riskfyllda än den verksamhet som inrymmer strålexponeringar.

I valet av alternativa verksamheter bör därför riskuppskattningarna endast användas med stor försiktighet och i klart medvetande om möjligheten att den verkliga risken vid låga doser kan vara lägre än den som implicit ligger i ett avsiktligt, försiktigt antagande om proportionalitet (slut på citatet).

Inte heller ICRP utesluter att risken vid mycket låga stråldoser kan vara noll. Men, som sagt, om detta kommer vi inte att kunna få någon kunskap, eftersom det inte tycks föreligga någon generell tröskeldos när det gäller cancer vid de doser om vilkas effekter vi verkligen skulle kunna skaffa oss någon vetskap. Därför antar man inom strålskyddet av säkerhetsskäl, att ingen stråldos är så liten, att den inte kan ha en cancerframkallande verkan.

Kärnkraftsrisker och Tjernobyli-olyckan

Som biolog har jag en grundläggande värdering: vid valet av energi-levererande industri bör vi stanna för de alternativ

som är optimala för människans hälsa och hennes miljö. Kravet är rationellt och avvisar sålunda andra tänkbara skäl.

Vi kan inte offra människors liv och hälsa eller åstadkomma oreparabla miljöskador därför att vissa människor av irrationella skäl känner oro för vissa lösningar på våra energiproblem eller därför att en del människor av skilda orsaker önskar en viss nivå på energiförbrukningen.

Detta innebär inte, att t.ex. ett energisparande inte skulle vara utomordentligt viktigt för att kravet skall kunna uppfyllas, men som bl.a. påpekats av chefen för Statens strålskyddsinstitut, Gunnar Bengtsson, råder det ett starkt samband mellan t.ex. elanvändning och människors hälsa, så som den kommer till uttryck i en befolknings medellivslängd. Energisparandet får således inte drivas så långt att det innebär en fara för oss.

Det finns naturligtvis en rad aspekter på min grundvärdering, som indirekt rör vår hälsa och miljö och av vilka flera berörs på andra ställen i den här boken. Jag har därför begränsat mig till de mer direkt biologiska sambanden mot bakgrund av de riskkriterier, som idag allmänt tillämpas.

Mycket av den oro och förtvivlan vi sett i Sovjetunionen och i viss mån i vårt eget land samt mycket av de enorma kostnader som lagts ned på evakuerings- och saneringsarbeten är mer ett resultat av de speciella riskkriterier vi tillämpar inom strålskyddet än av riskens omfattning.

Gör vi tankeexperimentet att olyckan i Tjernobyl hade gällt ett utsläpp av cancerframkallande substanser i stället för radioaktiva ämnen och om vi vidare antar att de tänkta substanserna varit potentiellt lika effektiva cancerframkallare som de radioaktiva, hade säkert inga åtgärder vidtagits i många av de områden från vilka nu människor evakuerats. Ingen i vårt land hade kunnat ana att vi skulle komma att beröras av utsläppet från en anläggning, som låg 150 mil sydost om oss.

De tidigare nämnda olyckorna i Seveso och Bhopal visar just på hur man i sådana fall begränsat intresset till de mer

eller mindre akuta skadorna. Detta är naturligtvis högst otillfredsställande, men exemplet visar med vilka olika måttstockar vi anser oss behöva bekämpa olyckskonsekvenserna.

Det finns emellertid en effekt av Tjernobyl-olyckan, som om den hade åstadkommits på annat sätt och då oberoende av olyckans art, säkert hade observerats och lett till medicinska åtgärder. Under de första veckorna efter olyckan var mängden utsläppt, radioaktiv jod så stor att många ukrainska barn utsatts för betydande stråldoser i sina sköldkörtlar. I många fall kommer dessa stråldoser att leda till så allvarliga skador i barnens körtlar, att de kan ge upphov till rubbningar i produktionen av sköldkörtelhormon. Sådana skador har också redan rapporterats. Även om dessa skador i sig inte är livshotande utan kan medicinskt behandlas, är det inte uteslutet att man i framtiden kommer att kunna påvisa en höjning av antalet fall med sköldkörtelcancer bland dessa barn.

Exemplet med mortaliteten i Oslo som funktion av luftens halt av svaveldioxid, visar att vi i vissa fall accepterar risker, som är flera tusen gånger högre än de vi tillåter när det gäller joniserande strålning. Skillnaden bottenar ytterst i att vi grundar flertalet av våra riskuppskattningar på djurförsök och därvid bortser från att vi i en befolkning ofta saknar de tröskeldoser, som förefaller existera hos de undersökta djuren.

Den slutsats man dragit inom strålskyddet, "att kan vi inte fastlägga en tröskeldos, får vi inte heller anta dess existens", förefaller mig svår att avvisa. Men jag inser samtidigt, att skulle vi allmänt tillämpa denna slutsats på våra bedömningar av vad som kan vara tillåtet eller ej, skulle det mesta i vårt dagliga liv bli omöjligt.

Vi skulle snart finna att praktiskt taget allt vi gör medför en oacceptabel risk. Det innebär till och med stora risker att äta och andas, men ingen lär föreslå att vi skall sluta med det.

All energiutvinning i stor skala innebär risker för oss. Även det som i den lilla skalan kan förefalla tämligen harmförlöst blir undantagsfyllt riskfyllt i den stora. Vi kan inte undvika risker, men vi kan och bör minimera dem.

Kärnkraften och allt som är förenat med den är ingalunda riskfritt och ingen kan "slå sig till ro" med den. Vi hoppas på något, som är bättre. Men skall vi finna ett bättre alternativ, så måste detta bedömas utifrån samma riskkriterier som kärnkraften. Det gör vi inte idag.

Ur hälso- och miljösynpunkt har kärnkraften oavvisliga fördelar framför allt annat vi för närvarande kan erbjuda. Dessa fördelar ligger som sagt inte i att denna energikälla i och för sig är ofarligare än alternativen, utan på att vi kan mäta så extremt små stråldoser och att vi kan pålägga den så strikta säkerhetskrav när det gäller utsläpp av föroreningar, olycksrisker och avfallsbehandling, att ingen annan lösning kan uppvisa något liknande.

Rapporter om strålskador

Inte minst efter Tjernobylolyckan har åtskilliga rapporter nått oss om olika skador. Man har både i Sovjetunionen och i andra länder iakttagit en ökning av cancer och leukemier i djur och människor. Sådana rapporter kom redan under de första två åren efter olyckan och hade inte sällan en läkare eller veterinär som sagesman. Det är lite oroväckande, att representanter för dessa bägge yrkeskårer inte känner till att latenstiderna för cancer och leukemi i större djur och i människan är längre än så.

Man har också studerat hur djurs arvsmassor påverkats av Tjernobylolyckan och hur t.ex. "barnleukemier" i England ökat i omgivningen av anläggningar där man handhaft radioaktiva material. Nu är sådana undersökningar ytterst viktiga för att spåra samband mellan en sjukdom och dess orsaker, men de innehåller också inbyggda svårigheter vid tolkningen.

De kan visa att det föreligger en sam-variation mellan någon faktor och dess verkan, men de kan i sig själva aldrig bevisa ett orsakssamband, vilket emellertid ej innebär att de inte måste studeras med största allvar.

Men låt mig ta ett drastiskt exempel på den tveksamhet

man alltid måste hysa för den här typen av undersökningar. För några år sedan förekom en notis i den välkända tidskriften *Nature*, där det rapporterades att man i Väst-Tyskland hade fått två sam-varierande kurvor med mycket hög korrelation (den s.k. korrelationskoefficienten var 0,98. Absolut sam-variation ger värdet 1 på denna koefficient) och sannolikheten för att kurvorna inte skulle vara korrelerade var mindre än 0,01 procent.

Den ena kurvan angav antalet nyfödda barn i Väst-Tyskland mellan åren 1965 och 1980 och den andra antalet häckande storkpar under samma period.

En annan egenhet i många av dessa undersökningar, t.ex. de som rapporterat om genetiska effekter i djur som utsatts för radioaktivt nedfall från Tjernobylolyckan, är att författarna tycks vara omedvetna om att det finns en tidigare, mycket rikhaltig litteratur inom ämnesområdet där man rapporterat samma effekter och funnit, att det krävs avsevärt mycket högre stråldoser för att effekterna skall uppstå än de som Tjernobylolyckan kan ha förorsakat. Dessutom är det högst osäkert om gängse statistiska metoder alltid kan tillämpas på en viss verkan i en viss befolkning, så som epidemiologiska jämförelser kräver.

Det borde vara ett rimligt krav, då man tycker sig iaktta ett dos-effekt samband som starkt avviker från tidigare observationer, att man diskuterar varför en sådan skillnad i försöksresultat föreligger och vad det är "för fel" med de tidigare undersökningarna.

Låt mig ta upp några av de rapporter, som från olika länder nått oss efter Tjernobylolyckan.

I Sverige har Socialstyrelsen granskat abortfrekvens och antalet havandeskap före och efter olyckan i Tjernobyl. Man konstaterar, att det inte finns "hållpunkter för att någon biologisk effekt kan ses av det radioaktiva utfallet på de graviditeter, som pågick vid olyckan".

Hittills har inte heller sådana effekter setts på graviditeter,

som påbörjats efter olyckan. Men man anser, att det finns skäl att förnya analysen när definitiva data för hela 1987 föreligger och kanske upprepa den när data för 1988 finns tillgängliga.

Den oro som uppenbarligen funnits bland vårt lands kvinnor har visat sig i ett minskat antal ingångna havandeskap och ett ökat antal legala aborter under sommaren och hösten 1986.

I Norge har undersökningar utförts beträffande skador på det centrala nervsystemet hos barn, som fötts under perioden 1 maj 1986 till den 1 juni 1987. Undersökningarna har letts av professor Lauritz Irgens vid Haukelands sjukhus i Bergen och sägs ha antytt en 15—20 procentig ökning av antalet medfödda nervskador bland barnen.

Chefen för det norska strålskyddsinstitutet, Johan Baarli, ställer sig mycket skeptisk till den här rapporten. Han påpekar, att medeldosen från nedfallet från Tjernobylyolyckan endast är c:a 10 procent av dosen från den naturliga bakgrundsstrålningen i Norge.

En ”naturlig” förekomst av skador på det centrala nervsystemet bland barn har många orsaker. Om bakgrundsstrålningen över huvud taget är en av dessa orsaker, måste den rimligen vara en av de mindre. Ett dostillskott, motsvarande 10 procent av bakgrundsstrålningen kan sålunda inte förorsaka en skadeökning, som kan mätas.

I Finland har man konstaterat en förhöjning av antalet för tidigt födda barn i de områden, som varit mest utsatta för det radioaktiva nedfallet från Tjernobyl. I en artikel i British Medical Journal drar emellertid T. Harjulehto och medarbetare från Institutionen för patologi och folkhälsa vid Helsingfors universitet och från Finlands Centrum för strålnings- och nuklearsäkerhet, samma slutsats som dr Baarli i Norge: de låga stråldoserna kan inte rimligen ha förorsakat de alltför tidiga födslarna i Finland. Författarna framhåller

emellertid, att det vore väl motiverat med en grundlig undersökning av de verkliga orsakerna till att barnen fötts för tidigt.

I Sovjetunionen har ett flertal tidningsartiklar förekommit om påstådda, medfödda skador på husdjur, vilket har satts i samband med Tjernobylyckan. Den journalist, som kanske främst behandlat ämnet är Alexander Abdullin.

Abdullin rapporterar om medfödda, mycket spektakulära missbildningar hos kalvar och grisar i ett kollektivjordbruk nära Tjernobyl. Om detta kan följande sägas.

Stråldosen i de här områdena har varit mindre än 10 mSv/år. Vid en så låg stråldos har man aldrig tidigare sett några fosterskador i djur, inte ens om hela denna årsdos givits under den korta period då de olika organen bildas i fostren. En del av de rapporterade skadorna är också av en typ, som knappast kan åstadkommas genom bestrålningar. Skall man i försök få fram en verifierbar ökning av fosterskador, måste doserna under den tid organbildningen pågår i fostren vara 25 till 50 gånger högre än vad årsdosen var i de områden där de skadade djuren fötts.

Dessutom har de övriga 17 kollektiverna i området gått fria från fosterskador bland husdjuren under denna tid, trots att stråldoserna här varit lika höga, som i det drabbade kollektivet.

Nu har medfödda skador bland kalvar och grisar tidigare rapporterats vara rätt vanliga i traktens kollektivjordbruk, vilket av ryska veterinärer förklarats med att avelsarbetet inte varit fullgott och att fodret saknat vissa av de för ett optimalt avelsarbete nödvändiga ämnena. Inte sällan har förhöjda halter av giftiga substanser dessutom kunnat påvisas i fodret.

Svensk sakkunskap har bekräftat att vi i Sverige för inte så länge sedan hade liknande problem med fosterskador bland grisar och kalvar på grund av såväl olämpligt sammansatt foder som på förekomsten av vissa svampgifter.

De sovjetiska experter, som uttalat sig med anledning av

tidningsuppgifterna efter olyckan, har också varit eniga om att de rapporterade skadorna haft andra orsaker än det radioaktiva nedfallet.

Slutsatser

Det finns många orsaker till, att kärnkraften skapat oro. Hit hör självfallet kopplingen till kärnvapen, den i regel negativa journalistiken, inte minst när det gäller våra möjligheter att förvara radioaktivt avfall samt den nya tekniken i sig själv, som man inte förstår och som man inte heller tror att teknikerna riktigt behärskar. Det tycks egendomligt nog vara så, att de mycket stränga säkerhetskriterier, som tillämpas på den joniserande strålningen i sig själva varit den främsta bidragsgivaren till denna oro och ovilja mot kärnkraften: ”måste ni tillämpa så stränga krav, så är väl det här farligare än allt annat vi kan utsättas för” och ”måste ni vidta så enormt omfattande och kostsamma åtgärder efter Tjernobylyckan, så är väl denna den värsta som drabbat människan”.

Grundläggande för beslutet att avveckla kärnkraften i Sverige har ju varit, att den innebär oacceptabla risker för oss och våra efterkommande samt att vi idag har alternativ som är klart bättre i detta avseende. Detta har ansetts vara ett faktum, som inte behöver diskuteras. Inte ens det förhållandet, att vetenskapsmän inom områdena strålskydd och strålningsbiologi har en helt motsatt uppfattning, har haft något inflytande på den allmänna opinionen.

Men innebörden av de interpolerade, statistiska beräkningarna av strålrisker har ju aldrig förklarats för beslutsfattarna och än mindre för andra lekmän. Man har därför inte kunnat inse, att även förnyelsebara energikällor, förbränning av biomassor etc., medför risker som ingalunda är försumbara jämfört med kärnkraftens och att i många fall riskförhållandet kan vara det motsatta. Strålskyddsmyndigheterna och folk som arbetar internationellt inom strål-

skyddsområdet har varit ovilliga att påpeka skillnaderna i bedömningskriterierna. Man har då hänvisat till att jämförelser med andra bedömningsgrunder skulle innebära att man "lägger sig i" andra myndigheters eller organisationers arbete. Både internationellt och nationellt tycks det föreligga "vattentäta skott" mellan de grupper som bedömer strålrisker och sådana som utvärderar andra risksamband.

Den här värderingsskillnaden brukar jag försöka belysa med följande exempel. Om någon frågar om det inte kan innebära en viss dödsrisk att gå i trappor, skulle Världshälsoorganisationen (WHO) svara nekande, med tillägget att en person måste lida av ett mycket allvarligt hjärtfel om han skall dö av en så pass begränsad ansträngning. Så skulle aldrig FN:s vetenskapliga strålskyddskommitté (UNSCEAR) svara. Här skulle svaret i stället bli: "vi kan inte ge några garantier för att en sådan risk kan uteslutas". Vad UNSCEAR menar är att bland exempelvis hundratusen människor kan det mycket väl förekomma en person, som är så hjärtsjuk, att han inte tål den extra ansträngning, som det innebär att gå i en trappa.

Den här liknelsen haltar väl en del, men jag tror ändå, att den förmår belysa det nya säkerhetstänkande, som införts i strålskyddet. Vi beaktar inte risker av det här slaget i vårt dagliga liv, men det är just vad man gör inom strålskyddet.

Låt mig, för att undvika missförstånd säga, att jag delar den riskvärdering, som införts i strålskyddet och uppfattningen att vissa evakueringar liksom många saneringsarbeten har varit oundvikliga i området närmast Tjernobyl-anläggningen. Men underlåtenheten att förklara för människorna vad det är för slags risker man velat skydda dem mot, är oförsvarbar. Inte minst gäller detta de människor, som inte evakuerats.

Nu har det emellertid även bland dessa, icke evakuerade människor kunnat konstateras en rad hälsoeffekter. Men som påpekats av Professor Albrecht Kellerer från Väst-Tyskland, som ledde en internationell rödakorsdelegation under

ett 10-dagars besök i Tjernobyl-området, berodde dessa effekter inte på strålning utan på oro och missförstånd om sjukdomsorsaker. Delegationen blev fullständigt överraskad av den okunnighet som rådde, inte bara bland allmänheten utan också hos myndigheter och läkare om orsakerna till det dåliga hälsoläget. Folk tror att faror lurar överallt, man dricker inte mjölk, man överger sina kreatur och upphör med hönsuppfödning och håller barnen inomhus. Att allt detta skapar hälsoproblem och att skolbarnen rapporterats bleka och mer benägna att drabbas av infektioner, har snarast blivit oundvikligt.

Det kan riktas berättigad kritik mot såväl internationella instanser som nationella myndigheter, vilka har till uppgift att beräkna strålrisker och utfärda rekommendationer i strålskyddsfrågor, dels för att de inte för länge sedan lämnat bättre och begripligare information om sättet att värdera strålrisker, dels för att man efter Tjernobyl-olyckan på grundval av gängse rekommendationer vidtagit ett flertal "skyddsåtgärder" som i många fall förvärrat hälsoläget, jämfört med de faror man velat undvika med dessa åtgärder.

Man har evakuerat omkring 200 000 människor från de värst drabbade områdena i Sovjetunionen. Men evakueringskriterierna har för många varit sådana, att den teoretiskt beräknade cancerrisken varit av samma storleksordning som exempelvis den som i vårt land föreligger för stadsbon jämfört med vad fallet är för landsbygdsbon. Men den sistnämnda, *påvisbara* skillnaden i cancerfrekvens har inte skapat en oro eller föranlett några kostnader liknande dem som de *teoretiska* riskerna i Sovjetunionen givit upphov till.

Det här med statistiska risker har visat sig svårt att göra begripligt. Det har t.ex. väckt opposition, inte minst efter Tjernobyl-olyckan, att man med motiveringen att det bara rör sig om en liten befolkning kan tillåta högre stråldoser än om befolkningen varit stor. "Varför skall jag utsättas för högre stråldoser bara för att jag tillhör en liten befolkning?" Man jämför således en statistiskt beräknad skaderisk med

en personlig. Men i den statistiska beräkningen betraktar man befolkningen som en enhet. Om denna utgörs av t.ex. hundratusen människor, kan en viss stråldos innebära att en person kan komma till skada. Men i en befolkning om tusen personer minskar sannolikheten hundrafalt att detta skall inträffa. Man kan därför här acceptera en något högre stråldos. I bägge fallen är den individuella risken mycket liten, d.v.s. av samma storleksordning som de risker man dagligen utsätter sig för: gå i trappor, äta olika sorts mat, flytta från en ort till en annan etc., med andra ord, risker som är nödvändiga för att vi över huvud taget skall kunna leva i ett nutida samhälle.

Nu måste man emellertid också göra klart, att om den statistiska risken växer, kommer den förr eller senare att utgöra en inte längre försumbar, personlig fara. En sådan situation har uppstått i det närmaste grannskapet kring den förolyckade Tjernobyl-reaktorn och det är därför jag hävdar, att vissa evakuerings- och saneringsåtgärder har varit nödvändiga i reaktorns närmaste omgivningar trots de uppenbara skador av annat slag, som dessa åtgärder visat sig medföra.

De här slutsatserna avser inte att förringa de reella riskerna med kärnkraft och strålning. De finns förvisso. Men jag har velat varna för alternativ, som är betydligt värre för vår hälsa och miljö. Varför kärnkraften för en biolog framstår som något trots allt bättre än de alternativ vi idag har tillgång till är, att man faktiskt kan driva reaktorer med den säkerhet, som ett statistiskt, interpolerat säkerhetstänkande kräver och att man kan mäta förekomsten av radioaktivitet ända ned till sådana nivåer, att de närmast motsvarar dem man skulle få för gifter om man kunde ange dessas koncentrationer i ett fåtal molekyler per kg föda eller m³ luft. Man kan alltså påvisa att det kan föreligga en statistisk strålrisk, vilket sällan är möjligt med andra risker.

Olyckan i Tjernobyl var en tragedi, men den kan i allvarlighetsgrad inte jämföras med exempelvis Bhopal-olyckan i

Indien. Vi är bara okunniga om Bhopal-olyckans sena konsekvenser och bryr oss därför inte om dem. Men de finns där likafullt.

Skall vi rationellt välja energialternativ, måste de biologiska och säkerhetsmässiga synpunkterna komma i första hand, men då skall också bedömningskriterierna vara identiska. Detta är inte fallet idag.

EVELYN SOKOLOWSKI

5 Kärnkraftens säkerhet: Vilka är riskerna och hur skyddar vi oss mot dem?

Atomkärnornas uppbyggnad och inneboende energi

En atomkärnas byggstenar är *neutroner* och *protoner*. De kallas med ett gemensamt namn *nukleoner*. Protonen har en positiv elektrisk laddning och utgör den enklaste atomkärnan — kärnan till väteatomen. Neutronen är ungefär lika tung som protonen men saknar elektrisk laddning. Den kan inte existera någon längre tid som självständig partikel, utan omvandlas till en proton genom radioaktivt sönderfall. Som fri partikel har neutronen en halveringstid på 12 minuter. Som beståndsdel i en atomkärna är den stabil. Om en fri neutron träffar en atomkärna, fångas den ofta in av kärnan, som då blir radioaktiv.

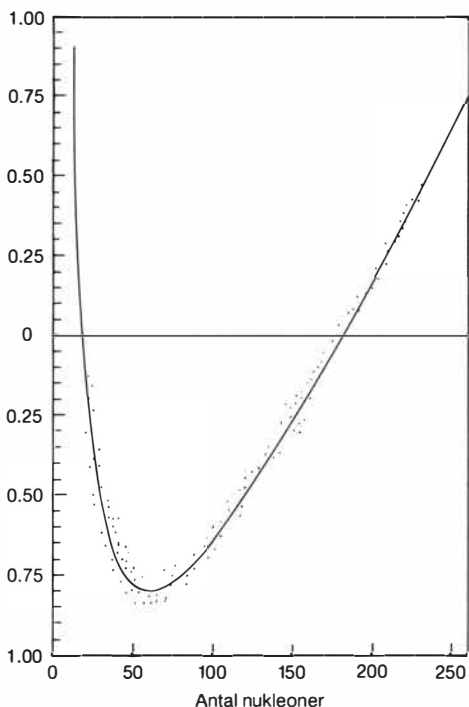
Einstein hade redan i början på 1900-talet genom sin berömda formel $E = mc^2$ konstaterat att massan hos ett system är proportionell mot dess energiinnehåll. Vid kemiska reaktioner är energiutbytena så små att förändringarna i massa inte kan påvisas.

När man på 1930-talet systematiskt började mäta massan hos olika atomkärnor, fann man att massan per nukleon inte är konstant som man kunnat vänta sig. Den är stor för lätta kärnor och minskar sedan snabbt till ett minimum för att åter successivt öka. (*Figur 1*)

Kurvan i figur 1 avspeglar kärnornas energiinnehåll per nukleon. En förflyttning från någon av kurvans ändpunkter

Evelyn Sokolowski

(Massa per nukleon - 1)



Figur 1 Massan per nukleon är stor för lätta kärnor och minskar sedan till ett minimum för att successivt åter öka.

mot minimet skulle alltså innebära en minskning av kärnornas energiinnehåll och därmed en frigörelse av energi. En sådan förflyttning kan åstadkommas antingen genom att lätta kärnor slås samman till tyngre (*fusion*), eller att tunga kärnor spjälkas upp i lättare (*kärnklyvning*, *fission*).

