Hans Pedersen Dambo (red.)

Kärnkraft i dag och i morgon

Ett debattunderlag från Miljövänner för Kärnkraft

Denna bok är den tredje i den ideella föreningen Miljövänner För Kärnkraft:s skrifteserie om kärnkraft.
Tidigare böcker i denna serie är "Kärnkraft - avveckla eller utveckla", 1995 och "Kärnkraft ur olika perspektiv", 1996.

Denna bok utkommer i en tid då en rad politiska beslut i energifrågan har fattats vilka kommer att få yttèrst negativa konsekvenser för miljö, sysselsättning och ekonomi. Det är sant att man inte kan begära att en politiker skall kunna sätta sig in i komplicerade tekniska och vetenskapliga problem, men man kan kräva att alla politiker skall lyssna på sakkunskapen och agera därefter. Händelserna under den senaste tiden visar klart att man valt att avstå från att rådfråga den expertis som existerar i rikt mått och som i energifrågan torde stå praktiskt taget helt enig. Sveriges folk har anledning att med stor oro följa den nedrustning som just initierats. Med denna mörka bakgrund vill vi uttrycka en förhoppning att föreliggande bok skall bidraga till att ge våra läsare en objektiv bild av den verklighet som vi lever i och där okunnighet och maktbegär tyvärr kommit att spela en avgörande roll.

Därför ägnas stor uppmärksamhet åt att ge en verklighetsanpassad beskrivning av nuläge och utvecklingsmöjligheter inom kärnkraftsområdet, där också uranbrytning och avfallshantering berörs. IAEA:s generaldirektör Hans Blix medverkar med en artikel som behandlar kärnkraftens betydelse i ett globalt perspektiv. I boken görs också jämförelser mellan olika energislag beträffande risker, miljö- och hälsopåverkan, där det visar sig att den nu så omhuldade bioenergin är långt ifrån så miljövänlig som många vill göra gällande.
Kärnkraften har länge varit föremål för myter och vanföreställningar som fått stor uppmärksamhet i massmedia. Därför har vi i ett avsnitt tagit upp vad som verkligen hände vid olyckorna vid Harrisburg och Tjernobyl.
Radonrisker i våra bostäder behandlas i en artikel som ställer frågan i en annorlunda belysning än vad vi vanligen får höra.

Miljövänner För Kärnkraft
Box 83
430 24 Väröbacka
Tel 0340-782 90
E-post mfk@algonet.se
www-adress
http://www.algonet.se/~mfk/

ISBN 91-630-5509-0
© Miljövänner För Kärnkraft 1997

Hans Pedersen Dambo (red.)

Kärnkraft

i dag och i morgon

Ett debattunderlag från Miljövänner för Kärnkr

Hans Pedersen Dambo (red.)

Kärnkraft

i dag och i morgon

Ett debattunderlag från Miljövänner för Kärnkraft

Miljövänner för KÄRNKRAFT

ISBN 91-630-5509-0
© Miljövänner För Kärnkraft 1997

Tryck: Krontryck AB, Eslöv 1997

Innehåll

Förord
Carl-Erik Fröberg 5

Högteknologin till människans fromma
Hans Blix 7

Den svenska kärnkraften
Torsten Gustafson 16

Kärnkraften 1996, en översikt
Ragnar Hellborg 23

Miljöeffekter vid uranutvinning
Ingemar Lindholm 43

Sveriges radioaktiva avfall
P.O. Lindberg och Thobias Thorn 49

Om riskbedömning
Gunnar Walinder 53

Acceleratordriven transmutation
Erik Möller 58

Risker och externa kostnader vid elproduktion
Nils Starfelt 68

Radonrisker i våra bostäder
Gunnar Walinder 83

Olyckorna vid Harrisburg och Tjernobyl
Hans Pedersen Dambo 91

Folktro förr och nu
Carl-Erik Fröberg 100

Miljövänner För Kärnkraft:s miljöpris 1996 107

12 kärnreaktorer - 12 frågor och svar 108

Förord

Carl-Erik Fröberg

Föreliggande verk har flera inspirationskällor. Dessa kan å ena sidan vara av tekniskt eller vetenskapligt ursprung, å den andra av allmänt och på sista tiden även politiskt.

Vi är glada att som inledning kunna erbjuda våra läsare dels en generell sammanfattning, skriven av IAEA:s generaldirektör Hans Blix, dels en uppsats som år 1988 skrevs av Torsten Gustafson som var energipolitisk rådgivare till Tage Erlander. Därnäst följer en mycket detaljrik teknisk översikt av MFK:s ordförande Ragnar Hellborg. Miljöeftekterna vid uranbrytning och avfallsdeponering diskuteras i två arbeten. En studie behandlar den ständigt aktuella frågan om riskbedömning där mycken okunnighet alltjämt florerar, medan en annan av samma författare diskuterar radonrisken vilken uppmärksammas i alltför liten omfattning. En uppsats redogör för det aktuella läget beträffande acceleratordriven transmutation där man i fråga om svenska insatser tvingas leva i obehaglig närhet till den s.k. hjärntvättsparagrafen. Ett annat arbete behandlar risker och externa kostnader vid elproduktion, ett område där svenska folket redan känner de kalla vindarna från den begynnande prishöjningen på elenergi. Speciellt bör här framhållas att det även ges en första redovisning för miljöriskerna i samband med användning av biobränsle där vissa resultat är alarmerande. Då man i debatten ofta nämner olyckorna i Three Mile Island och Chernobyl har vi velat ge en objektiv beskrivning av själva händelseförloppen. Vi har därvid tillåtit oss att citera energikommissionens betänkande. Debatten om kärnkraften har som bekant i många fall hamnat på en närmast bisarr nivå och vi har funnit det rimligt att skildra några utslag av folktron även inom andra områden. Allra sist ger vi en kort presentation av mottagaren av MFK:s nyinstiftade miljöpris för 1996, nämligen Nils Dahlbeck, Göteborg, tidigare bl.a. sekreterare och intendent i Svenska Naturskyddsföreningen.

Denna bok utkommer i en tid då en rad politiska beslut i energifrågan har fattats vilka kommer att få ytterst negativa konsekvenser för miljö,

sysselsättning och ekonomi. Det är sant att man inte kan begära att en politiker skall kunna sätta sig in i komplicerade tekniska och vetenskapliga problem, men man kan kräva att alla politiker skall lyssna på sakkunskapen och agera därefter. Händelserna under den senaste tiden visar klart att man valt att avstå från att rådfråga den expertis som existerar i rikt mått och som i energifrågan torde stå praktiskt taget helt enig. Sveriges folk har anledning att med stor oro följa den nedrustning som just initierats. Med denna mörka bakgrund vill vi uttrycka en förhoppning att föreliggande bok skall bidraga till att ge våra läsare en objektiv bild av den verklighet som vi lever i och där okunnighet och maktbegär tyvärr kommit att spela en avgörande roll.