Båda processerna används i kärnvapen. På ett kontrollerat sätt har man hittills bara lyckats använda fissionsprocessen.

Att åstadkomma fission av tunga atomkärnor är ingen enkel sak. Kärnorna måste till att börja med tillföras energi för att de skall klyvas. De mest lämpade energibärare, som

lätt kan ta sig fram till atomkärnorna, är fria neutroner. Eftersom sådana inte finns i naturen, måste de åstadkommas på konstlad väg. Dessutom är den energi de kan föra med sig i praktiken begränsad.

Ju tyngre atomerna är, desto mindre energi krävs för att klyva dem. Neutroninducerad klyvning i stor skala är i praktiken möjlig bara för ett fåtal former — ”isotoper” — av de allra tyngsta grundämnena. Men dessa isotoper är alla radioaktiva och har med tiden omvandlats till lättare ämnen, så att de inte längre finns kvar i naturen. Undantag är två isotoper av uran: uran-238 och uran-235. Båda är visserligen radioaktiva, men halveringstiden är av samma storleksordning som jordens geologiska ålder. För uran-238 är halveringstiden 4,5 miljarder och för uran-235 0,71 miljarder år. Denna skillnad har gjort att betydligt mer av uran-235 hunnit försvinna, så att det idag bara utgör 0,7 procent av naturligt förekommande uran.

För att klyva uran-238 krävs att neutronerna har mycket hög hastighet, som är omöjlig att upprätthålla i praktiken. Uran-235 däremot kan klyvas också av långsamma neutroner.

Kärnbränsle

Slutsatsen är att det i naturen numera bara finns ett enda kärnslag, uran-235, som kan användas som kärnbränsle. Hade vår utvecklingshistoria varit några miljarder år fördröjd, eller hade halveringstiden för uran-235 varit några gånger kortare, hade förhållandet mellan uran-235 och -238 varit så lågt att de praktiska förutsättningarna för kärnkraft — eller kärnvapen — saknats. (Ett konstgjort ämne med liknande egenskaper som uran-235 är plutonium-239, men det kan bara framställas i större mängder i reaktorer, med uran som utgångsmaterial).

Trots det som sagts ovan är uran ett relativt vanligt grundämne, som förekommer t.ex. i våra urberg och i havsvatten.

Av intresse är idag bara rikare fyndigheter. De nu kända fyndigheter ur vilka uran kan utvinnas till lågt pris räcker för att försörja dagens kärnkraftverk med bränsle i c:a 90 år. Läger man till detta sådana ännu ej upptäckta fyndigheter som bör finnas av geologiska skäl, blir uthålligheten åtminstone 300—400 år. (Uthålligheten, beräknad på basis av dagens förbrukning, är större för uran än för naturgas och olja).

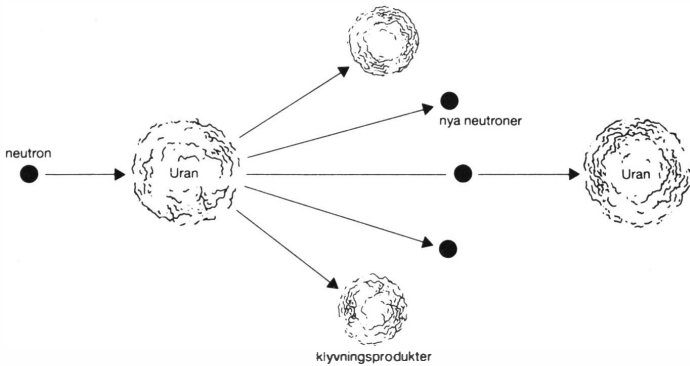
Tillgången på uran utgör alltså ingen begränsning ens vid en mångdubbling av kärnkraftkapaciteten i världen.

Fissionsprocessen

När en uran-235-kärna träffas av en neutron, klyvs den vanligtvis i två delar, de s.k. *klyvningsprodukterna*. Samtidigt frigörs 2—3 nya neutroner som kan föra processen vidare i en kedjereaktion (*figur 2*). Utan detta senare förhållande hade det inte varit möjligt att utnyttja kärnkraften. I fissionsprocessen frigörs ungefär 100 miljoner gånger mera energi än i en kemisk förbränningsreaktion, som när kol förbränns till koldioxid. Det innebär att såväl bränsleförbrukningen som mängden förbränningsprodukter (avfall) blir extremt liten.

Trots att uranet i en kraftreaktor bara innehåller c:a 3 procent uran-235 behöver en stor reaktor inte tillföras mer än omkring 30 ton bränsle per år. Som jämförelse kan nämnas att motsvarande kolkraftverk årligen förbrukar 3,5 miljoner ton bränsle. Som en följd av den låga bränsleförbrukningen är kostnaden för kärnkraften relativt oberoende av uranpriset. Det är dessutom möjligt att hålla beredskapslager av kärnbränsle som tryggar elförsörjningen också vid långvarig avspärning.

Den energi som frigörs i fissionsprocessen uppträder till största delen som rörelse hos klyvningsprodukterna, som slungas isär med hög hastighet. De bromsas emellertid mot kringliggande atomer, varvid rörelseenergin omvandlas till



Figur 2 I klyvningsreaktionen frigörs 100 miljoner gånger mera energi än i en kemisk förbränningsreaktion. De nya neutroner som frigörs kan i sin tur ge nya kärnklyvningar i en kedjereaktion.

”friktionsvärme” — bränslet blir alltså varmt. En mindre del av fissionsenergin finns kvar som ett inre energiöverskott i de lätta atomkärnor som utgör klyvningsprodukterna. Detta överskott gör de sig senare av med i form av strålning; de är alltså *radioaktiva*.

Kedjereaktionens förlopp är beroende av vad som händer med de nybildade neutronerna. I detta avseende skiljer sig processen i en reaktor på ett fundamentalt sätt från den i en atombomb. I bomben utgörs bränslet av nästan rent (>90 procent) uran-235 (eller plutonium-239). Så gott som samtliga frigjorda neutroner hittar då nya kärnor att klyva, och processen får ett oerhört snabbt, lavinartat förlopp. I en reaktor däremot är det klyvbara uranet starkt uppblandat med uran-238 och andra ämnen, som absorberar neutroner utan att klyvas och därmed ”stjäl” dem från kedjereaktionen. På grund av den stora utspädningen av klyvbara kärnor i en reaktor blir dessutom tiden mellan successiva kärnklyvningar ungefär 10 000 gånger längre än i en bomb. *Dessa grundläggande skillnader gör att en reaktor omöjligt kan explodera som en atombomb.*

Den explosion som inträffade i Tjernobyl var inte att jämföra med en kärnvapenexplosion: den mekaniska förödelsen var t.ex. inte större än att de intelligande reaktorblocken kunde fortsätta driften. Däremot spreds stora mängder radioaktiva ämnen.

Kärnkraftens säkerhetsproblem: de radioaktiva ämnena

Kärnkraftens säkerhetsproblem sammanhänger framför allt med de radioaktiva klyvningsprodukterna. Urankärnan kan dela sig på många olika sätt, och man har bland klyvningsprodukterna funnit flera hundra olika kärnslag, som tillhör ett stort antal grundämnen med skilda fysikaliska och kemiska egenskaper. Strålningen från de radioaktiva ämnena kan skada levande organismer, och det grundläggande säkerhetskravet är att dessa ämnen måste hållas isolerade från omvärlden till dess att de avgett sin strålning.

På grund av klyvningsprodukternas vitt skilda egenskaper ger de upphov till olika problem. Låt oss exemplifiera detta med tre klyvningsprodukter som är viktiga i strålskyddssammanhang:

- Xenon-133 är en ädelgas och därmed obenägen att reagera kemiskt. Den är därför svår att hålla kvar i t.ex. filter, men samtidigt ger den ingen markbeläggning om den kommer ut i omgivningen. Den fastnar inte heller i kroppen om man andas in den. Halveringstiden är 5 dygn.
- Jod-131 är en kemiskt reaktiv "halogen". Dess strålning är relativt "mjuk" och når människans vävnader framför allt om joden tas upp i kroppen genom inandning eller via livsmedel. Det är särskilt näringskedjan gräs-ko-mjolk som kan ge stora jodintag. Jod som kommit in i kroppen ansamlas i sköldkörteln. Om man befärrar utsläpp av radioaktiv jod, kan man skydda sig genom att äta inaktiv jod ("jodtabletter") som mättar sköldkörteln och blockerar

upptag av ytterligare (radioaktiv) jod. Halveringstiden för jod-131 är 8 dygn.

- Cesium-137 är kemiskt besläktat med kalium. Det utsänder "hård" strålning som kan nå människan även om strålkällan finns utanför kroppen, t.ex. i form av markbeläggning. Dessutom kan också cesium tas upp i kroppen, t.ex. via livsmedel, framför allt kött och fisk. Cesium ansamlas då i musklerna. Om inget nytt cesium tillförs, försvinner det ur kroppen genom ämnesomsättningen på c:a 7 månader. Cesiums radiologiska betydelse sammanhänger med att det är en av de mest långlivade klyvningsprodukterna, med en halveringstid på 30 år.

Dessa exempel visar att sifferuppgifter om aktiviteten (d.v.s. antalet sönderfallande atomkärnor per sekund, uttryckt i becquerel) i t.ex. ett utsläpp inte säger mycket om utsläppets farlighet. Denna kan bedömas bara om man vet vilka ämnen som ingår i utsläppet och hur de beter sig i ekosystemet. Ett stort becquereltal från kortlivade ädelgaser kan t.ex. vara helt harmlöst.

Även om klyvningsprodukterna svarar för den vida övervägande delen av radioaktiviteten i en reaktor, är ännu en kategori radioaktiva ämnen av intresse, nämligen de som bildas när neutroner absorberas i olika ämnen utan att detta leder till klyvning. Sådana neutronreaktioner i uran resulterar i *transuraner*. Till skillnad från klyvningsprodukterna är flera av transuranerna extremt långlivade, med halveringstider på tiotusentals år och mera. Transuranerna är av betydelse främst för att de utgör den långlivade komponenten i avfallet och därmed blir avgörande för tidsperspektivet på avfallshanteringen. Från drift- och haverisynpunkt är de av mindre intresse då de i mycket ringa utsträckning förmår frigöra sig från reaktorn.

Barriärer mot radioaktiva utsläpp

För att kunna diskutera säkerheten mot radioaktiva utsläpp, måste vi något gå in på kärnkraftverkens konstruktion. Vi skall då hålla oss till *lättvattenreaktorerna*, som utgör över 80 procent av världens kraftreaktorer.

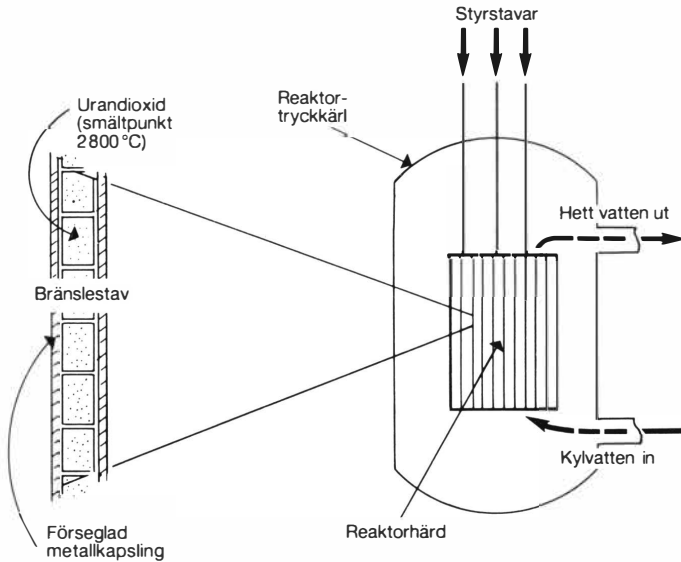
Klyvningsprodukterna (och transuranerna) hålls instängda genom ett antal barriärer (figur 3). Den innersta utgörs av *bränslets egen kristallstruktur*. I nästan alla kraftreaktorer är bränslet i form av urandioxid, som är ett keramiskt material med hög smältpunkt (2 800 °C). Oxidpulvret är pressat till centimeterstora, kompakta cylindrar, s.k. kutsar. Kristallstrukturen utgör ett nätverk med avsevärd förmåga att hålla kvar de mera svårflyktiga klyvningsprodukterna. Det är bara om kristallstrukturen upplöses, som stora mängder radioaktiva ämnen frigörs ur bränslet.

Nästa barriär utgörs av *bränslekapslingen*. Urankutsarna staplas i långa metallrör — kapslingsrör — som försluts gastätt i båda ändarna. De uranfyllda rören utgör bränslestavarna, som fungerar som ”doppvärmare” i reaktorn.

Bränslestavarna, hopbuntade till bränslepatroner, är nedsänkta i cirkulerande vatten, som tar upp värmeenergi från bränslet och transporterar den till de delar av anläggningen där den kan omvandlas till nyttig energi — mekanisk energi i ångturbinerna, som driver elgeneratorerna. För att denna energiomvandling skall bli effektiv krävs att kylvattnet håller högt tryck. Det omsluts därför av ett tryckkärl — *reaktortanken* — som utgör en tredje barriär kring de radioaktiva ämnena.

Bränslestavarna med det omgivande vattnet utgör *reaktorhärden*. En omständighet av säkerhetsmässig betydelse för dessa reaktorer är att kylvattnet har en dubbel funktion. Förutom att det kyler bränslet är vattnet nödvändigt för att hålla igång kedjereaktionen.

De neutroner som frigörs har från början hög hastighet. Vid dessa neutronhastigheter gynnas onyttiga absorptions-



Figur 3 Fysiska barriärer som håller kvar de radioaktiva ämnena.

processer, särskilt i uran-238, framför fissionsprocessen, och kedjereaktionen kan inte hållas igång. Konkurrensförhållandet förbättras om neutronerna bromsas till lägre hastighet ("moderas"). Ett effektivt sätt att bromsa neutronerna är att låta dem studsas mot vattnets lätta väteatomer. När effektutvecklingen i reaktorn ökar och vattnet värms, minskar dess densitet och därmed mängden bromsande väteatomer. Kedjereaktionen dämpas och effektökningen avstannar. Teknikerna talar om "negativ effektåterkoppling". Detta är ett exempel på en "passiv" säkerhetsegenskap, som bygger på naturlagar snarare än på tekniska konstruktioner.

Radioaktiva utsläpp vid normal drift

Vid normal drift är nästan all radioaktivitet instängd i bränslet. I en kraftreaktor finns ungefär 50 000 bränslestavar, och

man måste räkna med att enstaka stavar kan bli defekta, så att små mängder lösliga eller lättflyktiga klyvningsprodukter tar sig ut i kylvattnet. Dessutom finns i kylvattnet små mängder korrosionsprodukter från yttre rörledningar och komponenter. När dessa ämnen passerar reaktorhärden absorberar de neutroner och blir radioaktiva.

För att begränsa radioaktiviteten i kylvattnet leder man hela tiden en del av vattnet genom reningsfilter. Dessa filter utgör sedan huvuddelen av det ”medelaktiva” driftavfallet. Det är nästan uteslutande fråga om kortlivade radioaktiva ämnen. Det dominerande är kobolt-60, med en halveringstid på 5 år.

Ett visst radioaktivt läckage från kylvattenkretsarna går inte att undvika. Det rör sig dels om gasformiga ämnen, främst ädelgaser, som sugas av från vattnet och släpps ut genom anläggningens skorsten, dels om vatten som först samlas upp i sumpar och sedan släpps ut i havet. Utsläppen är mycket små och noggrant kontrollerade.

Strålskyddsmyndigheten har satt upp som norm att det årliga tillskottet i stråldos till de mest utsatta kringboende inte skall överstiga 10 procent av den genomsnittliga naturliga stråldosen (som i sig kan variera från plats till plats med flera hundra procent). Det har inte inneburit något problem att hålla sig till denna norm — i själva verket är dostillskotten från de svenska kärnkraftverken som mest någon procent av den genomsnittliga bakgrunds-dosen. Den radioaktiva omgivningsbelastningen från ett kärnkraftverk är normalt inte större än från ett kolkraftverk, där naturligt radioaktiva ämnen frigörs från kolet vid förbränningen.

Haveriförlopp

Vad kan då leda till att barriärerna förstörs, så att radioaktiva ämnen frigörs i stora mängder? Den enda mekanism som kan åstadkomma detta i en lättvattenreaktor är att det blir obalans mellan värmeutveckling och kylning så att bränsle-

stavarna överhettas, med kapslingskador och i värsta fall bränslemältning som följd.

Detta kan inträffa på två sätt:

Effektutvecklingen, d.v.s. kedjereaktionen, går ur kontroll. Det normala sättet att vid behov avbryta kedjereaktionen är att föra in *styrstavar* i reaktorhärden. Dessa stavar innehåller material med stor benägenhet att absorbera neutroner och göra dem otillgängliga för kedjereaktionen. Ett sådant material är bor. Om alla styrstavar förs in i härden vid s.k. *snabbstopp*, avbryts kedjereaktionen på några sekunder. Snabbstoppsystemet är ett av kärnkraftverkets säkerhetssystem, som vi skall återkomma till.

Otillräcklig kylning. Kylningen av bränslet blir otillräcklig, t.ex. om kylvattnet går förlorat eller om vattencirkulationen hindras. Orsaker kan vara rörbrott, läckande komponenter eller pumpbortfall. Tyvärr räcker det inte att i ett sådant fall snabbstoppa reaktorn. Även när kedjereaktionen avbrutits, fortsätter de radioaktiva ämnena i bränslet att avge strålning som omvandlas till värme. Denna *resteffekt* utgör omedelbart efter avställningen 6 procent av den tidigare drifteffekten. För en stor kraftreaktor med en värmeeffekt på 3 000 MW (megawatt) blir resteffekten 180 MW, vilket kräver avsevärd kylning. Resteffekten avtar snabbt och har efter något dygn minskat mer än tio gånger.

Hur uppnås säkerhet?

De två budorden för säker reaktordrift blir alltså:

”Se till att kedjereaktionen kan stoppas”

och

”Se till att det finns tillräckligt med kylvatten”.

Hur kan man då vara säker, när man är beroende av felbe-

nägna tekniska komponenter som handhas av ofullkomliga människor?

Svaret ligger i den säkerhetsfilosofi som fått benämningen *djupförsvar*. Den innebär att säkerheten ligger på flera nivåer, så att man har mångdubbla skyddsnet.

I botten finns den *haveriförebyggande nivån*. Den innebär en säker grundkonstruktion (t.ex. stabilitet genom negativ effektåterkoppling) och stora säkerhetsmarginaler. Vidare innefattar den rutiner för kvalitetssäkring, bl.a. systematiska provnings- och underhållsprogram och noggrann anläggningsdokumentation. Hit hänförs också kraven på kompetent personal.

Om ändå ett tillbud inträffar — på grund av tekniska eller mänskliga fel —, fångas det upp på *nästa nivå, den haverimotverkande*, som förhindrar att tillbudet utvecklas till en olycka. På denna nivå finns ett antal *säkerhetssystem*. De träder automatiskt i funktion om viktiga anläggningsparametrar, såsom tryck, temperatur, effekt eller strålningsintensitet, avviker från föreskrivna värden. Exempel på säkerhetssystem är det redan nämnda snabbstoppsystemet och systemen för tillförsel av nödkylvatten om det ordinarie kylvattnet skulle gå förlorat.

Säkerhetssystemen är utformade efter ytterligare tre principer:

- *Redundans* (= övertalighet), som innebär att flera system finns för en och samma funktion.
- *Diversifiering* (= mångfald), som innebär att de redundanta systemen är utformade efter skilda fysikaliska principer, så att de inte drabbas av samma systematiska fel.
- *Rumslig separation*, som förhindrar att samtliga redundanta system slås ut genom en och samma yttre händelse, såsom brand, översvämning eller sabotage.

Dessa principer illustreras väl av snabbstoppsystemet för kokarreaktorn Forsmark-3:

De 169 styrstavarna är kopplade i 8 grupper som manövreras oberoende av varandra. Om snabbstopp utlöses, skjuts alla grupperna in i härden med hydraulsystem. Vid drifttemperatur räcker det om hälften av styrstavarna går in. Hydraulsystemen backas upp av långsammare elektromekaniska inmatningssystem (motordrivna skruvar), som sätts igång automatiskt på samma gång som hydraulsystemen. Samtidigt varvas också kylvattenpumparna ner automatiskt, vilket ökar kokningen i härden och får kedjereaktionen att avstanna genom att moderatormängden minskar. Slutligen finns två separata kretsar genom vilka operatörerna kan spruta in neutronabsorberande borlösning i härden. Nedvarvningen av pumparna i kombination med borinsprutningen är tillräcklig för att stoppa reaktorn även om samtliga styrstavar skulle fastna i utdraget läge.

Om ett störningsförlopp inte skulle hejdas på den haverimotverkande nivån utan utvecklas till en fullgången reaktorolycka, finns slutligen *den konsekvenslindrande nivån*, som håller följderna för omgivningen inom acceptabla gränser. På denna nivå finns framför allt *reaktorinneslutningen*, en gastät konstruktion av stål och betong som omsluter reaktorn. I inneslutningen finns vattenstrilar som kyler innandömet och tvättar ut och binder den radioaktivitet som frigjorts till inneslutningsatmosfären.

Inneslutningen utgör också ett effektivt skydd mot yttre åverkan. I USA har man t.ex. försöksvis låtit ett raketdrivet Phantom-plan krascha mot en modellinneslutning, som inte skadades nämnvärt.

Djupförsvaret är som princip numera internationellt vedertagen, men säkerheten beror i hög grad på detaljutformningen.

Säkerhetsanalys

Djupförsvarsprincipen innebär, om den är väl genomförd, att ett haveri måste föregås av ett stort antal fel. Detta kan

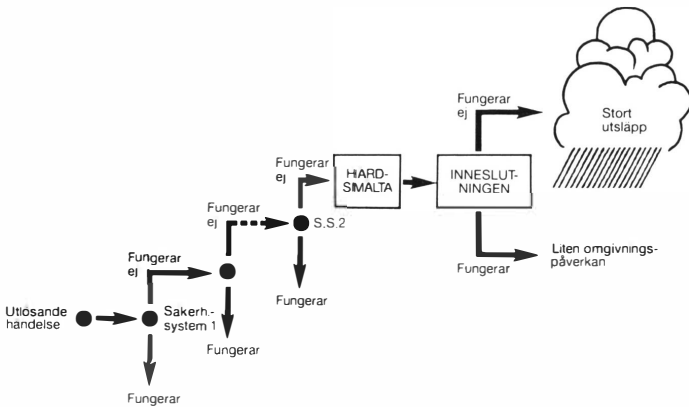
åskådliggöras schematiskt med s.k. händelsetråd (*figur 4*). Ett händelsetråd har sin rot i en utlösande störning, t.ex. bortfall av stationens kraftförsörjning, eller brott i en kylvat-tenledning, som säkerhetssystemen är dimensionerade för att klara. Det säkerhetssystem som först skall ta vid kan antingen fungera som avsett, eller felfungera. Dessa två alternativ utgör den första förgreningen i felträdet. Om systemet fungerar, har störningsförloppet fångats upp; om inte, går det vidare till nästa förgrening, o.s.v. Först om ett stort antal förgreningar utmynnat i felfunktion, kan anläggningen hamna i ett läge som medför hårdsmälta. För att hårdsmältan sedan skall leda till stora utsläpp till omgivningen, måste också inneslutningens integritet gå förlorad.

Man kan sätta siffror på sannolikheten för felfunktion vid varje förgrening. I de flesta fall är dessa sannolikheter rätt väl kända, bl.a. från den återkommande provningen av olika komponenter.

Låt oss ta som exempel de dieselaggregat som skall hjälpa till att trygga stationens kraftförsörjning. De är 4 till antalet och provas regelbundet. Om sannolikheten för att ett aggregat inte skall starta vid anfordran är 1 på 10, blir sannolikheten för att samtliga aggregat skall felfungera 1 på 10 000. (Utöver dieslarna finns också ett gasturbinkraftverk att tillgå vid varje svenskt kärnkraftverk. Normalt kan stationen också producera sin egen kraft vid bortfall av yttre nät).

Ovanstående mycket enkla exempel illustrerar en synnerligen användbar men komplicerad teknik som kallas probabilistisk säkerhetsanalys (PSA). PSA har sitt ursprung i rymd- och flygtekniken. Den innebär en systematisk kartläggning och kvantifiering av alla tänkbara felsekvenser (händelsetråd) som kan leda till allvarlig hårdskada. Denna systematiska genomgång underlättar upptäckten av möjliga felförlopp som annars kunnat förbli obeaktade. Man kan också identifiera de förlopp som dominerar riskbilden och till vilka de säkerhetshöjande åtgärderna bör koncentreras.

Det ligger i sakens natur att ”utlösande händelser” och



Figur 4 Förenklad händelseträd.

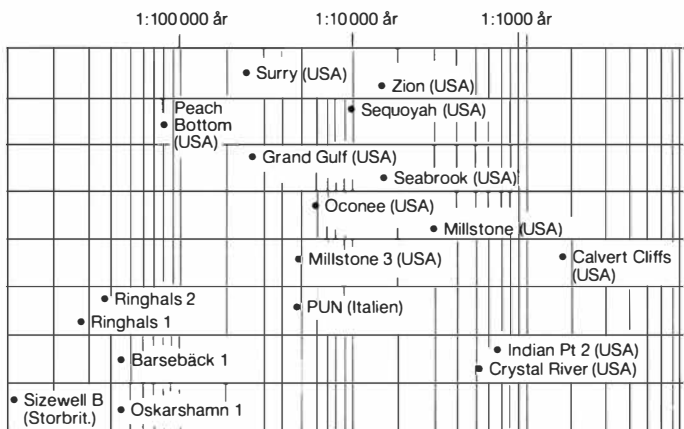
isolerade fel är betydligt vanligare än långt gångna felssekvenser. Erfarenheten av sådana enstaka händelser är givetvis användbar vid bedömningen av helhetsbilden, bl.a. med hjälp av PSA. Varje händelse som berör ett säkerhetssystem, också vid provning, måste sålunda rapporteras till Kärnkraftinspektionen. Ett antal dylika händelser är väntade, och utgör ingen indikation på dålig säkerhet. Tre till fyra snabbstopp per år och reaktorblock betraktas t.ex. som normala. En betydande del av de rapporterade störningarna härrör från turbinkretsarna och berör inte reaktorn. Massmedias dramatisering ("nödstop") saknar oftast all täckning.

PSA är en mycket resurskrävande teknik, som dessutom förutsätter en mängd data om den specifika anläggningen. Metoden tillämpades först i kärnkraftsammanhang i början på 1970-talet och har under 80-talet utvecklats och förfinats, så att den nu är ett utomordentligt värdefullt verktyg för att förbättra säkerheten.

Kärnkraftsäkerheten i världen

De probabilistiska säkerhetsanalyser som genomfördes på olika anläggningar under första delen av 1980-talet visade på oväntat stora skillnader i säkerhetsstandard, också inom gruppen "lättvattenreaktorer" med samma grundkonstruktion. (Figur 5).

Under senare år har det utvecklats en betydande internationell samstämmighet i säkerhetsfrågor. Inom FN-organet IAEA:s rådgivande säkerhetskommitté, INSAG, har man nyligen enats om målet att sannolikheten för allvarlig härdskada i befintliga kärnkraftverk skall vara mindre än 1



Punkterna är resultat av PSA-analyser som gjorts på 1980-talet. Krysset visar den samlade erfarenheten till dags dato. (Punkterna är inte helt jämförbara, då analyserna gjorts vid olika tidpunkter på olika stadier av säkerhetsutvecklingen. Dessutom innefattar vissa analyser risken för "yttre händelser", såsom jordbävning, medan andra inte gör det. Dessa skillnader ändrar dock inte helhetsbilden. För de svenska kärnkraftverken är analyserna framför allt en verifiering av att risken ligger under en viss nivå. Några absolutvärden under denna nivå har inte eftersträövats. Värdena är därför konservativa och ger ingen rangordning mellan kraftverken.)

Figur 5 Beräknad sannolikhet för härdsmita i olika lättvattenreaktorer.

på 10 000 driftår, och i nya verk mindre än 1 på 100 000 driftår. (Samtliga svenska verk uppfyller, enligt Kärnkraftinspektionen, redan det senare kravet).

Idag finns drygt 430 kärnkraftblock i drift i 27 länder. För många av dessa bedöms den tekniska livslängden bli mer än 40 år, så att deras sammanlagda drifttid kan bli uppemot 20 000 år. Om alla verk låg i nivå med INSAG:s säkerhetsmål skulle alltså några ytterligare härdsmläteolyckor inte komma helt oväntat. Dessutom finns anläggningar som inte uppfyller målet. Mot detta måste emellertid ställas en fortlöpande förbättring av säkerheten.

Icke desto mindre understryker räkneexemplet betydelsen av den konsekvenslindrande nivån i djupförsvarsstrategin. Här finns fortfarande brister internationellt. I Europa är ett åttiotial reaktorer i drift utan inneslutning. I Sverige förbättrade man under 80-talet funktionen hos de befintliga inneslutningarna genom att införa filtrerad tryckavlastning (se kap. 6). Flera länder följer nu Sveriges exempel.

Med de tekniska lösningar som idag finns, och med rätt inställning till de krav som kärnkraften ställer, kan riskerna bemästras. Den mest angelägna uppgiften är att verka för en internationellt jämn och hög säkerhetsstandard.

Under senare år har det skapats nya förutsättningar för internationellt samarbete. Förutom FN:s atomenergiorgan IAEA finns nu också en sammanslutning för världens samtliga kärnkraftföretag — World Association of Nuclear Operators, WANO. En viktig uppgift för dessa organisationer är att snabbt sprida kunskap om inträffade störningar, så att upprepningar kan förhindras. IAEA organiserar också internationella expertgrupper som besöker olika kraftverk och på ort och ställe utvärderar deras säkerhetsstandard, t.ex. i fråga om drifrutiner, personalutbildning, strålskydd och haveriberedskap. Dessa utbyten bidrar inte bara till att brister uppmärksammas utan också till att god praxis blir internationell norm.

Några viktiga begrepp med anknytning till radioaktivitet

RADIOAKTIVITET betecknar egenskapen hos vissa atomkärnor att göra sig av med överskottseenergi genom att avge *strålning*. Processen kallas *radioaktivt sönderfall*. När kärnan har avgett sin strålning (vilket kan ske i flera steg), har den blivit *stabil* och ofarlig från strålnings-synpunkt.

STRÅLNING som utsänds vid radioaktivt sönderfall kan vara av olika slag:

Alfastrålning utgörs av tunga, elektriskt laddade partiklar. De når inte långt från strålkällan — i luft bara några centimeter. De stoppas av ett papper eller av överhuden. Ett alfastrålande ämne är därför farligt bara om det kommer in i kroppen. Bara ett fåtal radioaktiva ämnen i en reaktor avger alfastrålning.

Betastrålning utgörs av lätta partiklar, elektroner. De når i luften 10—20 meter från strålkällan, men stoppas av tjocka kläder eller av fönsterglas.

Gammastrålning utgörs av elektromagnetiska vågor, besläktade med röntgenstrålning men i allmänhet med kortare våglängd. Den har stor genomträngningsförmåga men kan skärmassas av med bly, betong eller några meter vatten.

HALVERINGSTID Den takt i vilken ett visst radioaktivt ämne sönderfaller är given av naturen och kan inte påverkas. Den tid det tar för antalet radioaktiva kärnor att minska till hälften är alltid densamma och kallas för ämnets *halveringstid*. Efter två halveringstider återstår en fjärdedel av kärnorna, efter tre halveringstider

en åttondel o.s.v. Efter tio halveringstider har det radioaktiva ämnet minskat till ungefär en tusendel.

I ett ämne med kort halveringstid ger ett visst antal kärnor hög strålningsintensitet under kort tid. Med lång halveringstid ger samma antal kärnor låg strålningsintensitet under lång tid. Vanliga, icke-radioaktiva ämnen kan ses som extremfall med oändligt liten strålningsintensitet under oändligt lång tid.

AKTIVITET är beteckningen för antalet kärnor som sönderfaller per sekund. Enheten är *becquerel* (Bq).

STRÅLDOS är ett mått på den energi strålningen avsätter i kroppens vävnader och därmed också på dess biologiska verkan. Den vanligaste enheten är *sievert* (Sv). De doser människor i praktiken utsätts för ligger oftast kring tusendels sievert, d.v.s. *millisievert* (mSv).

Det finns inget entydigt samband mellan aktivitet (becquerel) och stråldos (sievert).

För att beräkna stråldosen måste man veta vilket radioaktivt ämne det är fråga om, hur mycket energi och vad slags strålning det avger, vilken halveringstid det har och hur dess strålning kan nå människan.

OLOF HÖRMANDER

6 Stora kärnkraftsolyckor

I Sverige har kraftföretagen ansvar för att kärnkraftverken underhålles och drives på sådant sätt att haverier inte inträffar. Tillsynsmyndigheterna skall se till att kraftföretagen lever upp till sitt ansvar.

Som chef för Statens kärnkraftinspektion hade jag under en period uppgiften att granska säkerhetsförhållanden vid verken. Då jag nu reflekterar över möjliga olyckor i reaktorer har jag därför utgångspunkter i erfarenheter från denna period. Jag kommer att behandla stora olyckor i betydelsen reaktorhaverier, som leder till utsläpp av radioaktiva ämnen i sådan omfattning, att de har väsentliga konsekvenser för omgivningen.

I rapporten "Säkerhets- och strålskyddsläget vid de svenska kärnkraftverken" anger Statens kärnkraftinspektion, SKI,: "Vetenskapligt sett går det inte att helt utesluta haveriförlopp som leder till större utsläpp." Större syftar här på större än de begränsade mängder, som kan passera ut genom reaktoinneslutningens filtreringssystem. För att en oönskad händelseutveckling skall kunna uteslutas på vetenskaplig grund måste den strida mot vedertagna naturlagar. Det är inte fallet för kärnkraftverken lika litet som för andra tekniska system. En viktig fråga är då, om det finns hållbara förutsättningar för att en olycka med omfattande omgivningspåverkan skall kunna uteslutas från praktisk synpunkt. Med praktisk avser jag, att sannolikheten för att en sådan olycka skulle kunna utvecklas är så utomordentligt låg att

man kan bortse från den eller tolerera risken i jämförelse med andra risker och med beaktande av det värde produktionen har. Jag återkommer till denna fråga efter en genomgång av inträffade och befarade stora olyckor vid kärnkraftverk.

Olyckor i kärnkraftverk

Kraftproduktion i civila kärnkraftverk har nu en 30-årig historia. Under denna tid har reaktorerna uppnått en sammanlagd drifttid på omkring 5000 år. Två svåra olyckor har inträffat, haveriet i Three Mile Island (TMI), Harrisburg, USA 1979 och olyckan i Tjernobyl, Sovjet 1986. Jag skall sammanfatta vad som hände, effekter och lärdomar.

Three Mile Island

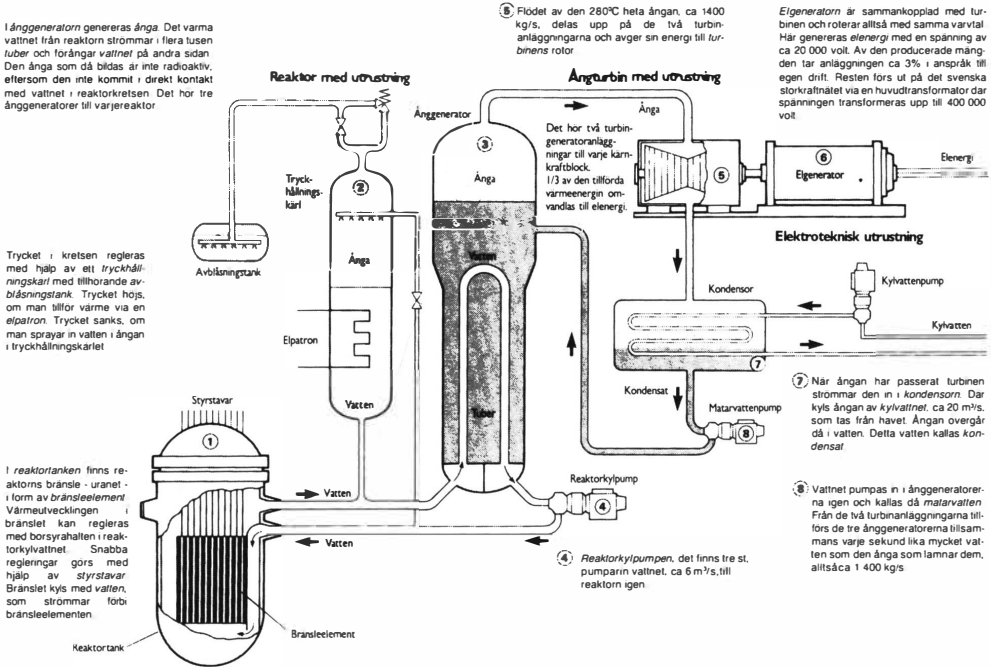
TMI-haveriet är det svåraste haveri som inträffat i någon lättvattenreaktor. Av denna reaktortyp finns två principiellt olika utförandeformer, tryckvattenreaktorn och kokarreaktorn. Det svenska kärnkraftssystemet innehåller tre tryckvattenreaktorer av amerikansk konstruktion och nio kokarreaktorer av svensk konstruktion. Den havererade TMI-reaktorn var av tryckvattentyp. Den hade varit i drift endast några månader då haveriet inträffade.

Figur 1 visar en principbild av anläggningen. Endast huvudkomponenterna är inlagda i bilden. Reaktorn hade emellertid ett djupförsvarssystem så som beskrivits i kapitel 5.

Den händelsekedja som ledde till haveriet började med att matarvattenpumparna stoppade. Turbinen snabbstoppade då automatiskt. En sådan situation är förutsedd. Automaten startar hjälpumpar för att upprätthålla nödvändig kylning. Detta skedde fullt korrekt. Reaktorsystemet utlöste därpå snabbstopp, d. v.s. att styrtavarna gick in i härden och avbröt kedjereaktionen, kärnklyvningen. Allt detta skedde fullt enligt förutsättningarna för säkerhetssystemets funk-

Hur fungerar en tryckvattenreaktor (PWR)

PWR=Pressurized Water Reactor



Figur 1 Hur fungerar en tryckvattenreaktor (PWR = Pressurized Water Reactor).

tion. Däri ingick också att säkerhetsventilen på tryckhållningstanken öppnade. Så långt var allt gott och väl.

Den nämnda säkerhetsventilen skulle åter stänga och hade fått manöverimpuls. Men den fastnade i öppet läge. Den kom nu att under ett par timmar läcka ut vatten. Operatörerna trodde att den var stängd, eftersom indikeringslampa visade att stängning beordrats. Det fanns ingen lägesindikering på själva ventilen.

Personalen missleddes till att tro, att reaktorsystemet var överfyllt med vatten, då i verkligheten motsatsen var fallet. I det läge som inträtt började ett säkerhetssystem att pumpa in vatten för att kyla härden. Även detta säkerhetssystem fungerade enligt den djupförsvarsprincip som beskrivits i kapitel 5. Operatörerna stängde emellertid av vattentillförseln efter någon minut i tron att man höll på att överfylla systemet. Härden frilades på grund därav under några timmar, innan man fick situationen under kontroll. Bränslet i härden hade då allvarligt skadats. Ytterligare problem med pumpar uppstod, kylning uteblev, vätgas bildades genom reaktion mellan metall och vatten. En vätgasbubbla i reaktortanken tilldrog sig under lång tid huvudintresset. I efterhand har det visat sig att explosionsrisk genom reaktion mellan väte och syre aldrig förelåg i tanken.

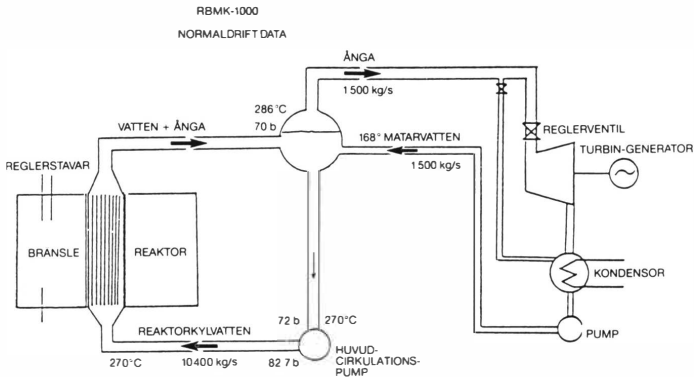
I sammanfattning kan vi konstatera: Underhållsfel utlöste säkerhetssystemen som fungerade fullt korrekt. Det ödesdigra var att situationen missuppfattades och felaktiga ingripanden gjordes. Viktiga orsaker till detta låg i brister i instrumenteringen och i driftspersonalens utbildning.

Strålningspåverkan i omgivningen blev försumbart låg. Av reaktorns aktivitetssinnehåll läckte endast en mindre mängd inerta gaser — ädelgaser — ut genom ventilationssystemen. De stråldoser befolkningen fick till följd av detta var inte mätbara. Modellberäkningar har fått tillgripas för att uppskatta eventuella sena cancerfall såsom följd av olyckan. Radioaktivt jod kom ut i mycket små mängder. Övriga radioaktiva ämnen stannade inom reaktorbyggnaden. Denna

yttersta barriär visade sig alltså motstå påfrestningarna. Den till en del smälta härden stannade i reaktortanken. Kylningen återställdes i tid för att förhindra en genomsmältning av tankens väggar och därmed större påfrestning för reaktorinneslutningen.

Den hittills enda stora olyckan i kärnkraftreaktor av lättvattentyp slutade sålunda utan nämnvärd strålningspåverkan i omgivningen. Däremot vållade den oro som uppstod psykiska störningar och därmed hälsoeffekter. För kraftföretaget innebar händelsen en stor ekonomisk förlust, för kärnkraftbranschen globalt en förtroendekris. Den medförde varierande politiska beslut, i Sverige efter folkomröstning att avveckla kärnkraften.

Positiva effekter låg i säkerhetshöjande åtgärder, baserade på erfarenheterna. För Ringhalsverkets tryckvattenreaktorer infördes snabbt förbättringar, bl.a. av instrumenteringen. Den av regeringen tillsatta reaktorsäkerhetsutredningen gjorde ingående analyser som utmynnade i ett 49-punkters program. Däri ingick bl.a. förstärkning av kärnkraftinspektionen, risk- och säkerhetsanalyser med användning av probabilistiska metoder och utförda efter hand för varje reaktorblock, utsläpps begränsande åtgärder, poängtering av människa-maskin-frågor, utökad och fördjupad utbildning för underhålls- och driftspersonal, preciserade kompetenskrav för skiftspersonal, forskning kring policy, rollfördelning och organisation som säkerhetsfaktorer och beaktande av mänskliga faktorn. Flertalet av förslagen har genomförts i det praktiska arbetet. De viktigaste, t.ex. säkerhetsanalys och konsekvenslindrande åtgärder har diskuterats i kapitel 5. Insatserna innebär minskad risk för haverier och nya möjligheter att förhindra utsläpp om ett haveri trots allt skulle inträffa. Resurser för människa-maskin-frågor byggdes upp och är alltså ett område med betydande utvecklingsmöjligheter, nu under benämningen samspelet människa-teknikorganisation (MTO).



Figur 2 RBMK-reaktor.

Tjernobyl

Reaktorerna i Tjernobyl är av en helt annan typ än de som finns i vårt land. De kallas RBMK, är av sovjetisk konstruktion och finns endast inom Sovjet. *Figur 2* visar en översiktlig bild av en RBMK-reaktor.

Karakteristiskt för RBMK är att neutronerna modereras i grafit och att kylningen sker med vatten, som under genomströmning kokar i trycktuber. Dessa innehåller bränsleelementen. Fysikaliskt viktigt är att reaktorn i vissa lägen har s.k. positiv temperaturkoefficient. Det betyder att om kylvattentillförseln minskar, så att andelen ångbubblor i vattnet ökar, ökar kärnklyvningens intensitet. Temperaturen stiger då ytterligare, reaktionen skenar och går ur kontroll. Detta förlopp kan inte inträda i lättvattenreaktorer av den typ vi har i Sverige. Tvärtom motverkar ökad ångbildning kärnklyvningen. Reaktionen är således självhämmande. Det är av stor vikt att hålla detta i minne då man jämför RBMK-reaktorn i Tjernobyl och andra sovjetiska stationer med reaktorerna i de svenska kärnkraftverken.

Den just beskrivna händelsen i TMI inträffade i reaktor under full drift. I Tjernobyl var reaktorn på väg mot av-

ställning. Under perioden med nertagning av effekten skulle ett experiment genomföras. Syftet var att utröna om turbin-generator vid kraftbortfall och utebliven ångtillförsel genom inneboende levande kraft skulle kunna förse viktiga säkerhetssystem med elström under en kort period. Givna förutsättningar för provet beaktades inte. Det genomfördes trots att man drivit reaktorn in i ett förbjudet driftområde med ovan nämnda risker för "skenande effektutveckling".

För att undvika avbrott i provet hade dessutom säkerhetssystem satts ur spel. Intresset koncentrerades på att genomföra provet. Denna fixering ledde till att kunskapen om risker sköts i bakgrunden. Då effekten började stiga, utlöste operatören kontrollstavarna för att stoppa reaktionen. Mekanismen hos dessa var emellertid allt för långsam i förhållande till den snabba effektstegringen. Två explosioner hördes. Brinnande material kastades ut ur reaktorn. Brand utbröt men kunde kontrolleras. Försöken att med vatten kyla den glödande härden misslyckades emellertid. Under följande dagar dumpades material över härden från helikopter. Den dämpande effekten var god. Efter några dagar ökade emellertid temperaturen åter med nya utsläpp av radioaktiva ämnen som följd. Kylning med kväve infördes, varigenom vidare utsläpp kunde förhindras.

Av reaktorns radioaktiva ämnen strömmade enligt litteraturuppgifter följande ut till omgivningen: ädelgaser (xenon och krypton) 100 procent, jod 20 procent, cesium drygt 10 procent. Långvarig effekt har cesiumisotopen 137. Det tar 30 år innan halva antalet atomer sönderfallit och aktiviteten därmed halverats. Det är framför allt cesium som genom markbeläggning gör stora områden i Sovjet oboeoliga också nu fyra år efter olyckan. Även i Sverige är verkningarna i dag och för lång tid framåt märkbara.

Sammanfattningsvis kan vi säga, att olyckan inträffade då reaktorn var i ett labilt läge under genomförande av ett experiment. Kärnreaktionen var mycket snabb, kontrollsystemet alldeles för trögt för att hejda utvecklingen. Effekten

förstärktes av kemiska reaktioner och brinnande grafit. Väderleksläget var sådant, att det fritt utströmmande radioaktiva materialet spreds över mycket stora områden. Antalet människor som omkom av omedelbara skador var 31, alla brandmän eller driftpersonal. Något hundratal krävde sjukhusvård. Till dessa akuta skador kommer de allvarliga skador, som under lång tid, kanske under generationer, kan leda till cancerfall. Alltjämt kommer varierande uppgifter om skadornas omfattning.

Generaldirektören för International Atomic Energy Agency, Hans Blix, nämnde i ett anförande i april 1990 att internationellt samarbete pågår för att undersöka olyckans effekter. Utöver IAEA är WHO och FAO delaktiga i studien. Expertis har samlats från många länder för att samverka med sovjetisk expertis i en bred insats. Målet är att skapa klarhet i de mer långsiktiga konsekvenserna och om de lämpligaste åtgärderna.