Carl-Erik Fröberg är professor emeritus i Numerisk analys vid Lunds universitet

Högteknologin till människans fromma

Hans Blix

Det finns fortfarande i många industriländer en opinion som på något sätt generellt finner högteknologi - inte minst kärnkraft - skrämmande och omänsklig och längtar efter enkel, begriplig, småskalig teknik. Känslan av maktlöshet inför stora tekniska system är förståelig, men man borde inse att den produktionsordning som gällde för bara några generationer sedan inte skulle räcka långt för att livnära dagens större befolkning och förvisso inte till att ge oss den levnadsstandard som vi åtnjuter i industriländerna. Högteknologin må vara skapad av en vetenskaplig och teknologisk elit, men datorerna, televisionen, jumbojetplanen, kärnkraftverken och informationsnäten kommer miljoner och åter miljoner människor till godo. Att dessa välsignelser i människans tjänst också har avigsidor som kan medföra risker kan inte förnekas, men dessa problem får man söka komma till rätta med.

Mer energi behövs

God tillgång till billig energi är en grundförutsättning för industriproduktion, kommunikationer, belysning, uppvärmning, med andra ord en rimlig levnadsstandard. Bättre utnyttjande av energin - i bilar, flygplan, kraftverk, fabriker och bostäder - dämpar konsumtionsökningen men hejdar den inte. Naturligt nog ökar konsumtionen mest i ekonomiskt expansiva u-länder som Kina och Sydkorea. Allra mest ökar elanvändningen och detta gäller även i Sverige och Västeuropa. OECD:s energiorgan räknar med 75% ökning i den globala elanvändningen fram till år 2010 - trots sparande. För Asien med dess snabba ekonomiska utveckling anges ökningen till nära 200%.

Energi och miljöproblem

Varifrån skall den ökade energin komma? De fossila bränslena täcker idag c:a 80% av världens kommersiella energibehov, och konsumtionen av dessa energislag fortsätter oupphörligen att stiga. Dessvärre är några av världens största miljöproblem förknippade med denna konsumtion. Vi har nu lärt oss hur vi kan drastiskt reducera utsläppen av svaveldioxid och kväveoxider som bildas vid förbränningen och som har lett till sura regn, döda sjöar och omfattande skogsförstöring. Det kostar emellertid pengar att inrätta reningsanläggningar och utsläppen kommer på många håll ännu lång tid att sprida förstörelse. Vad vi däremot inte kan neutralisera är de gigantiska utsläppen av koldioxid från förbränning av fossila bränslen och som, tillsammans med en del andra gaser, av en bred vetenskaplig expertis bedöms medföra globala klimatförändringar. Vid Rio-konferensen (1992) om miljö och utveckling stod oron för drivhuseffekten i centrum och en konvention antogs med målet att stabilisera koncentrationen av drivhusgaser i atmosfären till nivåer som inte skadligt skulle påverka klimatet. Konventionen angav dock inte hur detta skulle ske och få talare tog ens upp energifrågan trots att 50% av drivhuseffekten beräknas härröra från konsumtionen av fossila bränslen.

Koldioxidutsläppen

Om övertygelsen stärks att ökade koldioxidutsläpp bidrar till drivhuseffekten och allt tyder på detta - och samtidigt konsumtionen av fossila bränslen ökar och därmed utsläppen av koldioxid, så drivs vi mot ett politiskt dilemma. Det är i-länderna som är främst ansvariga för den koldioxidökning som redan skett i atmosfären medan u-länderna bara står för en mindre del. Med 3/4 av världens befolkning använder dessa nu bara 1/8 av dess kommersiella energi. Det kommer säkerligen att krävas att i-länderna, som är de största energislukarna, skall minska sina koldioxidutsläpp och tillåta u-länderna att öka sina. Detta kan förvisso inte väntas bli någon lätt diskussion och det är bra att många i-länder - inklusive Sverige och övriga EU-länder - redan allvarligt överväger hur man skall göra. Från övervägande till rationell handling är sträckan dock rätt lång. Medan ett antal i-länder uppställt målet att stabilisera sina utsläpp av koldioxid till 1990 års nivå, uttalar FN:s vetenskapliga organ för klimatförändringsfrågan, IPCC, att 60% minskning av koldioxidutsläppen skulle behövas.

OECD förutspår emellertid dystert att dylika energigenererade utsläpp kommer att globalt öka med nästan 50% till år 2010. Ännu går alltså retoriken åt ett håll och energidynamiken åt ett annat!

Det måste i sanningens namn sägas att det inte finns några enkla lösningar på problemet. Ett svar som man ofta hör är att den minst nedsmutsande energin är den som man inte använder, nämligen sparande: Javisst, effektivisering i energianvändningen är praktiskt viktig - även om den ibland medför nackdelar, t.ex. mer allergier i tätare, energisnålare hus. I dylika sammanhang kan f.ö. även radonproblemet bli aktuellt. En annan verksam åtgärd är övergång från kolanvändning till gas. Vi hör ofta talas om att Danmark satsar starkt på vindkraft. F n. kommer c:a 3% av dansk el från vindkraftverk vilket är gynnsamt beträffande koldioxid. Vi hör mindre talas om att det mesta av den danska elen kommer från kolförbränning vilken snabbt ökar i omfång. En viss övergång sker nu till gas vilket är gynnsamt eftersom mängden koldioxid därvid går ner till hälften. En ökad gasförbränning utan motsvarande minskning av kol- eller oljeförbränning ger däremot upphov till ett nettotillskott av koldioxidutsläpp. En svensk övergång från kärnkraft till gas skulle öka Sveriges koldioxidutsläpp.

Förnybara bränslen, fusion, vätgas

Det är naturligt att man granskar möjligheterna till större användning av förnybara energikällor som sol, vind, jordvärme och biomassa vilka inte nämnvärt bidrar till koldioxidutsläpp. Av dessa är i dag den geotermiska energin störst men särskilt solkraft bidrar på sina håll till uppvärmning av bostäder och vatten, och man hoppas nu att fotoelektriska celler småningom skall bli mer ekonomiska och kunna användas för elgenerering, inte bara i satelliter, nödtelefoner, klockor och andra sammanhang där kostnaden spelar mindre roll. Emellertid måste vi konstatera att dessa energikällor i dag bidrar med bara någon bråkdels procent till världens kommersiella energianvändning och att kompetenta institutioner som World Energy Council och OECD räknar med att de även under de närmaste 15-25 åren bara kan förse världen med mycket blygsamma bidrag till dess energibehov. Vi måste också konstatera att fusionsenergin ligger långt borta - om den alls kommer att kunna tekniskt utnyttjas för att generera el. Vätgas kan tänkas bli använd som en ren sekundär energikälla, men det går åt energi för att framställa den. Vilken roll kommer kärnkraften att spela?