Jag hänvisar också till Gunnar Walinders kapitel "Hur farlig är strålningen?". Som han nämner har omkring 200 000 människor evakuerats från drabbade områden, en del på avstånd ända upp till 200 km från kraftverket. Klart är att olyckan vållat svårt mänskligt lidande, omfattande markbeläggning med bl.a. livsmedelsproblem som följd och stora ekonomiska förluster.

Svenska regeringen tillsatte en expertgrupp för utredningar rörande Tjernobylolyckan och de slutsatser som kunde dras rörandesvensk kärnkraft. Slutsatsen var att på grund av skillnader i reaktorkonstruktion och förhållanden vid anläggningarna ger Tjernobylhändelsen inte anledning till omprövning av riskbilden avseende haverier i svenska reaktorer. Några områden framhölls såsom särskilt viktiga att vidareutveckla, däribland samspelet mellan människa, teknik och organisation (MTO) och dess betydelse för säkerheten. Detta framhölls som nämnts även efter TMI-händelsen. Den likhet som finns mellan de båda händelserna ligger inom detta område: organisation, instruktioner, reaktioner i stressitua-

tion, risken att förvärpa en situation genom felaktigt handlande.

Följderna för Sverige låg i restriktioner inom livsmedelsområdet och framför allt i ökad rädsla för kärnkraftens risker. Med hänvisning till medborgarnas oro beslöt statsmakterna att tidigarelägga kärnkraftavvecklingen så att två aggregat ställes av vid 1990-talets mitt. Ett stort antal utredningar beställdes för att belysa förutsättningarna för och konsekvenserna av en sådan nedläggning av reaktorer.

Beredskapsfrågorna mot kärnkraftolyckor utreddes ånyo. Syftet var att ta hänsyn också till de risker som utländska anläggningar innebär för områden i Sverige.

Tekniska åtgärder har vidtagits för att minska riskerna i RBMK-reaktorerna. Sålunda har snabbstoppsystemet förbättrats, stabilitetsförhållandena förändrats och utpassagen för ånga från skadade kanaler vidgats. Personalutbildning och samspelsfaktorer med tekniken har beaktats i ökad omfattning och nya administrativa rutiner har införts. Risken för upprepning av Tjernobykatakstrofen har därmed enligt sovjetisk utsago reducerats.

Praktiskt försumbar risk?

Energikommissionen behandlade 1977/78 risker inom olika system för energiförsörjningen. En förutsättning för ställningstagandena var "att ingen del av energisystemet får medföra oacceptabla miljö-, hälso- eller säkerhetsrisker." En slutsats var: "Riskerna förknippade med mycket osannolika olyckor har bedömts ligga inom godtagbara gränser . . . Vad gäller utbyggnaden av kärnkraften bör de kärnkraftblock, som f.n. är under uppbyggnad fullföljas." Detta var majoritetens uppfattning, mot vilken några reservationer avgavs. (Vid tidpunkten i fråga var 6 kärnkraftblock i drift och 6 i olika utbyggnadsstadier.) Kommissionens förslag behandlades i en proposition, som vad avsåg kärnkraften återtog då TMI-haveriet inträffat.

Efter folkomröstningen fastställde sedan riksdagen: "Högst tolv kärnkraftblock kan därmed utnyttjas under sin tekniska livslängd, som bedömes vara 25 år . . . Säkerhetsaspekter skall avgöra i vilken ordningsfölj kärnkraftblocken skall tas ur drift. Den sista reaktorn i Sverige skall stängas senast 2010."

Reaktorsäkerhetsutredningen angav att för ett tolvreaktorprogram skulle sannolikheten för haverier med utsläpp av samma begränsad omfattning som vid TMI eller ännu mindre kunna uppgå till sex procent under en 25-årsperiod. Osäkerheten täcker enligt utredningen in ett område 10 gånger högre till 10 gånger lägre. Utredningen fortsätter: "De olyckor som ger mera allvarliga konsekvenser kräver större utsläpp från inneslutningen. De kan t.ex. ge några hundra fall av akuta strålskador och några hundra fall av cancer årligen under några årtionden framåt. Det belagda området kan uppgå till flera tusen kvadratkilometer. Vill man försöka uppskatta en sannolikhet för olyckor av detta slag finns ingen annan möjlighet än att utgå från de teoretiska säkerhetsanalysernas resultat.

För de antagna svenska programmen skulle sannolikheten för olyckor av detta slag bli av storleksordningen tiondels procent. Osäkerheten täcker även här upp till tio gånger högre eller lägre värden." Beträffande den maximala olyckan uppges att 100-tals till 1000-tals kvadratkilometer kan bli obrukbar mark för många år.

De relaterade besluten och deras bakgrund ger en idé om vad som tidigare ansågs vara en tolerabel risk med beaktande av nyttoaspekten och alternativa produktionsmöjligheter. Genom ständiga småförbättringar i vardags säkerheten och som följd av åtgärder bl.a. enligt reaktorsäkerhetsutredningens förslag har hårdhaveririskerna sedan sänkts till mindre än 10 procent av vad den var då. Risken för utsläpp vid inträffat hårdhaveri bör ha reducerats med en faktor 10 till 50. Produktionens nytta har inte förändrats. Kunskaperna om alternativen till kärnkraften har utvecklats. Dock har inte alter-

nativens nackdelar, såsom risken med avfall, t.ex. koldioxid, vilken fanns med i bilden för tio år sedan, kunnat undanröjas. Allt detta indikerar att den tidigare bedömningen av vad som är tolerabel risk borde stå sig i dag, särskilt som den ovan beskrivna utvecklingen lett till betydande marginaler i förhållande till den riskbild, som angavs av energikommisionen och reaktorsäkerhetsutredningen och som låg till grund för att kärnkraftens risker ansågs godtagbara.

Eftersom miljö- och hälsoinverkan från normaldrift av kärnkraftverk är gynnsam i jämförelse med andra sätt att producera elenergi är det den stora olyckan som är avgörande för om samhället kan tolerera riskerna vid reaktordrift och om individer finner det acceptabelt att leva i områden, som kan påverkas av svåra olyckor med stort radioaktivt utsläpp till omgivningen.

Den utveckling av säkerheten, som jag har diskuterat illustreras i skriften "Efter Tjernobyl", där det visas att den beräknade risken för härdskador i svenska reaktorer minskat med en faktor 10 eller mera under perioden 1975 till 1984. Några stora förändringar har inte framträtt i de analyser som gjorts efter 1984.

När det gäller flertalet osannolika men enligt analyserna ändå möjliga haverier i kärnkraftverken kan man med resonemang av den typ som förts här eller genom jämförelse med annan verksamhet komma fram till att den risk individer utsättes för är liten i förhållande till de risker man löper i vardagslivet. Man borde därför kunna betrakta risker, orsakade av flertalet tänkbara haverier i svenska reaktorer som praktiskt försumbara.

En annan fråga gäller olyckan med maximalt möjliga konsekvenser. Den hänföres till området restrisker, definierade som haverier av sådan art att de konsekvenslindrande installationerna — *Filtra* resp. *Multi-venturiskrubber* — med sina mekanismer för att säkerställa inneslutningens hållbarhet inte fungerar. Det skulle kunna bero på förbipassage genom att inneslutningen eller anslutande rör trots allt ska-

dats. Det är denna olyckstyp som jag inledningsvis åsyftade och som SKI inte kan utesluta på vetenskaplig grund.

Hur stora skulle då konsekvenserna kunna bli i ett sådant det värsta tänkbara fallet? I den nämnda rapporten av SKI—SSI rörande säkerhets- och strålskyddsläget beskrives de i sammanfattningen så här: ”Konsekvenserna av en sådan restriskolycka skulle kunna bli större i Barsebäck än i Ringhals och framförallt än i Forsmark och Oskarshamn. Orsaken till denna skillnad är Barsebäcks geografiska läge, framför allt närheten till Malmö- och Köpenhamnsregionerna med deras stora befolkning. Någon större stad som Köpenhamn, Helsingborg eller Lund, skulle nästan säkert beröras av långvarig utrymning. Osäkerheten i sådana jämförelser av risk- och konsekvensbild är dock stor. I detta avseende finns ingen skillnad mellan reaktorer vid ett visst kraftverk. Vid en bedömning av konsekvensbilden vid s.k. restriskolyckor förtjänar det påpekas att såväl teoretiska beräkningar som erfarenheterna från Tjernobyl visar att vid ogynnsamma väderförhållanden kan beläggningar av cesium som avsevärt begränsar markanvändningen under lång tid uppkomma i områden på upp till omkring 200 km avstånd från reaktorn. Här kan t.ex. flera kvadratmil behöva utrymmas under generationer. Stora delar av östra Svealand ligger inom detta avstånd från Forsmarksverket och stora delar av östra Götaland på motsvarande avstånd från Oskarshamnsverket. På samma sätt ligger stora delar av sydligaste Sverige liksom Danmark inom detta avstånd inte bara från Barsebäcksverket utan också från Ringhalsverket och ett antal reaktorer i norra Tyskland. Flera av dessa utländska reaktorer har varken inneslutningar eller utsläppsbegränsande system som kan mäta sig med de svenska.”

Att risken är större för utsläpp från flera utländska reaktorer än från de svenska är klart dels därför att inneslutningar saknas, dels i en del fall därför att haveririsken är större. Men vilka olyckor i svenska kärnkraftverk skulle kunna få sådana konsekvenser som här angivits? I SKI-SSI-rap-

rapporten nämns bland restrisker att reaktortank spricker. För att detta skall leda till stort utsläpp fordras så snabb uppbyggnad av trycket i inneslutningen att tryckavlastning inte kan ske utan väggarna trycks sönder. En sådan eller liknande händelse i andra komponenter förutsätter att kontrollen eftersatts eller att man försummat att åtgärda påvisade fel. Rapporten nämner också flygplansstörtningar in i verket och jordbävningar, men ingetdera anses ha annat än marginell betydelse i sammanhanget. Man konstaterar: "Komplexa kombinationer av tekniska fel och mänskliga felbedömningar eller felaktiga ingripanden torde svara för en stor del av bidragen till restriskerna."

Omfattande instruktioner har utarbetats för hur man skall hantera problem i en olyckssituation. Skiftlagen tränas i simulatorerna hos Kärnkraftsäkerhet och Utbildning AB-KSU. Redan vid anläggningarnas konstruktion infördes 30-minuters regeln. Den innebär att operatörerna under inledningsskedet av ett haveriförlopp inte skall behöva ingripa utan ha tid att tänka sig för. Även därefter är utrustningen sådan att mänskliga felgrepp kan fångas upp. Det är inte så som det sagts i debatten, att kärnkraftstekniken skulle ställa krav på ofelbara människor. Däremot fordras välutbildade människor med stark vilja och motivation att genomföra sina uppgifter i underhåll, drift och tillsyn av anläggningarna.

Min personliga uppfattning är att vi i dag har sådan personal i kärnkraftbranschen, att man på grund därav och anläggningarnas goda utformning och kondition kan praktiskt taget bortse från den stora olyckan med katastrofala långvariga effekter. Den fara som finns är att vaksamheten slappnar antingen genom att de som på olika sätt svarar för säkerheten invaggas i passiviserande säkerhetskänsla eller att en olämplig avvecklingsstrategi verkar i samma riktning. Tillsynsmyndigheterna har följdriktigt utpekats vidmakthållande av kompetensen i kärnkraftverkens organisationer såsom ett kritiskt område. Detta konstaterande kan utsträckas att gälla också tillsynsmyndighetens kunnande och förmåga att upprätthåll-

la en konstruktiv säkerhetsdrivande dialog med företagen. I basen ligger att utbildningsväsende och forskningsresurser kan hållas på hög nivå trots avvecklingsplanerna med tillfredsställande rekrytering av unga förmågor, som kan falla in i de luckor som uppstår genom pensioneringar eller genom övergång till annan verksamhet. Om dessa förutsättningar håller betraktar jag risker med katastrofala omgivningseffekter som försumbara.

Framtidsvy

Kärnkrafttekniken är en ung teknologi. Den utvecklades snabbt. Säkerhetskraven ledde till komplexa anläggningar med av varandra oberoende och från varandra separerade säkerhetssystem. Anläggningskostnaderna blev därför höga. Ekonomin löstes genom att stora enheter byggdes. Underhållsverksamheten är omfattande, ibland med svåra reparationer. Höga krav ställs på kompetens för drift och underhåll.

Utvecklingen av de nuvarande reaktortyperna följer huvudlinjerna: kostnadsminskning genom bl.a. förenklad konstruktion, kontrollutrustning för säkrare kommunikation mellan människa och teknisk utrustning samt ytterligare skärpning av säkerhetskraven.

En ny generation av reaktorer har varit under utveckling i försöksskala under många år. Konceptet PIUS har lanserats av ABB ATOM. De två huvudbudord som presenterats av Evelyn Sokolowski i kapitlet Kärnkraftens säkerhet uppfylles med hjälp enbart av naturlagarna. Härden är nedsänkt i en stor balja med vatten. Cirkulation utan pump kan klara kylningen. Det finns alltså alltid tillräckligt med kylvatten. Bassängvattnet innehåller bor, som stoppar kedjereaktionen. Vid störningar strömmar detta vatten utan operatörsingripande in i härden. Kedjereaktionen stoppas.

Ett annat reaktorsystem med ökad säkerhet är en högtemperaturreaktor med bränsle i form av små kulor, urandioxid med keramiskt hölje. Även andra förslag bearbetas i olika utvecklingsstadier.

Gemensamt för de nämnda reaktorerna är att de kan byggas i mindre enheter än nuvarande 1 000 MW-storlekar. Detta jämte enklare skötsel gör dem synnerligen betydelsefulla i den förväntade utbyggnaden av kärnkraft i länder med mindre utvecklad industri och infrastruktur än de nu högindustrialiserade länderna. Den fortsatta kärnteknikutvecklingen kan bidra till den globala energiförsörjningen praktiskt sett utan risk för haverier med härdsmälta och radioaktivt utsläpp som följd.

Referenser

- DsI 1986:11 *Efter Tjernobyli*, rapport från expertgruppen för kärnsäkerhet och miljö.
- ISSUES in Science and Technology: Alvin M. Weinberg, *Engineering in Age of Anxiety*.
- Pershagen, B., *Light Water Reactor Safety*, Pergamon 19XX.
- SKI TR 89:21 *Kärnsäkerhet i utveckling*.
- SKI Teknisk rapport 90:1, SSI-rapport 90-1; Säkerhets- och strålskyddsläget vid de svenska kärnkraftverken.
- SOU 1978:17 *Energi, betänkande av energikommissionen*.
- SOU 1979:86 *Säker kärnkraft? betänkande av reaktorsäkerhetsutredningen*.

STEN BJURSTRÖM

7 Säkerheten vid hantering och förvaring av kärnavfall

Inledning

Det radioaktiva kärnavfallet har oförtjänt fått en etablerad ställning som ett av samhällets besvärligaste avfallsproblem. I början av 1970-talet, när avfallsfrågorna först aktualiserades, nöjde man sig med att översiktligt utvärdera problem och möjligheter och konstaterade då att potentialen till säkra lösningar var stor. Man hade inte anledning att förvänta sig de krav på detaljerad bevisning i förväg som samhället senare skulle komma att ställa. Aldrig tidigare hade ju samhället ställt kravet att man skulle visa att en verksamhet för all framtid är ofarlig. Det faktum att många frågor var nya och obearbetade och att man saknade fakta för många detaljer, då det ej funnits anledning att forska på dessa, kom att tolkas som att problemen är mycket svåra att lösa.

För de flesta kärnkraftländer finns behov av att slutförvara högaktivt långlivat avfall först några årtionden in på nästa sekel. Följaktligen har ännu inte några anläggningar byggts. Förberedelserna är dock igång på flera håll. De förseningar som uppstått på vissa håll tas emellertid till intäkt för att avfallsfrågan saknar realistiska lösningar. Till en del är detta synsätt berättigat om man ser hindrande opposition, politik och rättsprocesser lika viktiga för genomförandet som tillgång till en tillräcklig teknisk och vetenskaplig kunskapsbas.

Inget specialavfall har ägnats så stor uppmärksamhet och

utvecklingsmöda som det radioaktiva avfallet. I länder med kärnkraft — och inte minst i Sverige — har mycket stora forsknings- och utredningsinsatser lagts ned sedan 1970-talet.

För det kortlivade driftavfallet finns och byggs idag anläggningar i industriell skala, vilket torde kunna tolkas så att för denna typ av avfall är problemen avklarade.

När det gäller det långlivade och initialt högaktiva avfallet, t.ex. använt kärnbränsle, är alla viktiga frågeställningar analyserade och även debatterade i sakkunnigkretsar. Genomförbarheten av säker förvaring har officiellt utvärderats i några länder och inom internationella organisationer som IAEA, OECD/NEA samt EG. Det finns en entydig uppfattning att s.k. geologisk förvaring i stabila formationer ger en mycket säker isolering. Genomfört arbete har lett till en nyanserad och god uppfattning om behov av skydd och möjligheter att med stora säkerhetsmarginaler isolera avfallet, även om förutsättningarna i framtiden skulle drastiskt ändras. IAEA:s, OECD/NEA:s m. fl. rekommendationer är därför att kärnkraftländerna nu målmedvetet skall satsa på att tillämpa vunna kunskaper genom att bygga erforderliga anläggningar för att ta hand om avfallet.

För Sveriges del har officiella utvärderingar beträffande möjligheterna att slutförvara högaktivt och långlivat avfall skett vid flera tillfällen, senast 1984. Då accepterade regeringen, efter bred remiss till expertgrupper i Sverige och utomlands, att den s.k. KBS3-metoden är säker med hänsyn till kraven i kärntekniklagen. Sedan dess har denna metod och andra möjligheter undersökts i ett omfattande forsknings- och utredningsprogram.

Kärnavfallshanteringen i Sverige

Ansvar för att kärnavfallet ges en säker hantering och slutförvaring åvilar enligt kärntekniklagen främst innehavare av kärnkraftreaktor, d.v.s. kraftbolagen Vattenfall, Fors-

marks Kraftgrupp AB, OKG AB samt Sydkraft. Dessa företag har i sin tur bildat och äger gemensamt *Svensk Kärnbränslehantering AB*, SKB, som givits uppdraget att åt kraftbolagen sköta kärnavfallsfrågorna.

För detta planerar, bygger, äger och driver SKB erforderliga system för hantering och förvaring av använt kärnbränsle och radioaktivt avfall.

SKB svarar även för att det radioaktiva avfallet omhändertas när kärnkraftverken rivs samt för omfattande forsknings-, utrednings- och demonstrationsverksamhet för slutförvaringen av använt kärnbränsle.

Det övergripande ansvaret åvilar staten. För detta och för tillsyn av verksamheten finns under Miljödepartementet tre myndigheter, *Statens Kärnbränslenämnd*, SKN, *Statens Kärnkraftinspektion*, SKI samt *Statens Strålskyddsinstitut*, SSI.

Kostnaderna för avfallshantering och slutförvaringen skall betalas av dem som utnyttjar kärnkraften. Detta sker genom att staten tar ut en avgift av kärnkraftföretagen så länge verken är i drift. Avgiften inbetalas till Statens Kärnbränslenämnd som förvaltar medlen.

Kärnbränslenämnden i sin tur betalar ut ersättningar till SKB via kärnkraftföretagen för de kostnader som uppstår för hantering och förvaring.

Avgifterna tillsammans med ränteinkomster från fonderade medel skall täcka alla framtida kostnader för forskning och utveckling, transporter och hantering, förvaring och rivning av kärnkraftverken. Slutförvaring av allt avfall beräknas vara genomförd c:a år 2060.

Varje år sker en beräkning av kostnaderna som grund för regeringsbeslut beträffande nästkommande års avgifter. Avgiften varierar för kärnkraftbolagen och är 1990 i medeltal 1,9 öre/kWh. Sedan 1980 har c:a 14 miljarder SEK avsatts varav c:a 7 miljarder utnyttjats för byggande och drift av existerande system samt för forskning, utveckling och övriga åtgärder.

Kärnavfallet

Elproduktionen vid Sveriges kärnkraftverk ger upphov till främst *tre olika typer* av kärnavfall, nämligen använt kärnbränsle, driftavfall och avfall från framtida rivning av kärnkraftverk.

Det använda kärnbränslet består av bränsleelement, d.v.s. knippen av drygt fyra meter långa smala rör i vilka uranoxid i form av keramiska små cylindrar (kutsar) placerats.

Driftavfallet består i huvudsak av förbrukade filter från vattenreningskretsar vid kärnkraftverken samt utbytta delar och skyddsmaterial.

Rivningsavfallet består av delar av reaktorn och dess system, t.ex. rör som förorenats med radioaktivitet eller blivit radioaktiva under reaktordriften.

Verksamheten inom sjukvård, industri och forskning samt bränsletillverkning ger också en viss mängd radioaktivt avfall, främst av kortlivad karaktär.

Planeringen för hantering av Sveriges radioaktiva avfall brukar baseras på de volymer som uppstår vid drift till år 2010. Fram till dess räknar man med att c:a 90 000 m³ driftavfall skall genereras, att det skall finnas c:a 115 000 m³ rivningsavfall och att det finns 8 000 ton använt kärnbränsle.

Redan idag finns förhållandevis stora mängder avfall i landet, t.ex. 3 000 ton använt kärnbränsle och naturligtvis allt rivningsavfall.

Mängden avfall från produktionen av el vid kärnkraftverken är relativt sett mycket liten. Detta kan illustreras med att ett års hushållsel från en familj på fyra personer ger upphov till c:a en liter avfall, varav den helt övervägande delen är drifts- och rivningsavfall.

Fördelen med de små volymerna är att man tekniskt och ekonomiskt kan vidta mycket omfattande åtgärder för att säkert isolera avfallet.

Avfallets farlighet

Radioaktivt avfall kan biologiskt skada sin omgivning genom direkt bestrålning eller genom att radioaktiva ämnen tas upp i kroppen genom vatten eller föda.

För det använda kärnbränslet gäller att det — omedelbart efter att det tagits ut ur reaktorn — är mycket farligt på grund av att det avger stark strålning som snabbt avklingar vid lagring.

Under den första tiden krävs att det hanteras på ett särskilt omsorgsfullt och rätt sätt. De små volymerna är därvid till stor fördel.

Riskerna när det gäller direktstrålning är liten för allmänheten. Det rör sig i praktiken till helt övervägande del om ett arbetsmiljöproblem för den personal som svarar för hantering och förvaring. Under hanteringen krävs omfattande skyddsåtgärder. Det använda bränslet hanteras fjärrstyrt och personalen skyddas i arbetet mot strålningen av tjocka stålplåtar, t.ex. i transportbehållarna, åtskiljande betongväggar och hantering under några meter vatten.

När det gäller risk för att deponerat radioaktivt avfall skall lösa sig och nå omgivningen genom grundvatten gäller, att det låg- och medelaktiva drift- och rivningsavfallet skall hållas inneslutet under några hundra år tills det nått en ofarlig nivå, medan det använda bränslet kräver isolering under tiotusentals år.

Lekmannen har ofta en oklar uppfattning om på vilket sätt det radioaktiva avfallet kan vara farligt. Bilden i medier och debatten är ofta onyanserad och icke sällan görs stora överdrifter beträffande avfallets farlighet. Man bortser ofta från den stora betydelsen av att farligheten hos det radioaktiva materialet försvinner med tiden. Inom några hundra upp till tusen år har huvuddelen av all radioaktivitet avklingat. Endast för kärnbränslet återstår en liten mängd radioaktivt långlivade men mycket svårslösliga produkter, mest uran och någon procentenhet s.k. transuraner, mest plutonium. För

detta avfall är strålningsnivån låg och risken består i att ämnen kan frigöras och nå människan med grundvattnet. Efter omkring hundra tusen år finns ej längre något behov av skyddsbarriärer då "farlighetsnivån" nått en nivå motsvarande rika uranmalmer. De osäkerheter som finns i det riktigt långa tidsperspektivet, t.ex. efter en istid om ca hundra tusen år, balanseras sålunda av att behovet av skydd väsentligt minskats. Som framgår nedan kommer förvaret dock att utformas så att avfallet blir isolerat under mycket längre tidsperioder.

Det svenska kärnavfallssystemet

Sedan mitten av 1970-talet har Sverige utvecklat, byggt och tagit i drift ett system så att alla radioaktiva restprodukter i landet kan tas om hand.

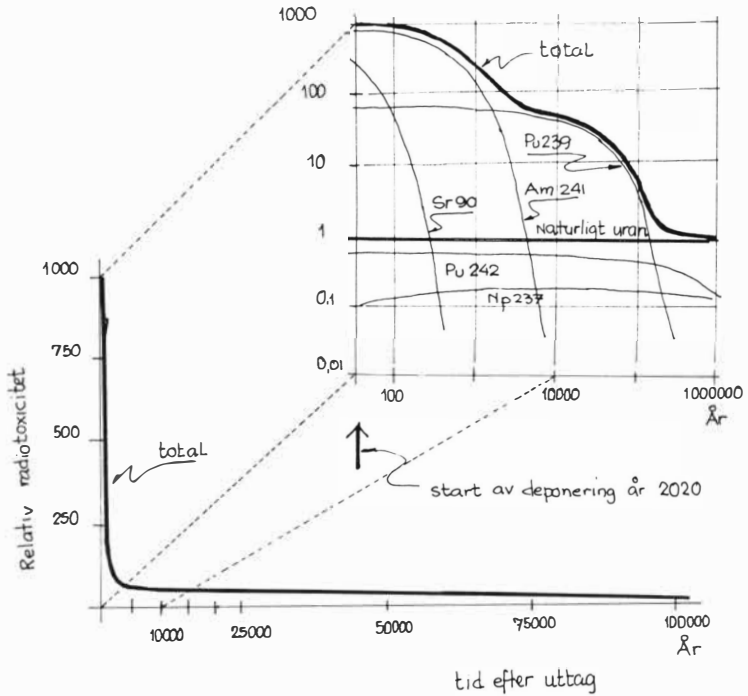
Det svenska systemet har utformats utifrån grundtanken att allt radioaktivt avfall skall tas om hand i landet. Det använda kärnbränslet skall direktdeponeras utan föregående upparbetning. Anläggningar och system skall uppfylla mycket högt ställda krav och planeringen bygger på att de snarast byggs och tas i drift så att inga problem, vare sig tekniska eller ekonomiska, i onödan skall överföras till framtida generationer.

För driftavfallet gäller att detta transporteras snarast möjligt till slutförvaring i en anläggning vid Forsmark. Före transport gjuts det låg- och medelaktiva avfallet in i betong eller asfalt alternativt förpackas i särskilda deponeringsbehållare. Under transporten är det placerat i tjockväggiga transportbehållare av stål som avskärmar strålningen.

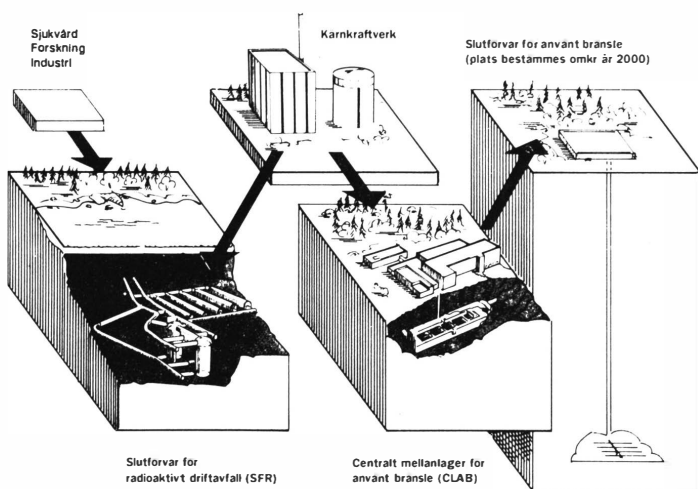
När avfallet placerats i slutförvaringen hålls radioaktiviteten instängd av de byggda och naturliga barriärer som omger avfallet.

Liknande teknik avses användas när rivningsavfallet skall deponeras.

Det högaktiva använda bränslet transporteras till centralt



Kärnavfallens avtagande farlighet med tiden.



Det svenska systemet för hantering och förvaring av kärnavfall.

mellanlager i ett underjordiskt förvar, CLAB, vid Oskarshamnsverket. Där skall det förvaras 30 à 40 år så att huvuddelen av värmen och aktiviteten hos bränslet avges innan det deponeras någonstans i Sverige på c:a 500 meters djup i berggrunden.

Före transport förvaras bränslet något år vid reaktorn. Under denna tid försvinner en avsevärd del av radioaktiviteten, bl.a. avklingar praktiskt taget all den gasburna radioaktiviteten. Detta innebär att radioaktiviteten vid senare hantering är bunden till fast material och sålunda exempelvis ej ger risk för luftburen aktivitet.

Övrigt avfall från sjukvård, forskning och industri insamlas av Studsvik. Genom att företaget anslutits till systemet blir även dessa produkter omhändertagna.

Erfarenheterna av driften från transportsystem, central mellanlagring av använt bränsle och slutlagring av driftavfall är mycket goda. Anläggningarna fungerar väl och doser till personal m.m. är mycket små, långt under angivna gränsvärden.

Det idag utbyggda systemet innebär vidare att elproduktionen vid kärnkraftverken kan fortgå samtidigt som man har stor frihet i tiden när det gäller att utveckla slutförvaringen av använt bränsle.

Transport av kärnavfall

Sedan 1985 respektive 1988 transporteras fortlöpande använt kärnbränsle från kärnkraftverken till CLAB vid Oskarshamn och driftavfall till slutlagret SFR vid Forsmark. För dessa transporter har utvecklats och byggts ett särskilt sjötransportsystem.

Transport av radioaktivt material är, tvärtemot vad många tror, en förhållandevis ofarlig verksamhet även om olyckor skulle inträffa. Trots detta ägnas de radioaktiva transporterna stor omsorg och de är väl kontrollerade, bl.a. med avseende på s.k. fysiskt skydd.

Säkerheten i transporterna ligger i att endast fasta produkter transporteras (det använda kärnbränslet eller ingjutet driftavfall) och att man utnyttjar mycket robusta strålskärmande transportbehållare. Det finns praktiskt taget inga radioaktiva gaser eller vätskor som kan komma ut och skada omgivningen; ej heller är sjövärdigheten hos specialfartyget Sigyn på något sätt avgörande för säkerheten. Skulle t.ex. Sigyn sjunka är detta ofarligt för omgivningen, behållare och fartyg kan bärgas.

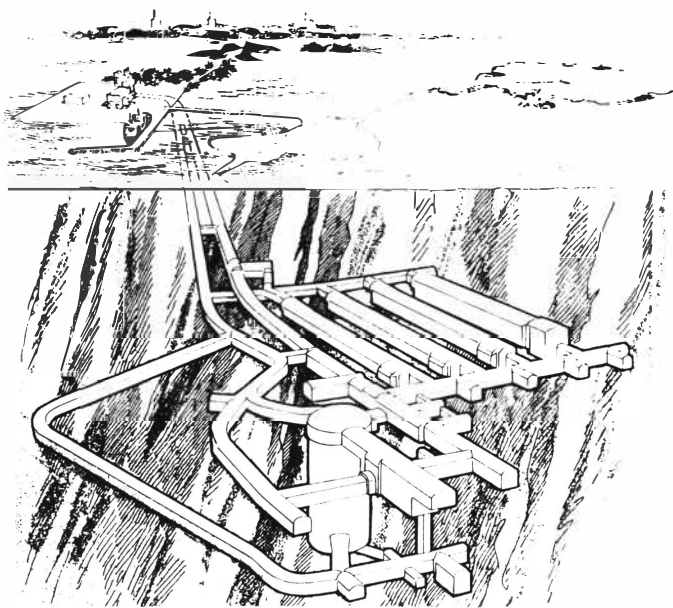
Sigyn har trots detta en mycket hög sjövärdighet med en rad säkerhetshöjande system då man naturligtvis för en så kontroversiell fråga som radioaktiva transporter vill undvika att något händer, även om det bedöms ofarligt för omgivningen.

Slutlig förvaring av drift- och rivningsavfall

I anläggningen SFR vid Forsmark slutförvaras sedan 1988 låg- och medelaktivt driftavfall från kärnkraftverken och

liknande avfall från andra verksamheter i Sverige. Anläggningen är planerad för att i ett senare utbyggnadsskede också härbärgera rivningsavfall.

Efter några hundra år har radioaktiviteten i driftavfallet nått en för omgivningen ofarlig nivå. SFR har utformats för att kvarhålla de radioaktiva ämnena under dessa tider. Säkerheten ligger i flera olika barriärsystem. Det mest radioaktiva avfallet är placerat i en särskild betongsilo omgiven av bentonit. Placeringen av anläggningen i berget under havet fyller också en viktig säkerhetsfunktion. För att några radioaktiva ämnen överhuvudtaget skall nå omgivningen måste detta ske via vatten som strömmar i bergets sprickor. I bergsmassiv under havet är vattnet i berget praktiskt taget helt stillastående, vilket innebär att transport förhindras.



Centralt slutlager SFR för driftavfall vid Forsmark.

Mellanlagring av använt kärnbränsle

Efter c:a fem år i reaktorn och ett års lagring i reaktorbas-säng vid kärnkraftverket transporteras allt använt bränsle till central mellanlagring. Anläggningen CLAB vid Oskars-hamnsverket har planerats för att under 30—40 år mellan-lagra allt använt bränsle som uppkommer i Sverige. Förva-ringen sker i vattenfyllda bassänger, placerade i ett bergrum.

Genom mellanlagring drar man fördel av att såväl radio-aktivitet som värme snabbt minskar den första tiden efter användningen i reaktorn. När bränslet skall slutförvaras med början år 2020 återstår mindre än 1 procent av den radioaktivitet som fanns när bränslet togs ur reaktorn och c:a 10 procent av radioaktiviteten när lagringen påbörjades i CLAB.

Förvaring i CLAB kan, om man så skulle önska, utsträck- as under lång tid, kanske upp till något hundratal år. Tek- niskt ger en sådan utsträckt lagring dock ej några ytterligare fördelar för slutförvaringen. Även om den övervakade förva- ringen i CLAB är mycket säker bör en slutdeponering i berget snarast möjligt vara att föredra då det ger ytterligare skydd och minskar krav på övervakning.

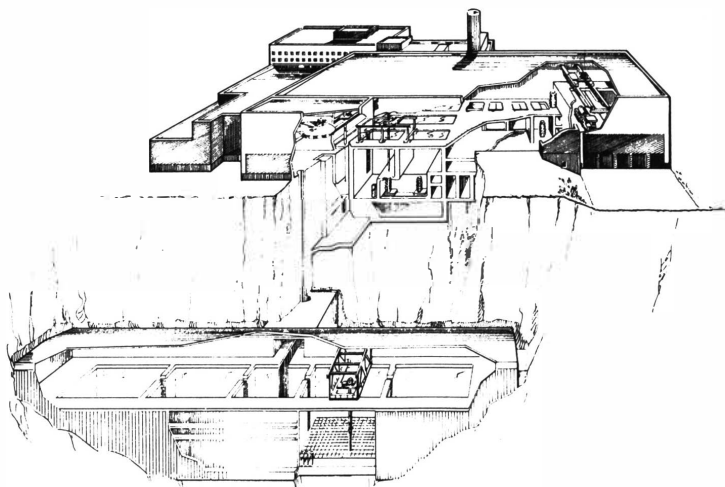
Slutförvaring av använt kärnbränsle

Det använda kärnbränslet som lagras i CLAB måste i fram- tiden slutförvaras på ett mera permanent sätt.

För denna slutförvaring finns en detaljerad planering, in- riktad på att en berganläggning och en inkapslingsstation skall tas i drift år 2020.

För att möta detta krav med marginal krävs att man tar ställning till lämpligaste metod och plats omkring 1995 och att en s.k. lokaliseringsansökan för en anläggning, utformad efter förhållandena på en specifik plats, inlämnas några år efter sekelskiftet.

Efter snart 20 år av forskning och utredning finns idag ett



Centralt mellanlager CLAB för använt kärnbränsle.

omfattande och gediget kunskapsunderlag för detta arbete. Som tidigare nämnts sammanfattades i början av 1980-talet forskningen för att bl. a. visa att det fanns en metod att säkert slutförvara det använda kärnbränslet, KBS3-metoden. Under hela 1980-talet har därefter bedrivits en mycket omfattande och generell forskning kring olika typer av förvaring i svensk berggrund. Denna bekräftar att en slutdeponering i ett KBS3-liknande förvar kan ske på ett mycket flexibelt och robust sätt, även vid drastiskt ändrade framtida förhållanden. Arbetet under 90-talet är därför inriktat på att utveckla och utforma en förvaringsmetodik som bygger på KBS3-tankarna, d.v.s. låga temperaturer, kvalificerade tekniska barriärer och en förläggning av förvaret till 400—600 meters djup i det svenska urberget.

Behov av skydd — möjligheter till isolering

Ett slutförvar för radioaktivt avfall skall vara utformat så att det håller de radioaktiva ämnena isolerade från omgivningen så länge de kan skada. Förvaringen i berg bygger på relativt enkel teknik. Det besvärliga och nya är att visa säkerheten hos deponeringen under långa tider framåt. Den viktigaste tidsperioden rör sig som nämnts om några hundra år upp till tusen år, då radioaktiviteten är störst och utgörs av relativt lösliga ämnen. Även om det rör sig om lång tid är denna tidsperiod överblickbar och det råder en enig uppfattning bland experter om att inget särskilt kommer att hända med ett väl utformat förvar under denna tid.

Detta har stor betydelse för hur man ser på slutförvarets säkerhet. Upp till tusen år är kraven höga och under samma tid avklingar 99 procent av all radioaktivitet i kärnavfallet. Särskilt viktigt är att radioaktiviteten från de s.k. fissionsprodukterna — av vilka många är relativt lösliga — helt avklingat. Radioaktiviteten som därefter återstår är av annan typ och bunden till ämnen som är praktiskt taget olösliga i vatten.

Även i ett väsentligt längre tidsperspektiv kan vetenskapligt grundade beräkningar och förutsägelser göras. Experterna anser det meningsfullt att göra dosberäkningar som sträcker sig ytterligare några tusen år framåt för att beräkningsmässigt illustrera utvecklingen under längre tider. För svenskt vidkommande är tiden till nästa istid, storleksordningen tiotusen år, en naturlig gräns. Processer och förändringar i naturen kräver långa tider vilket innebär att dagens förhållanden och krav bör ha relevans i detta tidsperspektiv.

För det riktigt långa tidsperspektivet, upp till hundratusen år, bedöms det emellertid ej meningsfullt att göra dosberäkningar. Eftersom skyddskraven väsentligt minskas i detta tidsperspektiv anses det tillräckligt att man nöjer sig med att

bland annat jämföra frigörelsen av radioaktiva ämnen från slutförvaret med den naturliga omsättningen av naturligt radioaktiva ämnen.

Möjligheterna att åstadkomma säker slutförvaring är goda, dels beroende på de relativt sett små volymerna, dels beroende på avfallets form och kemiska egenskaper. Huvuddelen av avfallet utgörs av uran- och plutoniumoxider som är mycket svårslösliga i det grundvatten som finns i Sveriges berggrund. Detta innebär att det tar lång tid även för ytterst ringa mängder att lösa sig i vatten och genom detta nå biosfär och människor, även om bränslet lades direkt i grundvattnet utan inkapsling. Med den långsamma vattenomsättning som råder i berget torde det krävas miljontals år innan bränslet helt löst sig. Detta innebär att bränslematerialet i sig självt är en av de viktigaste barriärerna och ger ett stort skydd.

Isoleringen av avfallet från omgivningen bygger på att man gör flera mer eller mindre oberoende skyddsbarriärer kring avfallet för att gardera sig mot förändringar, feltänkande och andra brister.

För att undvika att vatten når bränslet och löser upp det och även för att begränsa eventuellt utflöde kommer bränslet att inkapslas. I KBS3 utnyttjas inkapslingen i koppar, ett material som med de grundvattenförhållanden som finns i svensk berggrund korroderar ytterst långsamt. Det råder en enig expertuppfattning att man bör kunna påräkna att kapseln håller väl över en miljon år, d.v.s. långt utöver att bränslet avklingat till en ofarlig nivå, jämförbar med naturliga malmer.

Utöver bränslet och kopparkapseln tänker man sig att förvara kapseln i ett lermaterial, bentonit, som verkar på flera olika sätt. Det sväller i kontakt med vatten och blir därigenom nästan ogenomträngligt för vatten och hindrar att detta når kapseln och också att eventuellt lösta produkter kan komma ut. Materialet ger därutöver kapseln ett mekaniskt skydd.

Systemet med inkapsling av bränslet syftar till att helt innesluta radioaktiviteten och att inga utsläpp till omgivningen skall kunna ske. Bentonitbufferten förstärker ytterligare detta skydd.

Skulle trots de tekniska barriärerna radioaktivitet komma ut i grundvattnet kommer sprickor i berget kring kapseln att "suga åt sig" eventuella radionuklider genom s.k. sorbtion. Vidare gäller att en djupförläggning innebär en lång transportväg för vattnet genom berget. I säkerhetsanalysen för KBS3 visas t.ex. att risken för en individ är ringa. Beräkningsmässigt under pessimistiska till värsta förhållanden kan dosen bli i storleksordningen 0,0001 respektive 0,01 av den naturliga bakgrundsstrålningen och utgör sålunda en mycket liten andel av den naturliga variation som finns mellan olika orter i Sverige.

Nämnda värden hänför sig till säkerhetsanalytiska analyser baserade på osannolika förhållanden och ogynnsamma data. *Det bör understrykas att i normalfallet räknar man med att ingen skadlig radioaktivitet någonsin skall komma ut.*

Det svåra nya och speciella problemet med radioaktiv förvaring är att man måste visa att ingenting händer under långa tider framåt. Inverkan av istider, jordbävningar, klimatförändringar och olika typer av geologiska förändringar har därför måst beaktas i de analyser som skett.

Genom att konsekvent använda naturlagarna, väl etablerade kunskaper och beräkningsmodeller samt använda naturliga material och processer har det visat sig möjligt att nå en vetenskapligt grundad uppfattning beträffande förhållanden långt in i framtiden.

En mycket viktig källa till information är s.k. naturliga analogier. Genom att studera hur naturligt radioaktiva material har uppträtt i jordskorpan under årmiljoner, t.ex. rika uranmalmer, kan man dra slutsatser om förhållandena kring ett slutförvar.

Situationen i den svenska berggrunden vi ser idag åter-

speglar effekten av åtskilliga hundratals miljoner års skeenden. De geologiska processerna är mycket långsamma och man kan därför, genom att studera historien, dra slutsatser om framtida geologiska förhållanden under tider långt utöver vad som krävs för avfallsfrågan.

Anläggningar för slutförvaring av använt kärnbränsle

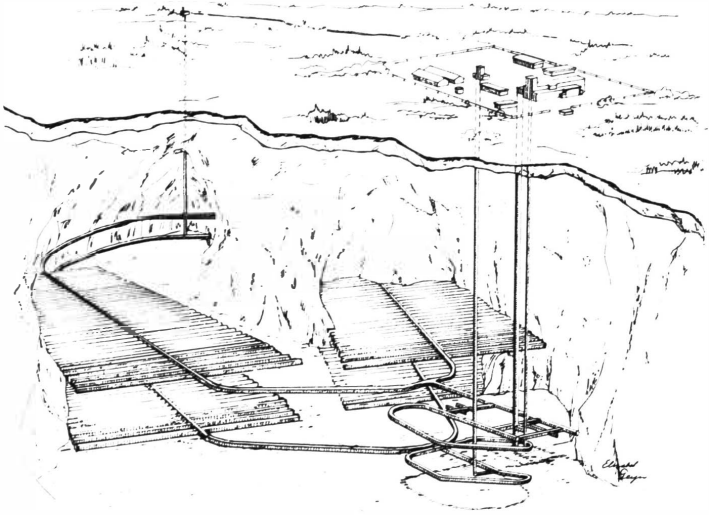
Slutförvaret för använt kärnbränsle kommer att bestå av en berganläggning. Därtill hör en inkapslingsstation. för inkapsling av det använda bränslet.

Inkapslingsstationen kan förläggas antingen till slutförvaret eller det centrala mellanlagret. Verksamheten i inkapslingsstationen utgörs av en kvalificerad kärnteknisk verksamhet av den typ som man kan finna i t.ex. CLAB, Studsvik eller vid bränsletillverkning.

Slutförvaret utgörs däremot av en förhållandevis konventionell berganläggning där tunnlar successivt tas i drift. Volymen utsprängt berg beräknas bli ca: 750 000 m³, d.v.s. en måttlig berganläggning med svenska mått mätt. Transportbehovet till inkapslingsstationen/slutförvaret är ringa, storleksordningen en tung transport per vecka under de 40 år deponering skall ske.

Lokalisering av slutförvar

Att lokalisera slutförvaret för använt kärnbränsle till en ort i Sverige är kanske den besvärligaste frågan. För att med marginal möta kravet på driftsstart år 2020 är det en fördel om ett antal kandidatplatser kan presenteras under tidigt 1990-tal; Arbetet är inriktat på att presentera tre platser när ett grundligt underlag föreligger och allmänheten blivit ordentligt informerad om frågorna. SKB:s planering bygger på att detta tidigast kan ske fr.o.m. 1992. Debatten kring kärnavfallet och upplevelsen av dess farlighet har inneburit att



Anläggning för slutförvaring av använt kärnbränsle.

många har uppfattningen att det ställs extremt höga krav på t.ex. geologi vid förvaret och att endast det absolut bästa är gott nog för att garantera förvaringens säkerhet över långa tider.

Berggrunden är en viktig faktor för ett slutförvar men kanske inte på det sätt som många föreställer sig. Bergets viktigaste funktion är att skapa en stabil kemisk omgivning till de tekniska barriärerna, reglera vattenflöden samt ge mekaniskt skydd. Några krav på "sprickfritt berg" behöver man inte ställa och liksom för andra anläggningar kan platsen och dess specifika förhållanden mötas med olika teknikutformning.

Egenskaper av betydelse för kärnavfallens förvaring i den svenska berggrunden har undersökts och utretts sedan 1970-

talet, bl.a. genom mycket omfattande borrhningar och provtagningar på ett tiotal platser. Slutsatsen är entydig, det finns många platser som väl lämpar sig för slutförvaring. Idag finns mer än tusen platser identifierade varav många där SKB bedömer att geologin torde duga.

Slutord

Beträffande det svenska kärnavfallet kan man konstatera:

- att idag tas allt radioaktivt material i landet hand om i ett hanterings- och förvarssystem som byggts och tagits i drift under 1980-talet
- att för kortlivat låg- och medelaktivt driftavfall är deponeringsfrågan i stort sett avklarad i och med att slutförvaring inleddes 1988. För det likartade rivningsavfallet finns en planering som innebär att slutförvaring skall ske i samma anläggning och på samma sätt.
- att det använda kärnbränslet sedan 1985 successivt mellanlagras centralt. För att underlätta slutförvaringen beräknas mellanlagringen pågå under 40 år. Ett slutförvar bör därför vara i drift omkring år 2020.
- att det idag finns en bred och gedigen kunskap beträffande problemen kring kärnbränslets slutförvaring. Genomförbarheten av säker förvaring av kärnbränsle är teoretiskt visad och kunskap finns idag för att bygga ett slutförvar. De problem som finns är inte tekniska utan av politisk och opinionsmässig natur.
- att det finns en detaljerad planering för olika åtgärder som krävs för att ha förvaret i drift år 2020. Viktigast är val av lämpligaste metod omkring år 1995 samt platsrelaterad lokaliseringsansökan c:a år 2003.
- att systemet för avgiftsuttag och finansiering av framtida kostnader fungerar bra.