Kärnkraften

C:a 450 kärnkraftverk förser i dag världen med c:a 5% av dess totala energianvändning och 17% av dess elektricitet - litet mindre än vad vattenkraften ger. Ingen kan bortse från att kärnkraften i Tjernobyl ledde till en katastrofal olycka med konsekvenser för liv, hälsa och miljö. Man glömmer emellertid lätt bort att även alternativen till kärnkraften drabbas av olyckor. Dödsoffren i kolgruvor är många, brustna kraftverksdammar har förorsakat ohyggliga katastrofer med tusentals döda, och detsamma gäller gasexplosioner. Ingen energiproduktion är helt riskfri.

På kärnkraftens kreditsida i miljöhänseende får skrivas att den är praktiskt taget fri från koldioxid. Om den kärnkraftsgenererade elektriciteten i världen i stället skulle ha producerats med kol skulle motsvarande globala utsläpp från fossila bränslen ha ökats med 8 à 9%. Ett annat sätt att se kärnkraftens dämpande inverkan på koldioxiden är att ange utsläppen per kWh. I England, där c:a 75% av elektriciteten kommer från förbränning av kol, är utsläppen c:a 0.78 kg per kWh. I Frankrike däremot där c:a 70% av elektriciteten kommer från kärnkraft, är motsvarande siffra nära 10 gånger lägre (0.086 kg/kWh).

Ökad användning av kärnkraft löser inte ensam koldioxid-problemet, men det kan inte råda något tvivel om att ett starkt ökat inslag av kärnkraft i världens energimix är ett av de få verksamma medlen att dämpa koldioxidutsläppen. Det är helt klart att insikten härom ökar. World Energy Council uttalade förra året att "man måste fortsätta söka ett sätt att utnyttja den enorma energireserv som kärnkraften utgör - ett sätt som över hela bränslecykeln, från urananskaffning till avfallshantering, är godtagbart för allmänna opinionen." Och Rom-klubben skrev i en rapport för några år sedan att "användningen av kol och olja, antagligen på grund av den koldioxid den ger upphov till, är betydligt farligare för samhället än kärnenergin."

Regeringsuttalanden av liknande innebörd är inte lika lätta att hitta, men den japanska regeringen motiverade dock i en rapport till FN sin satsning på kärnkraften med att den inte ger upphov till utsläpp av koldioxid.

Det är hög tid att "de gröna", vars känslomässiga engagemang för miljön är både äkta och värdefull, börjar tänka om när det gäller kärnkraften. Med ett fortsatt fundamentalistiskt förkastande av kärnkraft försöker de fortfarande blockera en av de få vägar vi kan gå för att undvika en höjning av temperaturen i jordatmosfären. En del gröna tycks t.o.m. vara emot ökad elanvändning generellt fast ökad användning av tåg, trådbussar, tunnelbanor och eldrivna bilar borde tilltala dem.

Det finns de som med hänvisning till osäkerheten kring drivhuseffekten varnar för gigantiska och dyra omställningar i energisystemen. Om dessa omställningar skulle visa sig onödiga, säger de, har pengarna varit bortkastade. Dessa experter, som förefaller mera rädda om våra pengar än om den miljö våra barnbarn skall leva i, vill bara förorda åtgärder t.ex. av typen effektivare energianvändning som kan motiveras antingen drivhuseffekten är en reell fara eller ej. För dessa tänkare borde kärnkraften vara attraktiv eftersom den erbjuder ett konkurrenskraftigt alternativ till de ekonomiska men smutsiga energikällorna kol och gas. Där ny kraftkapacitet behövs kan kärnkraften inte innebära bortkastade resurser.

U-länder, i-länder och kärnkraft

Naturligtvis är kärnkraften en möjlig energikälla bara för industriländer och en del u-länder med relativt avancerad teknisk kapacitet, som Sydkorea, Kina, Mexico och Indien. Många u-länder måste ännu lång tid för sin kraftförsörjning lita till tekniskt enklare fossilbränslebaserade system och vattenkraft. Desto viktigare blir det att i-länderna och dessa tekniskt avancerade u-länder som har kompetensen att använda kärnkraften också gör det. Det ligger något paradoxalt i att de västliga i-länderna med undantag av Frankrike för närvarande i stort sett upphört att bygga fler kärnkraftverk och att den fortsatta expansionen finns i de gamla öststaterna och i Ostasien. Medan man i Sverige diskuterar om man skall börja stänga väl fungerande reaktorer så är Sydkorea i full gång med att öka sitt reaktorbestånd. F n. har man 11 färdiga reaktorer, 5 under byggnad samt 12 beställda. Detta innebär att antalet om 10 år mycket väl kan vara uppe i 28. Och medan Österrike propagerar för en kärnkraftfri zon i Mellaneuropa så har rumänerna med kanadensisk hjälp startat sin första reaktor och tjeckerna bygger färdigt reaktorer som kan minska en för miljön och hälsan katastrofal kolanvändning. Medan USA:s kärnkraftsindustri stagnerar på grund av interna problem planerar Japan att öka den kärnkraftsgenererade elektriciteten högst väsentligt från den nuvarande siffran 31%.

Vad är det då som krävs för att de västliga i-länderna, inklusive Sverige, åter skall vända sig till kärnkraften? En *första förutsättning* är givetvis ett fortsatt behov av mer elektricitet. Så länge inga stora tillskott behövs går det bra att t.ex. yrka på mer vindkraft. Då stora eltillskott behövs är de reella alternativen kol, gas och kärnkraft eller elimport som baseras på dessa källor. En *andra förutsättning* är att kärnkraften förblir ekonomiskt konkurrenskraftig. Enligt en undersökning i OECD är detta klart fallet på de

flesta håll. Eftersom uranpriserna kan förväntas förbli låga och stabila medan olje- och gaspriserna kan väntas åter gå upp, är den ekonomiska basen för kärnkraften god. Den ger också ett mått av nationellt energioberoende eftersom det går att köpa bränslet från många håll och lagra det för lång tids drift. Gasalternativet å andra sidan är beroende av ständig tillförsel av gas via gasledningar från en eller flera leverantörer.

Säkerheten

En *tredje förutsättning* är att världens kärnkraftverk drivs utan allvarliga olyckor. Enligt flera indikatorer ökar säkerheten kontinuerligt. Antalet oplanerade stopp minskar generellt och den stråldos som personalen vid kärnkraftverken världen runt utsätts för tenderar att minska. Detta är positiva tecken på god och säker drift. Men kedjan är bara så stark som den svagaste länken. Mycket har redan gjorts för att förbättra säkerheten i kärnkraftverk i det forna Sovjetunionen, bl.a. med hjälp från Sverige och Finland, men åtskilligt återstår ännu att göra i denna region.

Ryssland tillhör det fyrtiotal stater som skrivit under en konvention som utarbetats inom IAEA om säkerhet i civila kärnkraftverk. Enligt konventionen åtar sig staterna att iakttaga en rad grundläggande regler om säkerhet och att i fortsättningen rapportera till varandra om säkerhetstillståndet i sina kärnkraftverk och acceptera ömsesidig utfrågning. Syftet är att en enhetligt hög säkerhetsstandard skall uppnås jorden runt.

Allteftersom det blivit fler äldre kärnkraftverk i världen har underhållsaspekten givits större uppmärksamhet. I dag anses den tekniskt säkra livslängden för många kärnkraftverk med modernt underhåll vara 40 år och mer. Det är uppenbart att räntabiliteten ökar väsentligt med större livslängd. Redan nu finns ett par kärnkraftverk som fyllt 40 (Calder Hall och Obninsk), något tiotal som är mellan 30 och 35 år och ytterligare något tiotal som är mellan 26 och 30. Det trygga livet behöver inte sluta vid 25 - som vi felaktigt antog inför folkomröstningen i Sverige 1980. Med Statens Kärnkraftinspektion (SKI) som kompetent och krävande övervakningsmyndighet och ansvarskännande svenska kraftföretag borde svenska reaktorer självklart med fullt bibehållen säkerhet kunna drivas lika länge som engelska, japanska och amerikanska reaktorer. Det finns anledning att gratulera den svenska kärnkraftsindustrin, dels till de många säkerhetshöjande åtgärder som man under åren kontinuerligt vidtagit, bl.a. installationerna av filter mot tänkbara utsläpp av radioaktiva ämnen och utbyten av ånggeneratorer.

Avfallsfrågor

Ett. *fjärde krav* för ökad acceptans av kärnkraften i de västliga industriländerna är att *avfallsfrågan* förs framåt. Några tekniska hinder för säker hantering av radioaktivt avfall finns knappast. Det är politisk beslutsamhet som krävs. Sverige har hanterat denna fråga föredömligt och kan uppvisa vad som internationellt kallas "Rolls-Royce"-lösningar. Härmed åsyftas Forsmarkslagret för låg- och medelaktivt avfall samt Centrallagret för utbränt bränsle i Oskarshamn. På liknande sätt behöver många andra länder gå till verket och med utnyttjande av redan befintlig teknik bygga liknande anläggningar.

Jag har ibland sagt att avfallet är en av kärnkraftens största tillgångar. Det är till volymen så begränsat att det kan isoleras i sin helhet - stoppas ner i jordskorpan varifrån uranet kom. Det är de oerhörda volymerna för avfallet från de fossila bränslena som gör att jordatmosfären och jordytan blir den slutliga förvaringsplatsen - med konsekvenser för sjöar och skogar, liksom för klimatet. Ett stort kolkraftverk på 1,000 MW(e) bränner ungefär 7,000 ton kol per dygn, eller ungefär fem tåglaster. Ett kärnkraftverk av samma kapacitet gör av med c:a 80 kg uran per dag. Avfallsmängderna från bränslet i dessa båda fall blir också därefter. Trots avancerad reningsutrustning släpper kolkraftverket årligen ut c:a 9,000 ton svaveldioxid, 4,500 ton kväveoxider, 400 ton av olika tungmetaller och inte mindre än 6.5 miljoner ton koldioxid. Kärnkraftverket å andra sidan ger upphov till c:a 30 ton högaktivt avfall i form av utbränt bränsle.

Kärnvapenepoken mot sitt slut.

Det har ofta hävdats att en del av motståndet mot den civila kärnkraften bottnat i att många människor låtit sin oro över kärnvapnen spilla över på deras inställning till kärnkraften. Om denna tes är riktig vet jag inte, men vad som i dag står klart är att kärnvapenepoken går mot sitt slut. Efter lång tid av ömsesidigt garanterad utplåning med kärnvapen demonterar stormakterna nu kärnvapenstridsspetsarna i accelererad takt. Under START-2 avtalet mellan Ryssland och USA skall antalet vapen minska från 65,000 till 6,000, och ytterligare reduktioner kan komma längre fram. Ett avtal om stopp av vidare produktion av höganrikat uran och plutonium

kan också bli verklighet inom ett antal år, och ett avtal om stopp för alla vidare kärnvapenprov har antagits under 1996. Man vill gärna hoppas att då bilden av den destruktiva militära användningen av kärnenergin inte längre dominerar blickfältet skall vi lättare och ostörda av denna bild kunna se de stora fördelarna av att använda kärnenergin och strålningen i vår fredliga tjänst. Vi vet oerhört mycket om dessa naturkrafter, deras möjligheter och risker. De måste behandlas och användas med respekt och förstånd, men det finns lika litet skäl att avstå från att utnyttja dem som att avstå från att utnyttja tyngdkraften eller energin från kemiska reaktioner.

Låt mig avsluta med några kommentarer om kärnkraftens situation i Sverige. Jag yttrar mig naturligtvis då inte å IAEA:s vägnar. Det internationella atomenergiorganet lägger inte oombedd synpunkter på medlemsländernas val av energisystem. Som svensk med ett visst förflutet i kärnkraftfrågan vill jag emellertid säga följande:

Vid internationell jämförelse framstår det svenska kärnkraftprogrammet som utomordentligt framgångsrikt. Om det behövs en ny folkomröstning för att behålla och vidareutveckla denna stora industriella tillgång, så låt oss ta den. Det är orimligt att låta dagens energipolitik styras av de fakta och föreställningar vi hade framför oss 1980.

Eftersom innebörden av det 14 år gamla folkomröstningsresultatet fortfarande diskuteras vill jag som en av de forna ledarna för den vinnande linje 2 säga min mening. Den avveckling som linjerna 1 och 2 beskrev innefattar inte bundenhet vid något speciellt årtal, 2010 eller annat. Den var tänkt att följa nästan automatiskt så snart förnybara energikällor - sol, vind, biomassa - blev tillgängliga och ekonomiska vilket man hoppades skulle ske innan reaktorernas säkra livslängd var ute.