8 Kärnkraft och kärnvapen

Ett kontrollsystem byggs upp

För 50 år sedan upptäckte man, att urankärnor som bestrålas med neutroner klyvs och att därvid nya neutroner frigörs tillsammans med energimängder många gånger större än vid atomära processer, t.ex. vid förbränning av kol.

Den mest närliggande användningen av den nya processen var dess utnyttjande för militära ändamål i det pågående kriget. Genom en enorm insats i USA, också i England och Kanada, kunde redan i juli 1945 en enligt nutida begrepp primitiv atombomb provsprängas i USA. I augusti fälldes två atombomber över Hiroshima och Nagasaki varefter Japan kapitulerade.

För de forskare som genom sitt arbete utvecklat atombomben, stod det klart att klyvningsprocessen också representerade ett nytt alternativ till mänsklighetens energiförsörjning. En rad olika förfaringssätt skisserades, av vilka många tycktes innebära en lösning av världens energiproblem för lång tid. Det var också klart för ledande politiker i USA, att den möjlighet för fredlig användning som den nya processen syntes innebära borde delges alla länder, samtidigt som det också var nödvändigt att säkerställa att den nya tekniken inte användes för militära ändamål.

Ett nytt begrepp infördes, säkerhetskontroll (safe-guards). Därmed förstås åtgärder, varigenom ett land med kompetens på ett område kan förvissa sig och andra länder i samma

situation om att den hjälp man ämnar ge i form av specialister, publikationer, utrustning och klyvbart material av motagarlandet endast användes för fredliga ändamål.

En grundsten i denna utveckling lades av USA:s President Dwight D. Eisenhower. I hans tal i december 1953 i FN:s generalförsamling betonade han betydelsen av internationellt samarbete på atomområdet med förslag om inrättandet av en internationell organisation, nu kallad International Atomic Energy Agency (IAEA), på svenska Internationella Atomenergiorganet. Det har till uppgift att bl.a. ansvara för utarbetandet av ett säkerhetskontrollsystem. Organisationen etablerades år 1957 i Wien, och en av dess fundamentala uppgifter har sedan dess varit att i samarbete med medlemsländerna (nu totalt 113) utforma ett kontrollsystem acceptabelt för de medlemsstater, som t.ex. begär hjälp från IAEA för användning av kärnenergi för fredliga syften.

Utvecklingen av kärnenergi har varit mycket snabb både på det militära och på det civila området. De i Japan fällda bomberna hade en sprängkraft motsvarande ett tiotal tusen ton trinitrotoluol (TNT). Med fusionsteknik har sprängkraften hos nya bomber (vätebomber) undan för undan höjts. Rekordet innehas av en rysk bomb, som vid provsprängning i början av 1960-talet motsvarade 50 000 000 ton TNT. Den sammanlagda sprängkraften i kärnvapenlagren torde motsvara några ton TNT för varje individ på vår jord! Uranisotoper, plutonium och andra material som erfordras för dessa bomber har producerats eller förvärvats av kärnvapenstaterna motsvarande behovet för framställning av flera tiotusentals kärnladdningar, dvs det finns många fler kärnladdningar än det finns mål att förstöras av dem.

Albert Einstein har sagt, att atomvapnen ändrade allting utom vår förmåga att tänka. President John F. Kennedy uttryckte tidigt sin oro över möjligheten att förmågan att tillverka kärnvapen kunde spridas utanför de länder, som redan under 1950- och början av 1960-talet demonstrerat sin kompetens på området: I USA 1945 uranbomb (1952 vätebomb),

USSR 1949 (1953), England 1953 (1957), Frankrike 1960 (1968). Kina tillverkade en fissionsbomb 1964 och en vätebomb 1966. Indien demonstrerade sin kompetens genom att explodera en kärnladdning för ”fredliga ändamål” 1974. Att det säkerhetskontrollsystem som utvecklats inom IAEA i samverkan med dess medlemsstater varit framgångsrikt, visas bäst av det förhållandet att endast ett halvduzin länder utanför de nämnda torde förbereda eller ha utvecklat en kärnvapenproduktion. De tröskelländer som här åsyftas, är alla länder som inte accepterat det s.k. ickespridningsavtalet (Non-Proliferation Treaty, NPT) av år 1970. De har därmed vägrat att förbinda sig att inte utifrån anskaffa kärnladdningar eller tillverka sådana inom eget område. Den frivilligt nästan globalt accepterade begränsningen av antalet länder med kärnvapenkapacitet visar, vilket väsentligt bidrag NPT givit nedrustningssträvanden. Det måste emellertid redan här sägas, att NPT inte är något idealiskt fördrag. Det var inte lätt att under de rådande förhållandena i slutet av 1960 komma längre. NPT:s villkor och utfästelser skall diskuteras senare.

IAEA:s kontrolluppgifter enligt statuterna

IAEA:s system för säkerhetskontroll har utarbetats framför allt med stöd av vad som står i IAEA:s stadga, särskilt artiklarna III och XII.

Innebörden är att säkerhetskontroll skall avse de *speciella projekt eller installationer*, för vilka IAEA enligt träffat avtal har ansvar. Hur avtalet skall vara utformat, framgår av IAEA:s dokument INFCIRC/66.

Ickespridningsavtalet (se Annex 1, sid. 199) som skall behandlas mer utförligt längre fram, kräver mellan IAEA och en part i NPT-fördraget ett avtal baserat på ett omsorgsfullt utarbetat dokument INFCIRC/153. Detta dokument färdigställdes inom ett år efter det NPT trätt i kraft genom ett skickligt arbete av en kommitté tillsatt av IAEA:s styrelse. I

ett sådant avtal föreskrivs, att säkerhetskontroll skall utövas på *all nukleär verksamhet* hos fördragsparten, så kallad heltäckande säkerhetskontroll.

I denna summariska översikt av IAEA:s kontrollsystem är det viktigt att göra klart för sig, att IAEA kan genomföra säkerhetskontroll i ett land endast i de fall, då IAEA har givit bistånd, dvs teknisk hjälp på atomområdet till landet eller blivit ombett av landet ifråga att utöva säkerhetskontroll i landet.

Det är också viktigt att förstå, att den väsentliga avsikten med IAEA:s säkerhetskontroll är att upptäcka spridning av signifikanta kvantiteter klyvbart material från tillämpningar för fredliga ändamål till framställning av kärnvapen eller för icke kända ändamål. Med signifikanta kvantiteter förstår man sådana mängder av klyvbart material, c:a 8 kg plutonium eller c:a 25 kg av uran 235 i höganrikat uran, där halten uran 235 är större än 20 procent, som erfordras för att framställa en kärnladdning i ett atomvapen. IAEA:s säkerhetskontrollsystem är utformat för att kunna upptäcka spridning av signifikanta kvantiteter inom den tidsrymd, kanske en månad, som bedömts nödvändig för materialets omformning till en kärnladdning i ett atomvapen. Om materialet är i form av en lösning eller en oxid och uppblandat med andra ämnen, blir de totala materialmängderna större, och den tidrymd som erfordras för förvandling till högkvalitativt bombmaterial längre. Genom säkerhetskontrollen förmodas risken för upptäckt vara tillräckligt stor för att avhålla ett land eller en anläggningsinnehavare från varje försök till otillåten användning av klyvbart material eller åtminstone utgöra en tankeställare och hämsko. Under senaste tiden har en viss förskjutning i betraktelsesättet ägt rum i det att man mera betonar kontrollsystemets förmåga att *bekräfta* att den mängd klyvbart material, som en medlemsstat innehar, finns i inventariet än att använda systemet enbart för att *upptäcka* att en icke tillåten spridning av klyvbart material har förekommit.

IAEA etablerades visserligen 1957, men det tog tid innan nödvändiga regler och bestämmelser blivit utarbetade om hur IAEA:s kontroll skulle gå till. Man behandlade först kontroll av små försöksreaktorer. Den första reaktorn av det slaget som kom under IAEA:s safeguard var en norsk forskningsreaktor i Kjeller och året var 1962. Den första kärnkraftreaktorn under IAEA:s säkerhetskontroll var en reaktor i Bradwell i England, som 1966 öppnades för IAEA-inspektion.

Tlatelolco-avtalet

En annan historisk händelse som inte bör falla i glömska, är Tlatelolco-avtalet av år 1967, som innefattade ett första försök att upprätta en regional zon i Latinamerika i vilket det är förbjudet att prova, använda, tillverka eller förvärva kärnvapen. Vissa länder i denna grupp är av uppfattningen att avtalet medger möjlighet att använda kärnladdningar för fredliga ändamål. Försöket har endast delvis krönts med framgång men har nyligen (1986) fått en efterföljare i South Pacific Nuclear Free Zone Treaty. Idén har också diskuterats som en möjlig lösning av den nukleära sidan av Mellanösternproblemet. Tlatelolcoavtalet var ett resultat av ett mexikanskt initiativ. Det ledde bl.a. till att Mexiko 1968 ställde all sin verksamhet på atomområdet under IAEA:s säkerhetskontroll.

Icke-spridningsavtalet

Utvecklingen på kontrollområdet inom IAEA under större delen av 60-talet kännetecknades av insatser för att utarbeta instruktioner, som sedan presenterades för godkännande av IAEA:s styrelse. Instruktioner för säkerhetskontroll av reaktorer, oavsett storlek, och kontroll av andra anläggningar inom atomenergiområdet berörande upparbetning av använt bränsle blev också utarbetade. År 1968 resulterade för-

handlingar mellan framför allt USA och Sovjetunionen i ett fördrag till förhindrande av spridning av kärnvapen, "icke-spridningsfördraget" (Treaty on the Non-Proliferation of Nuclear Weapons, NPT). NPT anbefalldes av FN:s generalförsamling för undertecknande av FN:s medlemsstater. T.o.m juni 1990 har 140 stater skrivit under avtalet. Den snabba behandlingen i FN var sannolikt ett resultat av att de 18 medlemmarna i FN:s nedrustningskommitté hela tiden under förhandlingarnas gång hållits informerade och konsulterats. Avtalet trädde i kraft 1970 och utgör en milstolpe i utvecklandet av och tillämpning av säkerhetskontroll. (Det finns in extenso i Annex 1, sid. 199.) Artikel III i avtalet föreskriver, att en icke-kärnvapenstat som skrivit under NPT, måste acceptera kontroll av alla slags kärnämnen i alla nukleära tillämpningar för fredliga ändamål, d.v.s. heltäckande kärnämneskontroll. Med kärnämnen avses enligt svensk lagtext uran, plutonium, torium och använt bränsle, som inte placerats i slutförvar. Vad som sagts om samarbetet mellan USA och Sovjetunionen och FN:s nedrustningskommitté, gällde hela avtalet med undantag av artikel III, om vilken man inte kunde komma överens. Den kunde till slut formuleras sommaren 1967 i Genève genom insatser av George Bunn från Wisconsin University i USA och Roland Timerbaev, för närvarande Sovjets ambassadör till de internationella organisationerna i Wien, i samarbete med kolleger från deras delegationer. Utvecklingen av nukleär teknologi och åtföljande tillämpning av kärnämneskontroll har gått parallellt och fordrat stora insatser av kvalificerad personal i IAEA och dess styrelse. IAEA har utarbetat och godkänt ett kontrollsystem, som trots en komplicerad nukleär teknologi uppfattas som trovärdigt och tillförlitligt. Hur omfattningen av IAEA:s säkerhetskontroll utvecklats under de senaste åren, framgår av *tabellerna 1 och 2*.

Personalbehovet och kostnadsutvecklingen visas i *tabell 3*.

Tabell 1 *Antal installationer i icke-kärnvapenstater i vilka klyvbart material var underkastat säkerhetskontroll under 1970 och 1990.*

	1970	1990
Kraftreaktorer	9	195
Forskningsreaktorer och kritikalitets- uppställningar	63	177
Konverteringsanläggningar	—	8
Anläggningar för bränsletillverkning (innefattande försöksanläggningar)	5	43
Upparbetningsanläggningar (innefattande försöksanläggningar)	3	6
Anrikningsanläggningar	—	6
Separata förrådsanläggningar	—	41
Andra anläggningar	19	51
Delsumma	99	527
Andra lokaliseringar	57	405
Icke nukleära anläggningar	—	2
Summa	156	934

Tabell 2 *Klyvbart material underkastat säkerhetskontroll (ton).*

	1970	1990
Plutonium*	0,770	
Plutonium i använt bränsle		245
Separerat plutonium förvarat utanför reaktorhärddar		11
Anriktat uran**	243	—
Höganriktat uran (HEU)		13
Låganriktat uran (LEU)		29000
Källmaterial	1146	43000

* Ingen uppdelning i separerat plutonium och plutonium i bränsle utanför reaktorhärddar gjordes 1970

** Ingen uppdelning i hög- och låganriktat uran gjordes 1970

Tabell 3 Personal i IAEA:s safeguardsavdelning.

	1970	1989
Inspektörer	43	211
Total personalkader i safeguards- avdelningen	79	475
<i>Budget för safeguards- avdelningen</i>	1,3 M USD	52,9 M USD

Besparingar vad gäller bl.a. kostnadskrävande resor har kunnat uppnås genom regionalkontor i Toronto och Tokyo.

IAEA:s reguljära budget är för 1990 c:a 162 M USD, till vilket kommer c:a 46 M USD som frivilligt bidrag för tekniskt samarbete för utvecklingsländer.

Några siffror kan ytterligare belysa omfattningen av IAEA:s säkerhetskontroll. Under 1989 utfördes c:a 2 100 inspektioner av anläggningar under kontroll, vilket innebär drygt 10 000 inspektionsdagar; 15 500 sigill (förseglingar) applicerade på kärnämnen och på kontrollutrustning ersattes med nya, och de gamla granskades i Wien. Nära 1 200 plutonium- och uranprover analyserades i ett nätverk av 18 laboratorier i olika länder inklusive IAEA:s analyslaboratorium i Seibersdorf utanför Wien. Där kommer man att använda en högst sofistikerad teknik med automatisk robotstyrd titrering.

Nuclear Suppliers Group Guidelines (f.d. London Club)

Kan man genom ett system av säkerhetskontroll förvissa sig om att ingen förberedelse för tillverkning av materiel för explosiva ändamål äger rum i ett icke-kärnvapenland, som accepterat NPT? Svar: Inte med absolut säkerhet. Ingenting i NPT eller därmed sammanhängande säkerhetsavtal utgör

ett legalt hinder för en stat, som accepterat NPT att förvärva en kompetens för att förbereda tillverkning av kärnvapen, t.ex. genom anrikning av uran eller utvinning av plutonium genom att upparbeta använt bränsle.

Kontrollåtgärder kan endast beröra sådant, som redan har ägt rum. De kan inte belysa något om ifrågavarande stats framtida avsikter. Farhågor av detta slag kan sägas vara orsaken till den israeliska attacken mot den irakiska forskningsanläggningen i Bagdad i juni 1981.

Det faktum att kompetens för produktion av kärnvapen skulle kunna förvärfvas i många länder i samband med annan teknisk utveckling, ledde till en ökad oro. Den kulminerade då ett underjordiskt prov med explosion av en kärnladdning för "fredliga ändamål" utfördes i Indien 1974. Samtidigt pågick förhandlingar mellan vissa industriellt avancerade länder och utvecklingsländer som inte accepterat NPT om leverans av material och utrustning för anrikning av uran och upparbetning av använt uranbränsle och det ökade känslan av osäkerhet. Efter förhandlingar mellan ett antal länder, den s.k. London Club 1977, kom man överens om riktlinjer för leverans av utrustning för nukleära anläggningar. Viss materiel som definieras i en "Trigger List" får inte brukas för tillverkning av utrustning, som kan användas för explosiva laddningar. Riktlinjerna innehåller bestämmelser om säkerhetskontroll på material och utrustning, som finns uppräknade i den nämnda förteckningen. I en särskild förbindelse krävs av mottagaren, att han ordnar effektivt fysiskt skydd, så att materialen inte kan användas för icke auktoriserade ändamål.

Den amerikanska Non Proliferation Act av 1978

Samma år som London Clubs riktlinjer färdigställdes, trädde i USA en ny lag i kraft, "Nuclear Non Proliferation Act". Lagen kräver, att innan USA levererar t.ex. material till ett

land, måste i allmänhet ett heltäckande, (full scope, termen används inte i IAEA:s egna anvisningar) avtal ha slutits om säkerhetskontroll omfattande all nukleär verksamhet mellan landet ifråga och IAEA. USA kan på detta sätt påverka den policy beträffande t.ex. bränslecykeln, som mottagarlandet ämnar föra beträffande t.ex. upparbetning och anrikning av bränsle från USA.

USA:s introduktion av begreppet heltäckande säkerhetskontroll som ett villkor för leverans innebär ett välkommet stöd för de tankar, som ligger bakom IAEA:s i statuterna beskrivna säkerhetskontroll. Olyckligtvis förde den nya lagen med sig biverkningar, i det att vissa länder kände sig tvingade att accelerera sina ansträngningar mot nukleärt oberoende för att på det sättet i framtiden slippa bli beroende av leverantörer, som kunde ställa upp svåra eller oantagliga villkor. Japans planer på en stor upparbetningsanläggning för använt bränsle, som nu är under uppförande, är exempel på åtgärder för att uppnå nukleärt oberoende liksom de skrinlagda planerna i Västtyskland på en stor anläggning i Wackersdorf. Upparbetningsanläggningar av olika storlek från laboratorieskala till större kapaciteter kan förmodas vara i drift i flera länder som Argentina, Indien och Israel. Även anläggningar för produktion av anrikat uran med olika anrikningsgrad eller tungt vatten torde existera i t.ex. Argentina, Brasilien, Pakistan och Sydafrika.

NPT-fördragets periodiska konferenser

Fördraget om förhindrande av spridning av atomvapen (NPT) är anmärkningsvärt ur flera synpunkter. Det indelar i själva verket de fördragsslutande parterna i två grupper: de som är kärnvapenstater och de som vill medverka i avsikten att vid snarast möjliga tidpunkt uppnå ett stopp för kärnvapenkapprustningen. I fördragstextens mening är en kärnvapenstat en stat, som har tillverkat och fått ett kärnvapen eller annan kärnladdning att explodera före den 1 januari

1967. Det innebär att Indien, som exploderade en kärnladdning för "fredliga ändamål" 1974, inte är en kärnvapenstat i fördragets mening.

Med femårsintervall efter 1970 har konferenser hållits mellan fördragsparterna. En konferens skall också hållas 1990 i syfte att förvissa parterna om att föresatserna i fördragets inledning och fördragsbestämmelser efterföljs. I de hittills hållna konferenserna har framförallt de bristande framstegen vad gäller förverkligandet av Artikel VI kritiserats. I den talas om förhandlingar med avseende på kärnvapenkapprustningens snara upphörande och på kärnvapenedrustning. *Tabell 4* som är hämtad från Robert McNamaras bok "Blundering into disaster" (1987) torde ge storleksordningen av ackumuleringen av kärnvapen sedan 1945. Den visar inte på några framsteg enligt Artikel VI.

Tabell 4 *Antal kärnvapen.*

	1945	1955	1960	1970	1980	1990
USA	2	4750	6100	4000	10100	14000—19000
Sovjet		20	300	1300	6000	18000—20000

I Artikel X sägs att tjugofem år efter det NPT-fördraget trätt i kraft, d.v.s. 1995, skall en konferens sammankallas för att avgöra, om fördraget skall förbli i kraft på obestämd tid eller om det skall förlängas. Beslutet fattas av en majoritet av fördragsparterna. I samma artikel sägs också varje fördragspart ha rätt att säga upp fördraget, om den finner att extraordinära händelser har äventyrat dess högsta intressen. Alla fördragspartner och FN:s säkerhetsråd skall underrättas om en sådan uppsägning tre månader i förväg.

Redovisningen över antalet kärnvapen i USA och Sovjet visar hur, trots NPT-avtalets Artikel VI, supermakternas tillgång till kärnvapen har ökat under de senaste decennierna. Man brukar tala om en vertikal upprustning hos kärnvapenstaterna. Samtidigt har den horisontella sprid-

ningen av kärnvapen under de 20 år avtalet varit i kraft begränsats på ett anmärkningsvärt sätt. Det gör att NPT trots allt måste sägas vara en stor framgång. Men frågan är, hur länge icke-vapen-staterna fortsätter att nöja sig med det nuvarande tillståndet med avseende på hur kärnvapenstaterna har efterlevt artikel VI.

Supermakterna har hittills upprättat och utarbetat militär strategi under förutsättning att kärnvapen kan likställas med andra militära hjälpmedel för att få övertag i en konfliktsituation. Ännu har inte någon nedrustning av kärnvapen ägt rum, och de överenskommelser som träffats genom INF-avtalet (Intermediate-range Nuclear Forces) om nedrustning i Europa har hittills bara berört avskjutningsramperna, inte en destruktion av själva laddningarna. Men ett nytänkade har börjat göra sig gällande. Både från amerikanskt och ryskt håll talas om att supermakterna inte behöver fler nukleära vapen än vad som behövs för att avskräcka motparten från att använda dem.

En reduktion av amerikanska och ryska kärnvapen till ett antal av 500 för vardera landet skulle innebära, att det nuvarande riskfyllda tillståndet med totalt 50 000 vapen lagrade för omedelbar användning och total förintelse av inte bara motståndaren utan sannolikt också av en stor del av livet på jorden ersätts av en beredskap, som kan garantera att inga oväntade attacker utanför gjorda överenskommelser igångsätts. Att även atomvapenstater utanför supermakterna måste vara införstådda med dessa tänkta reduktioner av antalet lagrade vapen är uppenbart.

Kärnkraftens fortsatta utbyggnad

Framställningen av atomvapen har varit samtidig med kärnkraftens utveckling, såsom man kan avläsa den i antalet reaktorer i drift och under byggnad, tabell 5. Antalet länder med kraftproducerande reaktorer är för närvarande 27. Antalet länder som demonstrerat sin kärnvapenproduktion ge-

Tabell 5 Kärnkraftreaktorer i drift och under byggnad 31 dec. 1989.

LAND	I DRIFT		UNDER BYGGNAD		Nukleär elproduktion under 1989		År	Total drift erfarenhet Månader
	Antal enheter	Total MW (e)	Antal enheter	Total MW (e)	TW (e) .h	procent av all el		
Argentina	2	935	1	692	4,6	11,4	22	7
Belgien	7	5500			38,8	60,8	93	7
Brasilien	1	626	1	1245	1,7	0,7	7	9
Bulgarien	5	2585	2	1906	14,6	32,9	48	8
Finland	4	2310			18,0	35,4	43	4
Frankrike	55	52588	9	12245	289,0	74,6	543	1
Indien	7	1374	7	1540	3,4	1,6	79	2
Iran			2	2392				
Italien	2	1120					79	10
Japan	39	29300	12	10629	185,8	27,8	432	4
Jugoslavien	1	632			4,5	5,9	8	3
Kanada	18	12185	4	3524	75,4	15,6	224	0
Kina			3	2148				
Korea	9	7220	2	1900	45,0	50,2	45	1
Kuba			2	816				
Mexico	1	654	1	654			0	9
Nederländerna	2	508			3,8	5,4	37	9
Pakistan	1	125			0,1	0,2	18	3
Rumänien			5	3125				
Schweiz	5	2952			21,5	41,6	73	10
Sovjetunionen	46	34230	26	22180	212,6	12,3	468	11
Spanien	10	7544			53,7	38,4	92	7
Storbritannien	39	11242	1	1188	63,4	21,7	850	10
Sverige	12	9817			62,8	45,1	147	2
Sydafrika	2	1842			11,1	7,4	10	3
Tjeckoslovakien	8	3264	8	5120	22,9	27,6	52	1
Ungern	4	1645			13,0	49,8	18	2
USA	110	98331	4	4284	529,4	19,1	1371	4
Västtyskland	24	22716	1	295	141,2	34,3	303	3
Östtyskland	6	2102	5	3024	11,1	10,9	78	2
Totalt	426	318271	96	78907	1854,5		5201	1

Anm: Tio sovjetiska reaktorer som fanns med på listan för 1988 är inte med på 1989 års lista.

Totalsumman inkluderar följande data från Taiwan, Kina:

- 6 enheter, 4924 MW(e) i drift;
- 27,1 TWh av nukleär elproduktion, motsvarande 35,2 procent av den totala elproduktionen.
- 50 år och 1 månad av total drifterfarenhet.

Källa: IAEA PRIS, Report NBLF030 90-03-26

nom underjordiska försök under de senaste två decennierna uppgår fortfarande bara till fem förutom Indien. Det är viktigt att komma ihåg att det övervägande antalet kärnvapen produceras i de två supermakterna.

Den fortsatta användningen av kärnkraft har det senaste årtiondet påverkats av en utpräglad opinion i många länder mot fortsatt utbyggnad och även mot användning av kärnkraft i framtiden. Olyckshändelserna i Windscale 1958 och i Harrisburg (Three Mile Island) 1979 har aktualiserats genom Tjernobyl 1986 med dess konsekvenser långt utanför Sovjets gränser. Kärnkraftens säkerhet har ifrågasatts av den allmänna opinionen. Den har inte varit intresserad av att erinras om det storartade tekniska genombrott som kärnkraften representerar. Så länge inga väsentliga alternativ utom kärnkraften kan erbjudas för lösandet av världens energiförsörjning kommer troligen kärnenergin inom ett decennium att på nytt accepteras av den allmänna opinionen i de länder, som nu intar en restriktiv attityd.

För närvarande produceras c:a 17 procent av världens el medelst kärnkraft och ökningen av bl.a. koldioxidhalten i atmosfären fortsätter, bl.a. genom en ständigt ökad användning av fossila bränslen.

En djupare förståelse för kärnvapnens karaktär som verktyg för förintelse kan kanske leda till reduktion av antalet kärnladdningar eller den vertikala spridningen så som McNamara antytt. Samtidigt kan det kontrollsystem som byggts upp garantera en begränsning av kärnvapenstaternas antal eller den horisontella spridningen av kärnvapen. Just nu vållar de ökade kostnaderna för en väl genomförd säkerhetskontroll av det hela tiden ökande kärnreaktorprogrammet svårigheter i budgetplaneringen inom IAEA. Om man betänker på att kostnaderna för säkerhetskontroll av den energimängd som existerande kärnreaktorer producerade i form av el 1989 varit 0,003 US cents per kWh eller 0,02 öre per kWh, borde inte dessa ökade kostnader spela någon roll.

Värre är att tillverkningen och utprovningen av kärnvapen

hos bl.a. supermakterna har medfört nedsmittning (kontaminering) av stora områden, där vapenprov eller olika led av vapentillverkningen ägt rum. I USA har det senaste året konstaterats att icke tillräckliga åtgärder vidtagits för att avskärma biosfären från nedsmittning av radioaktivt material i bl.a. Hanford-anläggningen i staten Washington där man producerat plutonium för vapentillverkning, i Rocky Flats, Colorado, där vapendetaljer tillverkats och i Savannah River-området, där reaktorer av tungvattentyp för tritiumproduktion finns. Reaktorerna i Savannah River-området har ingalunda uppfyllt de säkerhetskrav, som nu ställs på den civila reaktordriften.

Kostnaden för en sanering av de nedsmittade områdena är enorma. Så talas i en rapport från Department of Energy i USA om att en första uppskattning av kostnaderna pekar mot c:a 200 000 M USD, d.v.s. hundra gånger mer än vad projektet att utveckla den första atombomben kostade under kriget.

Nyligen har i USA en ny myndighet etablerats, Defence Nuclear Facilities Safety Board, som är direkt underställd presidenten. Energiministern är enligt lag skyldig att verkställa den nya myndighetens rekommendationer.

Vi vet mindre om, hur kärnvapenproduktionen skötts i Sovjetunionen. Nyligen har emellertid officiellt medgivits, att 1957 en kemisk explosion ägde rum i närheten av Kysh-tym vid södra Ural, varvid förvaringstankar med starkt radioaktiva lösningar sprängdes i luften. Radioaktivitet motsvarande hälften av vad som spreds ut vid Tjernobylolyckan 1986 kontaminerade ett stort område värdefull mark.

I detta sammanhang bör nämnas, att USA och Sovjetunionen gemensamt torde ha förlorat minst ett halvdussin reaktorer och sannolikt också ett antal stridsspetsar genom olyckshändelser av olika slag. Konsekvenserna av dessa förluster för t.ex. det marina livet i närheten av olycksplatserna låter sig inte uppskattas.

Många länders reaktorer är föremål för en nationell kon-

troll och en frivillig internationell översyn i IAEA:s regi med avsikt att göra dem så driftsäkra som möjligt och för att i så hög grad som möjligt eliminera konsekvenserna av en olyckshändelse. Trots detta är massmedia över hela världen ständigt verksamma för att betona riskerna med den civila kärnkraften, som i form av kända olyckshändelser hittills endast direkt krävt ett trettiotal liv i samband med Tjernobylyckan. (Se kapitel 4 i denna bok.) Det vore önskvärt, om samma media också kunde ägna sig åt de skador som redan tillverkningen av kärnvapen medfört för omgivningen för att inte tala om den förintelse, som användningen av samma vapen skulle åstadkomma.

Till detta kan man också lägga de politiska konflikter man kan förutse, om atomkraften elimineras för att ersättas av fossila bränslen med känsliga leveransproblem och globala följder genom nedsmutsning av jordatmosfären.

Icke-kärnvapenstater som är fördragsparter i NPT har accepterat IAEA:s säkerhetskontroll. Kärnvapenstaterna själva är inte föremål för någon kontroll av nukleär verksamhet, som enligt deras eget bedömande är av vikt för landets säkerhet. I syfte att något mildra denna diskrepans har vissa vapenstater förklarat sig villiga att acceptera säkerhetskontroll inom områden, som inte är av betydelse för landets säkerhet. Att på detta sätt uppnå viss jämställdhet mellan kärnvapenstater och icke-kärnvapenstater ansågs tidigare vara av betydelse i den fria marknadskonkurrensen. Det ansågs också vara av betydelse för IAEA:s inspektörer att få insyn i tekniska detaljer, som kanske inte fanns inom icke-vapenstaterna. Ingentenda argumentet torde numera tillmätas någon vikt. Man kan ifrågasätta den reella nyttan av en fullständig kontroll av alla civila anläggningar i vapenländerna, så länge vapentillverkningen icke är föremål för någon kontroll.

En fråga som på sistone tilldragit sig intresse, är säkerhetskontroll av sådant klyvbart material, som av olika anledningar endast ingår som en mycket liten bråkdel av en stor

mängd icke klyvbart material. Om det klyvbara materialet icke tekniskt eller ekonomiskt kan återvinnas, är den ännu icke formellt stadfästa uppfattningen, att någon säkerhetskontroll icke längre erfordras.

Säkerhetskontroll av använt kärnbränsle som överförs till slutförvar, måste enligt nuvarande uppfattning fortsätta att utövas om också med annan teknik. Omfattningen av erforderlig säkerhetskontroll är under diskussion. Avlyssningsapparater får kanske ersätta okulär inspektion, varigenom man kan förvissa sig om att förvaret förblivit intakt, även om det med tiden får karaktär av en plutoniumgruva. Dess värde för vapenproduktion sammanhänger med isotopkompositionen i bränslet, när det tas ut ur reaktorn och den tid lagringen pågått i slutförvaret.

Det är femtio år sedan den nya fysikaliska process upptäcktes, som ligger till grund för atomenergiutvecklingen på ont och gott. Vid en bedömning av säkerhetskontrollens betydelse kan man först och främst konstatera, att trots den snabba tillväxten av kärnenergi för fredliga ändamål till förväntade 500 kraftproducerande reaktorer vid sekelskiftet har antalet kärnvapenstater tills nu förblivit konstant.

Trots ofullständigheten i kontrollsystemet och trots NPT-avtalets uppenbara svagheter måste den fortsatta utvecklingen noggrant följas vad antalet kärnvapenstater och antalet kärnvapen beträffar. IAEA spelar i detta sammanhang en fundamentalt viktig roll. Man behöver inte ha kraftproducerande reaktorer för att tillverka atomvapen, se exempelvis Kina, men har man kraftproducerande reaktorer, kan vapenstaterna använda dem för produktion av atomvapenmaterial. Inget av dagens kärnvapenländer har gått vägen över kraftreaktorer för att framställa sina första atomvapen.

Nya kärnenergiproducerande stater som vill använda den nya energikällan och teknologien för icke fredliga ändamål kan endast hejdas genom ett väl genomtänkt och framför allt politiskt understött kontrollsystem med förbud mot fortsatta vapenprov. *En fortsatt utbyggnad av kärnkraften måste åt-*

följas av säkerhetskontroll. Endast på det sättet har man en möjlighet att kunna begränsa antalet kärnvapenstater och bidra till och möjligen reducera det orimliga antalet existerande kärnvapen, som förblir ett dödligt hot mot vår fortsatta existens på jorden.

Med de uppgifter som nu står till förfogande (december 1990) är det klart, att också i Sovjetunionen kärnvapenproduktionen lett till avsevärd kontaminering av stora geografiska områden. Konsekvenserna för civilbefolkningen har i många fall varit avsevärda och tvingat myndigheterna att stänga bl. a. det område i Semipalatinsk i Kasachstan, som under decennierna använts för kärnvapenprov. I stället har man på nytt öppnat det försöksområde i ögruppen Novaja Zemlja i Barents hav, vilket under början av 60-talet användes för de största provsprängningar, som någonsin utförts. Detta innebär bara, att en ny opposition mot kärnvapenprov kommit till stånd i norra Europa. Små mängder radioaktivitet har kunnat konstateras i luften över Stockholm, ditförda av nordliga vindar från Barents hav.

Ett förbud mot provsprängningar är den självklara lösningen till de problem, som kärnvapenförsöken fört med sig, vare sig de ägt rum i Nordamerika, Barents hav, Gobiöknen, Stilla-Havsatoller eller Australien. Ett förbud har tidigare initierats och ensidigt upprätthållits av Sovjetunionen under mer än ett år men sedan avbrutits, då andra vapenstater fortsatt med sina provsprängningar. En överenskommelse borde träffas i god tid före den viktiga NPT-konferensen år 1995.

I september hölls i Genève den fjärde periodiska konferensen inom NPT. Då om 5 år ytterligare en konferens skall hållas för att avgöra, om fördraget skall förbli i kraft på obestämd tid eller om det skall förlängas, var intresset för årets konferens som en förberedelse av vad som måste beslutas 1995 påtagligt. Tyvärr kunde man inte enas om ett slutdokument. Resultat blev närmast ett upprepande av tidigare av parterna uttalade önskemål om effektivisering av

säkerhetskontroll och införande av tillfälliga inspektioner och inspektioner utan föregående avisering samt etablerandet av depåer under IAEA av plutonium och höganrikat uran. Konferensen kunde inte heller enas om ett fullständigt upphörande av kärnvapenprov. Ett väsentligt bidrag lämnades av Tyskland, som i framtiden kommer att begära heltäckande säkerhetskontroll vid leveranser av kärnteknisk materiel till icke NPT-länder. Det är också uppmuntrande, att Argentina och Brasilien som deltog i konferensen som observatörer, nu är överens om samarbete på flera områden. De avser bl.a. att genom ömsesidiga inspektioner av atomanläggningar, i samarbete med IAEA, skapa förtroende för varandras arbeten för fredliga ändamål på det kärntekniska området.

Över hela världen kan man konstatera ett starkt ökat intresse för frågor i samband med kärnkraftanläggningars säkerhet. I samband med de ökade möjligheterna till personliga kontakter och utbyte av informationer om anläggningar i det tidigare socialistiska blocket har man alltmer kommit att ifrågasätta om de säkerhetsnormer man där följt uppfyller de krav som man i västvärlden tillämpat inom avancerad kärnteknologi.

Man är i de flesta länder medveten om att en upprepning av Tjernobylikatastrofen skulle få stora verkningar på opinionen i länder, där man driver kärnkraftreaktorer för fredliga ändamål. Resultatet av undersökningar gjorda av internationella expertgrupper från IAEA och representanter för kommersiell nukleär industri har givit anledning till allvarliga erinringar rörande driften av kraftreaktorer i länder som tidigare DDR, Tjeckoslovakien och Bulgarien. Även inhemsk expertis har ifrågasatt driften av vissa stora reaktorer i Sovjetunionen. I flera fall visar det sig, att kostnaderna för en tillfredsställande ombyggnad av en anläggning ur säkerhetssynpunkt ställer sig dyrbarare än en helt ny anläggning.

Antalet kraftreaktorer som av skäl som nämnts är hotade av nedläggning i de nämnda länderna torde vara ett 10-tal,

förhoppningsvis också inkluderande vapenproducerande reaktorer. I hela världen torde totalt c:a 60 kraftreaktorer och 250 forskningsreaktorer av såväl ålders som ekonomiska skäl vid sekelskiftet bli föremål för granskning beträffande nedläggning enligt icke officiella uppgifter från IAEA.

Man brukar säga, att det är den första generationen av kärnkraftreaktorer, som nu är i användning och fortfarande byggs, t. ex. i Frankrike och i Japan, men nya konstruktioner är under utveckling, t. ex. i USA, Japan och Sverige (SECURE och PIUS). De kommer att bli pilotprojekt i den utveckling, som påbörjas när kärnkraften igen blir något, som är nödvändigt att ha, och som är acceptabelt för folk med hänsyn till storlek och typ.

Annex I

Fördrag om förhindrande av spridning av kärnvapen

De fördragsslutande staterna, härafter betecknade "fördragsparterna",

som beaktar den fördöelse som skulle drabba hela mänskligheten genom ett kärnvapenkrig samt den härav följande nödvändigheten att vidtaga varje ansträngning för att avvända faran för ett sådant krig och att vidtaga åtgärder för att garantera folkens säkerhet,

som anser att spridningen av kärnvapen skulle allvarligt öka faran för kärnvapenkrig,

i överensstämmelse med Förenta Nationernas generalförsamlings resolutioner, vari krävs att ett avtal om förhindrande av vidare spridning av kärnvapen träffas,

som förbinder sig att samarbeta för att underlätta att Internationella atomenergiorganets kontroll tillämpas på fredlig kärnenergiverksamhet,

som uttalar sitt stöd för forskning, utveckling och andra ansträngningar för att främja tillämpningen, inom ramen för Internationella atomenergiorganets kontrollsystem, av principen att effektivt kontrollera flödet av atområbränsle och särskilt klyvbart material genom användning av instrument och annan teknik på vissa strategiska punkter,

som fastslår principen att fördelarna av kärnteknologins fredliga tillämpning, inbegripet varje teknisk biprodukt som kärnvapenstater kan utvinna vid utvecklingen av kärnladdningar, skall vara tillgängliga för fredliga ändamål för alla fördragsparter, vare sig de är kärnvapenstater eller icke-kärnvapenstater,

som är övertygade att, för att främja denna princip, alla fördragsparter är berättigade att delta i fullständigast möjliga utbyte av vetenskaplig information för, och att ensamma eller i samarbete med andra stater bidra till, den vidare utvecklingen av kärnenergis fredliga tillämpning,

som tillkännager sin avsikt att vid snarast möjliga tidpunkt uppnå ett stopp för kärnvapenkappning samt att vidtaga effektiva åtgärder i riktning mot kärnvapenedrustning,

som yrkar på alla staters medverkan till att detta mål uppnås,

som erinrar om den föresats som uttrycktes av parterna i inledningen till 1963 års avtal om förbud mot kärnvapenprov i atmosfären, i yttre rymden och under vatten, att söka åstadkomma att alla provsprängningar av kärnvapen upphör för alltid samt att fortsätta förhandlingar för att uppnå detta mål,

som önskar främja internationell avspänning och stärkandet av förtroendet

mellan stater för att underlätta att kärnvapentillverkningen upphör, att alla deras förefintliga lager avvecklas samt att kärnvapen och kärnvapenbärande utsluts ur nationella arsenaler enligt ett avtal om allmän och fullständig avrustning under noggrann och effektiv internationell kontroll,

som erinrar om att, enligt Förenta Nationernas stadga, stater i sina internationella förbindelser måste avstå från hot eller användning av våld, rikttat mot någon stats territoriella integritet eller politiska oberoende eller på något annat sätt oförenligt med Förenta Nationernas syften, samt att upprättandet och vidmakthållandet av internationell fred och säkerhet skall främjas med minsta möjliga överföring till rustningsändamål av världens mänskliga och ekonomiska resurser,

har överenskommit som följer:

Artikel I

Varje kärnvapenstat som är fördragspart förbinder sig att icke till någon som helst mottagare överlåta kärnvapen eller andra kärnladdningar eller kontrollen över sådana vapen eller laddningar, vare sig direkt eller indirekt; samt att icke på något sätt bistå, uppmuntra eller förmå någon icke-kärnvapenstat att tillverka eller på annat sätt förvärva kärnvapen eller andra kärnladdningar eller kontroll över sådana vapen eller laddningar.

Artikel II

Varje icke-kärnvapenstat som är fördragspart förbinder sig att icke från någon som helst överlätare mottaga kärnvapen eller andra kärnladdningar eller kontroll över sådana vapen eller laddningar, vare sig direkt eller indirekt; att icke tillverka eller på annat sätt förvärva kärnvapen eller andra kärnladdningar; samt att icke söka eller mottaga något bistånd för tillverkning av kärnvapen eller andra kärnladdningar.

Artikel III

1. Varje icke-kärnvapenstat som är fördragspart förbinder sig att godtaga kontroll. sådan den angivits i ett avtal som skall träffas efter förhandlingar med Internationella atomenergiorganet i överensstämmelse med dess stadga och kontrollsystem, i det enda syftet att kontrollera att parten fullgör under detta fördrag ingångna förpliktelser för att hindra överföring av kärnenergi från fredlig användning till kärnvapen eller andra kärnladdningar. Åtgärder för den kontroll som erfordras enligt denna artikel skall äga tillämpning på atområbränsle eller särskilt klyvbart material, vare sig det framställs, bearbetas eller används i någon primär kärnteknisk anläggning eller finns utanför någon sådan anläggning. Den kontroll som erfordras enligt denna artikel skall tillämpas på allt atområbränsle eller särskilt klyvbart ma-

terial i varje fredlig verksamhet på kärnenergiområdet inom sådan stats territorium, under dess jurisdiktion eller utövad någons stades under dess kontroll.

2. Varje stat som är fördragspart förbinder sig att icke tillhandahålla:

(a) atområbränsle eller särskilt klyvbart material, eller

(b) utrustning eller material som har särskilt konstruerats eller iordningställt för bearbetning, användning eller framställning av särskilt klyvbart material

till någon icke-kärnvapenstat för fredliga ändamål med mindre atområbränslet eller det särskilt klyvbara materialet underkastas den kontroll som erfordras enligt denna artikel.

3. Den kontroll som erfordras enligt denna artikel skall tillämpas på ett sätt som står i överensstämmelse med artikel IV i detta fördrag och som är ägnat att undvika att skapa svårigheter i vad avser fördragsparternas ekonomiska och tekniska utveckling eller internationellt samarbete om fredlig kärnenergi verksamhet, inbegripet internationellt utbyte av kärnmaterial och utrustning för bearbetning, användning eller framställning av kärnmaterial för fredliga ändamål i överensstämmelse med bestämmelserna i denna artikel och den princip för kontroll som angivits i detta fördrags inledning.

4. För att uppfylla kraven enligt denna artikel skall icke-kärnvapenstater som är fördragsparter träffa avtal med Internationella atomenergiorganet, antingen individuellt eller tillsammans med andra stater, i överensstämmelse med Internationella atomenergiorganets stadga. Förhandlingar om sådana avtal skall inledas inom 180 dagar från detta fördrags ikraftträdande. För stater som deponerar sina ratifikations- eller anslutningsinstrument efter 180-dagarsperiodens slut skall förhandlingar om sådana avtal börja senast på dagen för deras deposition. Avtalen skall träda i kraft senast aderton månader efter dagen för förhandlingarnas inledande.

Artikel IV

1. Ingenting i detta fördrag skall tolkas såsom påverkande samtliga fördragsparterets förnytteliga rätt att utveckla forskning, framställning och användning av kärnenergi för fredliga ändamål utan diskriminering och i enlighet med artiklarna I och II i detta fördrag.

2. Alla fördragsparter förbinder sig att underlätta, och har rätt att delta i, fullständigast möjliga utbyte av utrustning, material samt vetenskaplig och teknisk information för kärnenergens fredliga användning. Fördragsparter som är i stånd att göra så skall också samarbeta för att, antingen ensamma eller tillsammans med andra stater el-

ler internationella organisationer, bidra till den fortsatta utvecklingen av kärnenergin tillämpning för fredliga ändamål, särskilt inom områden som tillhör fördragsanslutna icke-kärnvapenstater, allt under vederbörligt hänsynstagande till behoven inom världens utvecklingsområden.

Artikel V

Varje fördragspart förbinder sig att vidtaga lämpliga åtgärder för att säkerställa att, i överensstämmelse med detta fördrag, under lämplig internationell insyn och genom lämpliga internationella procedurer, möjliga förklarar av varje fredlig tillämpning av kärnexplosioner kommer att göras tillgängliga för icke-kärnvapenstater som är fördragsparter under icke diskriminerande betingelser, samt att den från sådana fördragsparter begärda ersättningen för utnyttjade laddningar kommer att vara så låg som möjligt och utesluta all ersättning för forskning och utveckling. Icke-kärnvapenstater som är fördragsparter skall kunna erhålla dessa fördelar, enligt ett eller flera internationella avtal, genom ett lämpligt internationellt organ med tillfredsställande representation från icke-kärnvapenstater. Förhandlingar i detta avseende skall börja så snart som möjligt efter det att detta fördrag träder i kraft. Icke-kärnvapenstater som är fördrags-

parter må, om de så önskar, också förskaffa sig sådana fördelar enligt bilaterala avtal.

Artikel VI

Varje fördragspart förbinder sig att fortsätta förhandlingar i uppriktigt avsikt om effektiva åtgärder med avseende på kärnvapenkappningens snara upphörande och på kärnvapenedrustning, samt om ett avtal om allmän och fullständig avrustning under noggrann och effektiv internationell kontroll.

Artikel VII

Ingenting i detta fördrag påverkar rätten för en grupp av stater att sluta regionala avtal för att säkerställa fullständig frånvaro av kärnvapen inom deras respektive territorier.

Artikel VIII

1. Varje fördragspart må föreslå ändringar i detta fördrag. Texten till varje föreslagna ändring skall underställas depositarieregeringarna, vilka skall cirkulera denna till alla fördragsparter. Därefter skall depositarieregeringarna, om de anmodats därtill av en tredjedel eller flera av fördragsparterna, sammankalla en konferens, till vilken de skall inbjuda alla fördragsparter för att överväga en sådan ändring.

2. Varje ändring i detta fördrag måste godkännas med en majoritet av rösterna från alla fördrags-

parter, inbegripet rösterna från alla kärnvapenstater som är fördragsparter samt från alla andra fördragsparter som, vid den tidpunkt då ändringen cirkuleras, är medlemmar av Internationella atomenergiorganets styrelse. Ändringen skall träda i kraft för varje fördragspart som deponerar sitt ratifikationsinstrument rörande ändringen, då sådana ratifikationsinstrument har deponerats av en majoritet av alla fördragsparter, inbegripet ratifikationsinstrumenten från alla kärnvapenstater som är fördragsparter samt från alla andra fördragsparter som, vid den tidpunkt då ändringen cirkuleras, är medlemmar av Internationella atomenergiorganets styrelse. Därefter skall den träda i kraft för varje annan fördragspart, då dess ratifikationsinstrument rörande ändringen deponerats.