Folkomröstningens beskrivning av tidpunkten för avveckling pekar varken på 1995 eller 2010. Då den tekniskt säkra livslängden på många reaktorer med moderna underhållsmetoder kan vara 40 år eller mer finns det ingen anledning längre att sätta den vid c:a 25 år som vi 1980 föreställde oss var rimligt. Att stänga en reaktor efter halva dess säkra livslängd är ungefär som att skrota en bil i utmärkt skick och 6 à 10 år gammal.

Vidare: Sol, vind och biomassa har förvisso utvecklats en del som energikällor sedan 1980 och man vill fortfarande hoppas att deras effektivitet och konkurrenskraft skall förbättras. Ingen sansad bedömare tror dock i dag att de inom överskådlig tid skall kunna ge mer än värdefulla marginella bidrag. De är långt ifrån någon naturlig avlösning av kärnkraften. Det tycks i stället vara naturgas - i stora, dyra, koldioxidproducerande mängder - som man nu på sina håll tänker sig som ersättning för kärnkraften. Men folkomröstningen stipulerade uttryckligt att högst 12 kärnkraftverk fick användas "i avvaktan på att förnybara energikällor blir tillgängliga". När blev naturgas en förnybar energikälla? Jag kan inte förstå annat än att det skulle strida mot folkomröstningen 1980 att ersätta kärnkraften med naturgas.

Hans Blix är Director General för International Atomic Energy Agency (IAEA) i Wien

Den svenska kärnkraften

Torsten Gustafson

Då den fredliga kärnkraften efter kriget blev aktuell för exploatering i större omfattning hade Sverige den oskattbara förmånen att som statsminister ha en man med djupa kunskaper i matematik, fysik och kemi, alltså Tage Erlander. För att säkra tillgången till aktuell och pålitlig information om de senaste framstegen valde han till sin rådgivare Torsten Gustafson som var professor i teoretisk fysik vid Lunds universitet. Vad dessa båda betytt för den svenska välfärden och speciellt för vår internationellt sett enastående position inom energiområdet kan knappast överskattas. Man kan väl lugnt påstå att kontrasten mot nuvarande situation är slående!

Nedanstående korta uppsats torde vara skriven 1986 och den återges med tillstånd av hans närmast efterlevande efter obetydlig formell redigering.

Carl-Erik Fröberg

Tage Erlander hade för en politiker unika kunskaper i matematik, fysik och kemi och kunde på egen hand bedöma olika aspekter på den fredliga atomenergin. Han fattade de avgörande besluten och bl.a. inrättade han 1945 Atomkommittén med första uppgift att stärka grundforskning och forskarutbildning och därutöver tillkom 1947 Atombolaget som skulle främja den tekniska utvecklingen. Han hade stöd av alla partier och av den allmänna opinionen. År 1954 förklarar han: "Sveriges ställning är unik: ett högindustrialiserat land utan egna energikällor med undantag för vattenkraften. Men denna skulle snart vara fullständigt utbyggd. En ökad användning av olja och kol tedde sig inte lockande då den skulle göra oss helt beroende av utlandet och därtill smutsa ner naturen och hota vår hälsa." Arbetet fortskred framgångsrikt och i början av 60-talet överlämnade

Erlander den detaljerade ledningen till handelsdepartementet och Atombolaget som uppgjorde stora planer. Jag var den ende inom atomdelegationen eller Atombolagets styrelse som reserverade mig för en försiktigare politik. Men majoriteten ledde arbetet fram till katastrofen med Marviken som måste läggas ner därför att man inte kunde uppnå stabilitet.

Tidigt under valrörelsen 1976 föreslog Erlander att man skulle genomföra en upplysningsverksamhet om den fredliga kärnenergin och belysa de olika viktiga aspekterna på denna. Man skulle förklara hur reaktorer verkade och hur säkerheten garanterades ooch framför allt radioaktivitetens natur och vad som var farligt eller ofarligt i strålningen. Detta förslag togs emellertid inte upp utan man hoppades att kärnenergin inte skulle spela någon roll i valrörelsen. I ett sent skede gjorde emellertid centern ett mycket kraftfullt angrepp och vann valrörelsen. Det var i högsta grad ödesdigert att Erlanders förslag inte genomfördes. Hela debatten har blivit våldsamt skev genom att överdrifter förekommit i massmedia i mycket stor omfattning.

Det är tyvärr lätt att ge exempel på stora överdrifter. Alla har hört talas om den s.k. kärnkraftsolyckan i Windscale, men få vet vad det i verkligheten rörde sig om. En grafitreaktor tog eld under omständigheter som nu helt kan undvikas, och spridning av radioaktiv jod skedde i begränsad omfattning. Myndigheterna ville visa sin utomordentliga försiktighet och lät hälla ut all mjölk under den närmaste tiden. Men detta tolkades av massmedia i stället som ett tecken på en allvarlig katastrof! Det finns nu två sätt att belysa vad som hände. Å ena sidan hade radioaktiviteten kring Windscale mätts upp alltsedan 1945 och man hade alltså tillgång till objektiva data. Å andra sidan vet man att radioaktiviteten från jord i genomsnitt uppgår till 1.6% av den naturliga bakgrundsstrålningen. Man känner också till områden på jorden, bl.a. Kerala i Indien, där den naturliga strålningen är upp till 10 gånger den normala, utan att man kunnat påvisa någon skadeverkan på människor. Med dessa resultat som grund kommer man fram till att även om den radioaktiva strålningen från branden i Windscale varit 600 gånger större så skulle den likväl inte ha kunnat påvisas vara skadlig för människor.

Om sjukdom hade uppstått på grund av strålningen så skulle det rimligtvis ha gällt sköldkörtelcancer. På en svensk förfrågan till The National Radiation Protection Board, alltså det engelska strålskyddsinstitutet, huruvida någon ökning av sköldkörtelcancer skett, gavs följande svar: "Beträffande Eder förfrågan om statistiken över sköldkörtelcancer i Cumberland visar data framlagda av Hälsovårdsmyndigheten för detta område

att det inte förekommit någon ökning av sköldkörtelcancer under det gångna året. Situationen hålles emellertid under uppsikt." Ett senare brev meddelar att ingen ändring skett.