3. Fem år efter detta fördrags ikraftträdande skall en konferens mellan fördragsparterna hållas i Genève, Schweiz, för att granska hur fördraget fungerar i avsikt att vinna förvisning om att föresatserna i fördragets inledning och fördragsbestämmelserna förverkligas. Med fem års intervall därefter må en majoritet av fördragsparterna, genom att underställa depositarieregeringarna ett förslag därom, utverka att ytterligare konferenser sammankallas med samma ändamål att granska hur fördraget fungerar.

Artikel IX

1. Detta fördrag skall stå öppet för alla stater att underteckna. Stat som icke undertecknar detta fördrag före dess ikraftträdande enligt paragraf 3 i denna artikel må ansluta sig till det när som helst.

2. Detta fördrag skall ratificeras av de stater som undertecknar det. Ratifikationsinstrument och anslutningsinstrument skall deponeras hos De Socialistiska Rådsrepublikernas Unions regering, Förenade Konungariket Storbritannien och Nordirlands regering och Amerikas Förenta Staters regering, vilka härmed utses till depositarieregeringar.

3. Detta fördrag skall träda i kraft, då det har ratificerats av de stater, vars regeringar har utsetts till depositarieregeringar för fördraget och av fyrtio andra stater som har undertecknat fördraget samt då deras ratifikationsinstrument deponerats. I detta fördrags mening är en kärnvapenstat en stat som har tillverkat och fått ett kärnvapen eller annan kärnledning att explodera före den 1 januari 1967.

4. För stater vilkas ratifikations- eller anslutningsinstrument deponeras efter detta fördrags ikraftträdande skall fördraget träda i kraft på dagen för deposition av deras ratifikations- eller anslutningsinstrument.

5. Depositarieregeringarna skall omedelbart underrätta alla stater som har undertecknat och an-

slutit sig till fördraget om dagen för varje undertecknande, dagen för deposition av varje ratifikations- eller anslutningsinstrument, dagen för detta fördrags ikraftträdande samt dagen för mottagande av framställningar att sammankalla en konferens eller andra meddelanden.

6. Detta fördrag skall registreras av depositarieregeringarna enligt artikel 102 i Förenta Nationernas stadga.

Artikel X

1. Varje fördragspart skall under utövande av sin nationella suveränitet ha rätt att uppsäga fördraget, om den finner att extraordinära händelser, sammanhängande med det ämne som avhandlas i detta fördrag, har äventyrat dess högsta intressen. Den skall underrätta alla andra fördragsparter och Förenta Nationernas säkerhetsråd om sådan uppsägning tre månader i förväg. Sådan underrättelse skall innefatta en redogörelse för de extraordinära händelser som den anser ha äventyrat dess högsta intressen.

2. Tjugofem år efter detta fördrags ikraftträdande skall en konferens sammankallas för att avgöra om fördraget skall förbli i kraft på obestämd tid eller om det skall förlängas för ytterligare en eller flera bestämda perioder. Detta beslut skall fattas av en majoritet av fördragsparterna.

Artikel XI

Detta fördrag, vars engelska, franska, kinesiska¹, ryska och spanska texter skall äga lika vitsord, skall deponeras i depositarieregeringarnas arkiv. Bestyrkta avskrifter av detta fördrag skall av depositarieregeringarna överlämnas till regeringarna i de stater som har undertecknat eller anslutit sig till fördraget.

Till bekräftelse härav har undertecknade, därtill befullmäktigade, undertecknat detta fördrag.

Som skedde i London, Moskva och Washington i tre originalexemplar den 1 juli 1968.

Författarna

Lars Bergman är professor i nationalekonomi med inriktning på energi och miljö vid Handelshögskolan i Stockholm. Han ingår också i SNS Konjunkturråd.

Sten Bjurström är teknologie licenciat vid KTH. Han är sedan 1983 VD vid Svensk Kärnbränslehantering AB (SKB).

Sigvard Eklund, docent i kärnfysik vid KTH, var generaldirektör vid IAEA i Wien 1961—1981.

Lennart Hjalmarsson är professor i nationalekonomi vid Göteborgs universitet. Hans forskning är främst inriktad mot produktivitets- och energiproblem.

Olof Hörmander är teknologie doktor hc. vid KTH. Han var 1983—1989 generaldirektör och chef för statens Kärnkraftsinspektion.

Nils Lundgren, fil. dr i nationalekonomi, är chefsekonom i Nordbanken samt fristående konsult inom området samhällsekonomisk analys.

Evelyn Sokolowski är docent i reaktorfysik vid CTH och är numera chef för information och samhällskontakt vid KSU (Kärnkraftssäkerhet och Utbildning AB).

Bo Södersten är professor i internationell ekonomi vid Lunds universitet.

Gunnar Walinder är professor i strålningsbiologi vid Stockholms universitet. Han är sedan 1986 forskningschef vid Sveriges lantbruksuniversitet.

Register

- ABB 39
ABB Atom 34, 165
aktivitet 151, 158, 174
Alfa-Laval 39
alfastrålning 150
använt kärnbränsle 168, 170 f,
175, 190, 193, 201
Argentina 194, 197, 203
Armenien 27
arvsmassa 104, 109 f, 120
arvsmassor, djur 124 f
ASEA-Atom 29
Atlas-Copco 39
atomansvarighetslagen 35
atombomb 137, 185
atomkärna 133, 135, 137, 150
avfall 19 f, 34, 139, 168, 179, 182
– driftavfall 19, 142, 170, 172,
175 f
– hantering och förvaring 48,
167 ff
– högaktivt avfall 19
– lagring a v använt bränsle, se
CLAB och SFR
– mellanlager 20, se CLAB
avfallsbehandling 124
avskjutningsramperna 196
avveckling 11 ff, 20, 24 f, 26,
29 ff, 37 f, 42 ff, 49, 58, 60,
61 f, 68 f, 71 f, 74, 87, 92, 94 f,
105, 128, 156, 160, 165
avvecklingskostnader 23, 26,
45 f, 48, 51, 58, 59 ff, 70, 71,
94, 164, 169
– anpassningskostnader 48 f,
66, 68
– direkta kostnader 48 f, 52,
58 ff
– indirekta kostnader 48 f
– politiska kostnader 49, 68
avvecklingsbeslut 42
Bagdad 193
bakgrundsdos 142
bakgrundsstrålning 123, 126, 181
Barsebäck 34, 36, 163
becquerel (Bq) 151
Belgien 197
bentonit 180 f
berganläggning 177, 182
betastrålning 150
Bhopal-olyckan, Indien 17, 105,
122, 131–132
biobränslen 72
biologisk effekt 120, 125
biologisk verkan 120, 151
Bofors 39
bor 167
Bradwell, England 189
Brasilien 194, 197, 203
bränsleelement 154, 157, 170
bränslekapplingen 140
bränslepatroner 140
bränslestavar 140 f, 143
bränsletillverkning 182
bränslets kristallstruktur 140
Bulgarien 197, 203
bytesbalans 64
cancer 104 ff, 108, 110 ff, 114 ff,
119 ff, 124, 130, 155, 159, 161
celldelning 109
centralt mellanlager för använt
bränsle, se CLAB
cesium 118, 158, 163
cesium-137 139
CLAB, centralt mellanlager för
använt bränsle 34, 174 f, 177 f,
182
Danmark 163
Defence Nuclear facilities Safty
Board 199

- direkt bestrålning 171
 diselaggregat 146
 djupförsvar 144, 149
 dosberäkningar 179
 driftavfall, se avfall
- effektagift 78
 effekterfrågan 53 ff
 effektpris 79
 EG 29, 98, 168
 Einstein, Albert 133, 186
 Eisenhower, Dwight D. 186
 EL 90 92 f
 elanvändning 47, 49, 51, 56 f,
 68 f, 122
 elefterfrågan 47, 52, 56 f, 59, 76
 elektroner 150
 elförbrukning 28, 30, 32
 elkonsument 78 f, 84 f
 elmarknaden 15, 52 f, 55, 69, 72,
 74 f, 77, 82, 94
 elpris 47 ff, 51 f, 56, 58, 59 ff, 62,
 72, 74, 76 f, 78 ff, 92
 elprishöjning 71 f, 95, 99
 elpriskänslighet 95
 elprisnivå 75, 79, 93
 elproducenter 75, 77
 elrean 93
 elsparande 56, 69, 72, 74, 92
 Energi 2000 73
 energianvändning 91 f, 97
 energiavgift 82
 energibesparing 87
 energiefterfrågan 95
 energiförbrukning 29, 87, 90, 98,
 122
 energiförsörjning 29, 44, 185, 198
 energiförsörjning, världen 27
 energikommissionen 160, 162
 energikommitté, 1981 års (EK
 81) 45
 energimarknaden 73
 energipris 88, 99
- energisparande 71 ff, 79, 83 ff,
 90, 96, 122
 energisparprogram 95 f
 energisparprojekt 99
 England 42, 124, 185, 187
 enzymer 109
 epidemiologiska undersökningar
 115
- faktorpriser 40 f, 64, 67 f
 FAO 159
 Finland 126, 197
 fission, kärnklyvning 134
 fissionsbomb 187
 fissionsprocessen 136, 141
 fissionsprodukterna 179
 FN:s säkerhetsråd 195
 FN:s vetenskapliga strålkommitté,
 se UNSCEAR
 FN:s nedrustningskommitté 190
 folkomröstning 24 f, 28, 30, 161
 Forsmark 24, 34, 144, 163, 172,
 175
 Forsmarks Kraftgrupp AB 169
 fossila bränslen 12, 19 f, 28 f, 32,
 36, 198, 200
 fosterskador 106
 fosterskador, djur 127
 Frankrike 187, 197, 204
 friktionsvärme 137
 fusion 134
 fusionsteknik 186
 försäkringar 34
 – förstarisk 35
 – helvärde 35
 försäkringsansvar 35 ff
 försäkringsbolag 37
 försäkringskostnader 34 ff
 försäkringsskydd 37
- gammastrålning 150
 gas 13
 gasburen radioaktivitet 174

- gaskondens 30, 32
 gasturbiner 54, 76, 79
 gasturbinkraftverk 146
 genetiska skador 106
 genomsnittskostnad 75, 92 f
 genomsnittspris 82 f
 geologiska processer 182
 geologiska förändringar 181
 grafitmodererade (aggregat) 18, 29, 36 f
 grundvatten 19, 180 f
 gruvindustri 63
 gränsdos 110
- halveringstid 135, 138 f, 150 f
 Harrisburg (Three Mile Island, TMI) 9, 17 f, 29, 153, 157, 159 ff, 198
 havandeskap 125 f
 haveri 17 f, 29, 152 f, 156, 161 f, 164
 haveriförebyggande nivån 144
 haverimotverkande nivån 144 f
 heta källor 28
 Hiroshima 106, 116, 185
 hormesis-effekter 120
 härd 155 f, 158, 167
 härdskada 34, 36, 148, 162
 härdsmalta 17 f, 29, 146, 149
 högenergiforskning 29
 högtemperaturreaktor 167
- IAEA 20, 36, 149, 159, 168, 186 ff, 198, 200 f, 203
 IAEA:s säkerhetskontroll 188 ff, 200
 icke-spridningsavtalet, se NPT
 ICRP, internationella strålskyddskommissionen 116, 121
 IKEA 39
 Indien 187, 193 ff, 197 f
 industrins energianvändning 95
 INF-avtalet 196
- inkapsling 180 f
 inkapslingsstation 177, 182
 inneslutning, se kärnkraftverk
 INSAG, FN:s IAEA:s rådgivande kommitté 148 f
 Internationella atomenergikommissionen, se IAEA
 Internationella strålskyddskommissionen, se ICRP
 interpolerad risk 115 f
 Iran 197
 isotoper 135
 Israel 193 f
 istider 181
 Italien 42, 197
- Japan 41, 106, 114, 116, 185 f, 194, 197, 204
 jod 155, 158
 Jod-131 138
 jodtabletter 138
 joniserande strålning 16, 103 f, 108, 111 f, 115 f, 123, 128
 jordbävningar 164, 181
 Jugoslavien 197
 järn och stålindustrin 56, 64
- kalium 139
 Kanada 185, 197
 kapitalförstöring 30, 89 f
 KBS3-metoden 168, 178, 180 f
 kedjereaktionen 143, 167
 kemisk industri 55 f, 63 f
 Kennedy, John F. 186
 Kina 187, 197, 201
 kloner (celler) 109 f
 klyvning 139
 klyvningsprodukter 136 ff, 142
 kobolt-60 142
 kokarreaktor 153
 kol 19 f, 59, 92, 136, 185
 koldioxid 12, 66, 71, 136, 162
 koldioxidhalten 198

- koleldade kraftverk 76
- kolkondens 13, 30 ff, 61
- kolkraftverk 136, 147
- kollektivdos, se stråldos
- Koncentrationsutredningen 88
- konkurrenslagstiftning 82
- konsekvensanalyser 46
- konsekvenslindrande nivå 145
- konsekvensutredningen 45
- Korea 197
- korspriskänslighet 92, 95
- kortlivat driftavfall 168
- kostnader
 - drifts- och kapitalkostnad 50, 55
 - kapacitetskostnad 75
 - produktionskostnad, rörlig 48, 50, 54, 75
- kraftbolagen 169
- kraftföretagen 152
- kraftkrävande industri 63 f
- kraftvärmeverk 54
- krypton 158
- KSU, Kärnkraftsäkerhet och Utbildning AB 164
- Kuba 197
- kutsar 170
- kväveoxid 66
- kylvatten 140 ff, 157, 167
- kylvattenpumpar 145
- känslighetsvariationer 114, 116
- kärnavfallsfrågor 169
- kärnavfall 170, 184
- kärnavfallshantering 168
- kärnavfallssystem 172
- kärnbränsle 135
- kärnenergi 186, 201
- kärnklyvning 137, 153, 157
- Kärnkraftinspektionen 36, 147, 149, 156
- kärnkraftskapacitet 27, 54
- kärnkraftsmotstånd 12, 19, 24, 32
- kärnkraftsolycka 10, 18, 152 f, 160
- Kärnkraftsäkerhet och Utbildning AB, se KSU
- kärnkraftverk
 - elgenerator 140, 154
 - filtrering, tryckavlastad 26, 36 f
 - hjälppumpar 153
 - inneslutning 17 f, 26, 29, 36 f, 145 f, 149, 152, 156, 161 ff
 - kondensor 154
 - kontrollstavar 158
 - kylvattentillförsel 35
 - matarvattenpumpar 153 f
 - reaktorkylpump 154
 - reaktorhård 140 f
 - reaktortank (-kärl) 140 f, 154
 - reningsfilter 142
 - styrstavar 141, 143, 145, 153 f
 - tryckhållningskärl 154
 - tryckhållningstank 155
 - turbin 153
 - turbingenerator 158
 - urankutsar 140
 - vattenreningskretsar 170
 - ånggenerator 154
 - ångturbin 140, 154
- kärnkraftverkens livslängd 13, 42
- kärntekniklagen 168
- kärnvapen 20, 103, 128, 134 f, 185, 188 f, 193 ff, 198, 200 ff
- kärnvapenexplosion 138
- kärnvapenkapprustningen 194 f
- kärnvapenlager 186
- kärnvapenproduktion 187
- kärnvapenprov 202 f
- kärnämneskontroll 190
- leukemi 110 f, 124
- London Club 193
- lågaktivt avfall 172
- lättvattenreaktor 18, 29, 37, 140, 142, 148, 153

- marginalkostnad 53 f, 60, 61, 75, 80, 92 f
 marginalkostnad, kortsiktig 49, 51
 marginalkostnad, långsiktig 50, 77, 79
 marginalkostnadsprissättning 49 ff
 marginalpris 82 f
 marginell betalningsvilja 47, 58
 medelaktivt avfall 172
 medfödd nervskada 126
 mellanlagring 177
 Mellanöstern 189
 Mexico 189, 197
 Miljödepartementet 169
 miljörelse 28
 moderatormängd 145
 MTO, människa-teknik-organisation 156, 159

 Nagasaki 106, 185
 naturgas 29, 59, 136
 naturgaseldad kondenskraft 61
 Nederländerna 197
 nedrustning 196
 nedrustningsträvan 187
 negativ effektåterkoppling 141, 144
 neutron 133, 135 ff, 139, 140 ff, 143, 145, 157, 185
 neutroninducerad klyvning 135
 Non-Proliferation Treaty, ickespridningsavtalet, se NPT
 Norge 126
 Novaja Zemlja 202
 NPT, Non-Proliferation Treaty (ickespridningsavtalet) 187, 189 f, 192 ff, 195 f, 202
 nukleoner 133

 OECD/NEA 168
 OKG AB 169

 olja 54 f, 59, 92, 136
 oljeeldade kraftverk 76
 oljekrisen 94
 oljeolyckor 12
 oljepris 80, 54
 olycksrisker 124
 opinionsbildning 10 f
 organer 109
 Oskarshamn 24, 34, 163, 174, 177
 otillräcklig klyvning 143

 Pakistan 194, 197
 pappers och massaindustri 14, 42, 56, 62 f
 Pariskonventionen 35
 peak-load pricing 79
 PIUS 165
 plutonium 171, 186, 188, 190, 193, 199, 203
 plutonium-239 135
 plutoniumoxider 180
 politiska kostnader 49, 71, 156
 probabilistisk säkerhetsanalys, se PSA
 progressiva eltaxor 80 f
 protoner 133
 PSA, probabilistisk säkerhetsanalys 146 ff
 psykiska störningar 156

 radioaktiv jod 123
 radioaktiva ämnen 17 f, 122, 140
 radioaktiv gas 175
 radioaktivitet 19, 118, 131, 150
 radioaktivt avfall 170 ff, 128
 radioaktivt kärnavfall 168 ff
 radioaktivt material 199
 radioaktivt nedfall 125 f
 radioaktivt sönderfall 133, 150
 radioaktivt utsläpp 141
 radionuklider 181
 radonhus 26

- RBMK-reaktor 157, 160
 reaktor av tungvattentyp 199
 reaktorbassäng 177
 reaktorhaveri, se haveri
 reaktorsäkerhetsutredningen
 156, 161 f
 relativpriser 80, 84
 restrisker 162
 restriskolycka 163
 Ringhals 34 f, 156, 163
 rivningsavfall 170, 172, 175 f
 Rumänien 197
 röntgenstrålning 150
- Schweiz 197
 Secure- och Pusanläggningar 41,
 204
 Semipalatinsk 202
 Seveso-olyckan, Italien 105, 122
 SFR, slutförvar för radioaktivt
 driftavfall 34, 174 ff
 sievert (Sv) 103, 151
 skattekil 81
 SKB, Svensk Kärnbränslehanter-
 ring 169, 182, 184
 SKI, Statens Kärnkraftsinspek-
 tion 152, 163, 169
 SKF 39
 SKN, Statens Kärnbränslenämnd
 48, 169
 skogsindustrin 64, 66
 skyddsåtgärder 119
 sköldkörtelcancer 123
 slutdeponering 177 f
 slutförvar 19, 168 f, 175 ff,
 182 ff, 190, 201
 Slutförvar för radioaktivt drift-
 avfall, se SFR snabbstopp 145,
 147, 153
 snabbstoppsystem 143 f, 160
 sol 27 f
 sorbtion 181
 South Pacific Nuclear Free Zone
 Treaty 189
- Sovjetunionen 12, 29, 119, 122,
 124, 130, 153, 157 f, 187, 190,
 195, 197 ff, 202 f
 Spanien 197
 SSI, Statens Strålskyddsinstitut
 163, 169
 Statens strålningsinstitut 122
 Statens Strålskyddsinstitut, se
 SSI
 Statens Kärnbränslenämnd, se
 SKN
 Statens Kärnkraftsinspektion, se
 SKI
 Storbritannien 27, 197
 stråldos 103 f, 105 ff, 113 f, 116,
 118 f, 123 ff, 126, 131, 142,
 151, 155
 – dominant stråldoser 120
 – icke-dominanta stråldoser 120
 – kollektivdos 16, 117, 120
 strålenergi 103
 strålexponering 121
 strålning 16, 26 f, 103, 105, 114 f,
 130 f, 137 ff, 150 f, 155 f, 171
 strålningsbiologi 128
 strålningsintensitet 151
 stråloluckor 108
 strålrisker 16, 116, 121, 128 ff,
 131
 strålskador 105, 161
 strålskydd 115, 119, 121 ff,
 128 ff, 138, 149
 strålskyddsläge 163
 Strålskyddsmyndigheten 142
 strålskyddsnormer 104, 116
 Studsvik 34, 174, 182
 stål 62
 stålindustri 14, 42, 56
 svaveloxid 66
 Svensk Kärnbränslehantering
 AB, se SKB
 Sverige 197, 204
 Sydafrika 194, 197
 Sydkraft 169

- Sydostasien 41
- säkerhetskontroll 185, 190 f, 194, 200 ff
- säkerhetskontrollsystem 186
- säkerhetskrav 124, 165
- säkerhetsproblem 138
- säkerhetssystem 144, 146 f, 155, 158, 167
- diversifiering 144
 - redundans 144
 - rumslig separation 144
- temperaturkoefficient 157
- Tetrapak 39
- Three Mile Island, TMI, se Harrisburg
- Tjeckoslovakien 197, 203
- Tjernobyl 11 f, 17 ff, 26, 29, 36 f, 104, 118 f, 121 ff, 127 ff, 138, 153, 157, 159 f, 162 f, 198 ff, 203
- Tlatelolco-avtalet 189
- TMI, se Harrisburg
- tolvreaktorprogram 9, 161
- torium 190
- transport av kärnavfall 175
- transuraner 139 f, 171
- trappstegsförmade tariffer 80 ff
- tritiumproduktion 199
- tryckavlastning 164
- tryckavlastning, filtrerad 149
- tryckvattenreaktor 153 f, 156
- tröskeldos 105 ff, 113, 115, 121, 123
- tumör 108 ff
- tumörbildning 111
- Tyskland 203
- Ungern 197
- UNSCEAR, FN:s vetenskapliga strålkommitté 107, 115, 121, 129
- Uppdrag 2000 96
- uran 135 f, 190, 193, 203
- uran-235 135 ff, 188
- uran-238 135 ff, 141
- uranbomb 186
- urandioxid 140 f
- uranisotoper 186
- urankärnor 185
- uranoxid 170, 180
- USA 28, 42, 73, 80 f, 145, 153, 185 f, 190, 193 ff, 195, 197, 199, 204
- utrikeshandel 23, 37
- utsläpp 66, 71, 124, 139, 152, 158, 162
- vapenproduktion 201
- Vattenfall 51, 73, 93 f, 96, 168
- vattenkraft 28, 30, 54 f, 63, 76, 96
- verkstadsindustri 56, 63, 66
- vind 27 f
- Världshälsoorganisationen, se WHO
- Västtyskland 125, 129, 163, 194, 197
- vätebomb 186
- växthuseffekten 12, 28 f, 32
- WANO, World Association of Nuclear Operators 149
- Washington, USA 199
- WHO, Världshälsoorganisationen 129, 159
- Windscale 198
- World Association of Nuclear Operators, se WANO
- xenon 158
- Xenon-133 138
- ädelgaser 138 f, 142, 155, 158
- ärfrliga strålskadorna 104
- Österrike 42
- Östeuropa 29, 97
- Öststaterna 12
- Östtyskland 197, 203

Skall kärnkraften behållas som en av våra viktigaste energikällor eller skall den avvecklas? Detta blir en av 90-talets viktigaste frågor. Kärnkraftsfrågan har utomordentligt viktiga ekonomiska, säkerhetsmässiga och miljömässiga aspekter. Den är också starkt emotionellt laddad.

I *Framtid med kärnkraft* ger de främsta ekonomerna och naturvetarna inom området sin syn på kärnkraften som energikälla. Boken är ett viktigt faktaunderlag för den fortsatta debatten.

Bo Södersten (red)

Lars Bergman

Sten Bjurström

Sigvard Eklund

Lennart Hjalmarsson

Olof Hörmander

Nils Lundgren

Evelyn Sokolowski

Gunnar Walinder

ISBN 91-7150-402-8



9 789171 504029

SNS
FÖRLAG