Av ovanstående framgår att ingen som helst skadeverkan utöver själva branden uppstått, och hela händelsen kan betraktas som obetydlig. På intet annat område skulle man kommit på idén att tala om någon "olycka". Allmänheten har rätt att av massmedia få korrekta uppgifter, men i fråga om Windscale har massmedia blåst upp saken till väldiga proportioner. De ovederhäftiga skildringar som spritts över hela världen utgör exempel på en "icke-undersökande journalistik".

Vi förflyttar oss nu till Danmark och debatten om stängning av Barsebäck. Till sin död 1962 ledde Niels Bohr förberedelserna för användning av kärnenergin. Då Barsebäck byggdes hade danska experter och myndigheter mycket fria händer och de framställde vissa önskemål som också tillgodosågs från svensk sida. Danska experter från Risø hade 1977 publicerat beräkningar över hur mycket radioaktivitet som kunde drabba Köpenhamn efter en stor olycka med härdsmälta i Barsebäck. Man hade då mycket ofullständiga uppgifter om hur mycket radioaktivitet som kunde komma ut från reaktorn. För att vara på den säkra sidan måste man antaga att praktiskt taget hela det radioaktiva innehållet i reaktorn kom ut i luften och spriddes med vindarna. Resultatet blev skrämmande högt och om det hade överensstämt med verkligheten skulle det inneburit stora faror för människors liv och hälsa även i Köpenhamnsområdet. Man planerade också att vidtaga omfattande åtgärder.

Omkring år 1980 visade emellertid experiment i olika länder att vid en härdsmälta en stor del av radioaktiviteten klibbade fast vid reaktorväggarna och vid insidan av inneslutningen medan endast en ringa del kom ut i luften. Vidare försågs Barsebäcksreaktorerna som de första i världen med ett filter i form av ett stort torn fyllt med krossad sten där ytterligare en mycket stor del av de radioaktiva ämnena adsorberades. Effekten var så stor att Köpenhamn, även vid en härdsmälta i Barsebäck, maximalt skulle utsättas för så mycket radioaktivitet som i cancer-avseende svarar mot totalt 50 cigarretter. Jämförelser med cigarrettrökning är realistiska därför att rökning utgör den enda kända orsak till cancer för vilken det finns ordentlig statistik.

Den starka danska propagandan mot Barsebäck tycks hålla i sig och troligen är orsaken att massmedia endast kommer ihåg de starkt överdrivna riskvärdena från 1977 och inte de senare realistiska resultaten. I denna situation har två av de danska experterna, Uffe Korsbeck och P.L. Ullgaard,

publicerat en bok som anger de riktiga värdena. Titeln är: "Barsebäcksverket - en sikker Nabo". De betonar att Barsebäck är ett av världens säkraste kärnkraftverk och att man inte har att frukta några allvarliga skador i Köpenhamn eller i Danmark i övrigt ens vid en härdsmälta i Barsebäck. Vidare visar de att påståendet att Barsebäck har större befolkning i sin omgivning än andra verk är oriktigt. Några veckor efter det att boken kommit ut ringde jag en dansk kollega och frågade honom om den danska reaktionen på dessa nya resultat. Han svarade mycket förvånad att han inte hört ett ord om saken. Det visade sig att tidningarna inte brytt sig om att nämna något om saken, med undantag för en kort notis i den konservativa Berlingske Tidende. En erfaren ämbetsman sade mig att tidningarna undertryckt detta för deras propaganda störande uttalande. Undertryckande av information till allmänheten i ett kritiskt skede är ett allvarligt brott mot det fria ordet och hindrar en demokrati att fungera. Vad som hänt visar ihåligheten i de fordringar som från visst danskt håll riktas till Sverige.

Händelserna efter Chernobyl.

Man har nu ganska allmänt accepterat att reaktorerna i Chernobyl fundamentalt skiljer sig från våra lättvattenreaktorer. Den förolyckade reaktorn innehöll 120 ton grafit som råkade i brand varigenom radioaktiviteten fördes högt upp i luften för att sedan spridas åt olika håll. Reaktorn var i vissa situationer instabil vilket man undvikit i väst. Det kan nämnas att Marviken-reaktorn stoppades (med en förlust av 350 miljoner kronor) därför att man endast genom ytterligare stora insatser skulle kunna få den stabil. Chernobyl-reaktorn saknade inneslutning och hela höljet kring reaktorn rasade genast samman.*) De svenska reaktorerna är omgivna av en ytterst solid inneslutning med två lager betong utanför varandra och mellan dem en platta av rostfritt stål som gör inneslutningen gassäker. Men i övrigt har bristen på den kunskap som Erlander förespråkat visat sig vara allvarlig, bl.a. i de stora feltolkningar som förekommit, och det som förevarit i de nordiska länderna har vunnit betydande tilltro. Ryssarna tog en betydande risk vid Chernobyl för att få ökad effekt genom att använda vatten som kylmedel. Detta reagerade med grafiten så att fritt väte utvecklades vilket tillsammans med luftens syre bildade knallgas som sedan exploderade. Inget land i väst har tagit denna risk utan i stället valt koldioxid som ju inte kan ge upphov till några explosioner.

*) Se vidare artikeln "Olyckorna vid Harrisburg och Tjernobyl".

Strålningen representerar ett fundamentalt område där kunskaper i alltför liten utsträckning har meddelats allmänheten. Detta område torde ha lidit mest av att Erlanders råd om utförlig, klar och enkel information försummats. Alla levande varelser har sedan miljarder år levat i en omgivning av radioaktiv strålning. Liksom en fisk är omgiven av vatten och i sin kropp innehåller vatten så är människan och alla andra varelser omgiven av strålning och sänder ut strålning från sin egen kropp. Kalium är livsnödvändigt och förekommer bl.a. som en radioaktiv isotop, kalium 40, vilken per sekund sänder ut omkring 3000 Bq. (1Bq = 1 becquerel betecknar 1 sönderfall per sekund). Ungefär samma mängd sänds ut inne i vår kropp av kol 14, den isotop som möjliggör åldersbestämningar av organiska ämnen. Dessa 6000 Bq utgör endast en del av det strålningsfält som omger oss och som uppgår till omkring 35,000 Bq. Diskussionen efter Chernobyl ger ett beklagligt intryck av i vilken obetydlig omfattning allmänheten har delgivits viktig information. Obetydliga mängder strålning, t.ex. 15 Bq i mjölk, har på ett orimligt sätt skrämt upp allmänheten. Regeringens bestämmelse att 300 Bq/kg skall vara en övre gräns för renkött har spelat en ytterst olycklig roll för samerna som helt i onödan utsatts för åtgärder som hotat hela deras kultur. Ansedda experter har sökt förmå energi- och miljöministern (Birgitta Dahl) att höja detta värde till åtminstone 1,000 Bq, men hon har hittills vägrat.

I DN den 19 oktober 1986 har fyra ledande experter yttrat sig i en artikel med titeln "Samerna offras utan sakskäl". Det är överläkaren Magnus Lind vid KS, sjukhusfysikern Stig Larsson, också vid KS, Dr. Lars-Erik Hohl, Radiumhemmet och professor Lars-Gunnar Larsson vid onkologiska institutionen i Umeå och förutvarande universitetsrektor. De citerar följande siffror för den naturliga bakgrundsstrålningen: utomhus 38,000 Bq; bostadshus 120,000 Bq och gräns för åtgärd 900,000 Bq (det kan t.ex. vara fråga om radonhus). Jämför man detta med den tidigare nämnda siffran 300 Bq/kg renkött så inser man hur orimliga kraven är. Andra jämförelser talar också ett mycket tydligt språk. På röntgenavdelningar har man många decenniers erfarenhet och med denna grund har man bestämt den högsta tillåtna dosen vilket givetvis skett med noga beaktande av personalens hälsa. Man finner då att 10 kg renkött med gränsdosen 300 Bq/kg svarar mot 1/60 av röntgendosen!

Detta är ett mycket typiskt exempel på att myndigheterna ställer utomordentligt hårda villkor så snart någonting har att göra med kärnkraft. Informationschefen för strålskyddsinstitutet liksom dess chef, generaldirektör Gunnar Bengtsson, blir upprörda när de hör talas om jägare som gräver ner sina älgar bara för att de innehåller ett par tusen becquerel cesium per

kg och föreslår att gränsen skall höjas till åtminstone 1000 Bq/kg. I en intervju i SvD 12 oktober 1986 avböjer Birgitta Dahl att höja gränsen med orden: "Det finns intet som helst skäl att ändra de bedömningar som låg till grund för fastställandet av riktvärdet i våras." Hon tar inte ens upp till debatt de synpunkter och jämförelser med tidigare välbeprövade gränser som har tillämpning vid t.ex. lasaretten. Jag infogar här en upplysning som delgivits mig av docenten Stevan Dedijer, tidigare chef för den fredliga kärnenergin i Jugoslavien och numera verksam i Lund. Det gäller en redogörelse i tidningen Corriere della Sera på vilket sätt italienarna önskar att inflytandet på kärnkraften i landet skall fördelas. Resultatet blev att man ville ge 74% till vetenskapsmän och tekniker. På liknande sätt kan man med ledning av Birgitta Dahls uttalande göra en motsvarande tabell över inflytandet i Sverige, nämligen Birgitta Dahl 100%, vetenskapsmän och tekniker 0%.

Vi vill också behandla ett vanligt men ogenomtänkt påstående i samband med kärnkraften. Man fordrar en absolut säkerhet. Detta är omöjligt och orimligt vilket ofta framhållits. Men icke desto mindre förekommer detta krav även i centrala politiska kretsar. Att detta anspråk är principiellt orimligt inses av att det endast förekommer i samband med kärnkraftsmotstånd. Icke desto mindre kan en ledande politiker säga att eftersom det inte kan garanteras att kärnkraften är absolut säker så kan den inte beredas plats i vår kultur.

Biltrafiken i världen kostar enligt Trafiksäkerhetsverket varje år mer än 250,000 människor livet. Ingen har, såvitt jag vet, velat förbjuda biltrafik. T.o.m. en så enkel sak som att gå över gatan innebär risker och ingen kan garantera att denna handling under någon omständighet kan bli absolut säker. Det borde vara ett minimikrav på logik och realism att sådana fordringar på absolut säkerhet inte framställs i seriösa sammanhang. Vad som nu sker är att man söker minska riskerna genom att avskaffa dem helt. Men besparingarna i liv och hälsa är ingalunda absoluta eftersom man måste sätta något i stället, och därvid torde kol komma i första rummet. Det har sagts från entusiasterna för avveckling att det skulle vara möjligt att rena kolröken från svavel och andra försurande element. Många anser dock att detta är ytterst tvecksamt. Emellertid finns det en sak som inte nämnts av kärnkraftsmotståndarna, nämligen att ökad användning av kol kräver större insatser av kolgruvearbetarna vilket i sin tur leder till ett ökat antal gruvolyckor. Olof Palme uppskattade antalet dödsolyckor i de amerikanska kolgruvorna fram till dags dato till omkring 100,000. Vidare kan nämnas att kolbrytningen i världen enbart efter andra världskriget kostat

över 100,000 liv, detta enligt en artikel i de tyska kolgruvearbetarnas tidskrift "Die Eilheit". Det man eventuellt skulle vinna på att avskaffa kärnkraften förlorar man med råge genom olyckor i kolgruvorna. Det finns anledning betona att till dags dato inte en enda människa i väst har förlorat livet vid en kärnreaktor genom strålning.

Kärnkraften 1996, en översikt

Ragnar Hellborg

Inledning

"*En stabil och säker energiförsörjning är av största betydelse för Sveriges utveckling, sysselsättning och välfärd.*" Med dessa ord inledde Sveriges energiminister en debattartikel i Dagens Nyheter i början av december 1996. Få är väl de svenskar som inte kan skriva under detta påstående. Ändå har energifrågan skapat så många politiska problem under en följd av år. Sverige har onekligen ett antal problem, en del stora, en del lite mindre. Vår energiförsörjning hör dock definitivt inte till dessa problem. I många andra länder, framförallt u-länder är energitillgången ett verkligt problem. Sverige har en gynnsam situation bl. a. beroende på att vi inte har några omedelbara investeringsbehov; el produceras nästan uteslutande med hjälp av kärnkraft och vattenkraft och det finns därför inga skadliga utsläpp. Vi har dessutom idag en låg rörlig kostnad. Detta icke-problem har av det politiska etablissemanget under en följd av år behandlats som ett jätteproblem. Man har gjort kärnkraftsfrågan till en verklig långkörare i den svenska politiken och utnyttjar den som en bricka i det politiska spelet.

Det var i början av sjuttiotalet som kärnkraften började ifrågasättas. Trots den långa tid som gått kan man för närvarande inte se något som tyder på att frågan kan avföras från den politiska dagordningen. Trots folkomröstningen 1980, ett antal energiutredningar och riksdagsbeslut har politikerna inte lyckats neutralisera frågan. Inte minst det gångna året 1996 har varit ett intensivt år när det gäller kärnkraften i Sverige. I slutet av 1995 kom energiutredningens slutbetänkande. Remissbehandlingen pågick under de första fyra månaderna av 1996. Därefter vidtog partiöverläggningar. Föreningen *Miljövänner för Kärnkraft* som är en politiskt och kommersiellt oberoende ideell förening, söker tillföra debatten saklig och

seriös information baserad på etablerad vetenskap. Tillkomsten av denna bok är ett led i strävan att få bättre balans mellan uttalanden och verkligheten. Det är tyvärr slående hur få sakargument som används i de politiska argumentationen.

I denna översiktsartikel redovisas först aktuell information angående kärnkraften och energin i världen och i Sverige. De olika eventuella alternativen till kärnkraften diskuteras därefter. Slutligen kommenteras energiutredningen och partiöverläggningarna.

Kärnkraften i världen

Internationellt sett är kärnkraften inte alls den borttynande energiform som kärnkraftmotståndarna ofta framhåller. Världen befolkas idag av nära sex miljarder människor, om femtio år sannolikt tio miljarder. Över två miljarder har idag inte tillgång till el. Världens energibehov förväntas öka med 40% fram till år 2010 medan elbehovet under samma tid kommer att öka ännu mer. Den helt dominerande delen av ökningen väntas ske i u-länderna. Fossila energikällor (dvs. olja, gas och kol) svarar idag för 90%, vatten och kärnkraft för 2.5 resp. 7% av den kommersiella tillförseln. Att väsentligt öka den fossila delen skulle innebära en kraftigt ökad risk för världskatastrof på grund av klimatförändringar. Av de så kallade förnybara energikällorna är det bara vattenkraften som under rimlig tid kan anses vara ekonomiskt konkurrenskraftig. Det som därutöver återstår för att ge mer tillgång till energi är kärnkraft.

De första kommersiella reaktorerna startades under 1950-talet. Mer än 8 000 reaktorårs erfarenhet har uppnåtts under 1996. Utöver kärnkraftreaktorer för elproduktion finns mer än 250 skepp -stora handelsfartyg, isbrytare och ubåtar- som drivs av ungefär 400 kärnreaktorer. Ryssland har åtta isbrytare, som till största delen används för icke-militärt bruk. Antal forskningsreaktorer är närmare 300, fördelade på mer än femtio länder. Som framgår av Tabell 1 är för närvarande 29 nya kärnkraftreaktorer under byggnad världen runt. Tre av dem byggs i Frankrike. Europas nya demokratier har ett aktivt kärnenergiprogram. I Tjeckien byggs två nya reaktorer för idrifttagande under 1997 och 1998. I Slovakien byggs fyra reaktorer. I Rumänien har nyligen (hösten 1996) en reaktor tagits i drift och ytterligare en är nära fullbordan. I Ukraina är två under byggnad och i Ryssland är tre reaktorer under byggnad (viss reservation för den sista uppgiften).

Land	% el	I drift		Under byggn		Best, plan		Totalt	
		Ant	MW_e	Ant	MW_e	Ant	MW_e	Ant	Mw_e
Argentina	12	2	935	1	692			3	1627
Armenien	0	1	376					1	376
Belgien	56	7	5631					7	5631
Brasilen	1	1	626	1	1245			2	1871
Bulgarien	46	6	3538					6	3538
Kanada	17	21	14668					21	14668
Kina	1	3	2088	2	1200	8	6806	13	10094
Tjeckien	20	4	1632	2	1784			6	3416
Egypten						1	600	1	600
Finland	30	4	2310					4	2310
Frankrike	76	57	59978	3	4355			60	64333
Tyskland	29	20	22181					20	22181
Ungern	42	4	1729					4	1729
Indien	2	10	1695	4	808	12	4408	26	6911
Indonesien						1	600	1	600
Iran						6	3320	6	3320
Japan	33	54	43686			22	25566	76	69252
Kazakstan	0.1	1	135					1	135
Nordkorea						2	2000	2	2000
Sydkorea	36	11	9120	5	3850	12	13100	28	26070
Litauen	86	2	2760					2	2760
Mexiko	6	2	1308					2	1308
Nederländerna	5	2	508					2	508
Pakistan	1	1	125	1	300			2	425
Rumänien		1	620	1	620	3	1860	5	3100
Ryssland	12	25*	19799	3	2825	12	9200	40	31824
Slovakien	44	4	1632	4	1552			8	3184
Kroatien	39	1	632					1	632
Sydafrika	6	2	1844					2	1844
Spanien	34	9	7125					9	7125
Sverige	47	12	10039					12	10039
Schweiz	40	5	3049					5	3049
Taiwan	29	6	4884			2	1900	8	6784
Turkiet						1	1000	1	1000
Ukraina	38	15	13045	2	1900			17	14945
Storbritannien	25	35	12788					35	12788
USA	22	109	100339					109	100339
Totalt	**17**	**437**	**350825**	**29**	**21131**	**82**	**70760**	**548**	**442716**

Tabell 1. Kärnkraft i olika länder. I drift, under byggnad, beställd eller planerad.
* Fyra små reaktorer i Ryssland på vardera 11 MW_e gör att totala antalet i världen är 441. (Tabellen är aktuell i januari 1997.)

Utanför Europa sker också utbyggnad. Eftersom den kraftigaste ekonomiska utvecklingen för närvarande sker i Sydostasien, finns det där också ett stort behov av ökad energiproduktion. Speciellt i de länder som saknar egna tillgångar på kol, olja och gas sker expansionen med kärnkraft. I Sydkorea byggs fem nya reaktorer, i Japan togs under hösten 1996 två nya i drift, i Indien byggs fyra, i Pakistan en. Utöver dessa länder väntas i första hand Indonesien och eventuellt Thailand att inom de närmaste åren starta uppbyggnad av sina första kärnkraftverk. Såsom framgår av Tabell 1 är för närvarande (januari 1997) 437 reaktorer i kommersiell drift i 32 länder (432 under år 1995). Från tabellen framgår också antal reaktorer under byggnad, beställda eller planerade samt andelen kärnenergi av totala elenergin. Tabellen har hämtats från "Nuclear Issues Briefing Paper 7" (http://www.uic.com.au/nip07.htm). Av reaktorer som ännu inte har använts kommersiellt kan nämnas att ABB Atom har utvecklat ett nytt reaktorsystem, PIUS-projektet (närmre beskrivet i Föreningens bok "Kärnkraft ur olika perspektiv"). Systemet är baserat på en ny säkerhetsprincip med s. k. passiv säkerhet. Detta utvecklingsarbete ligger för närvarande nere på grund av osäkerheten om den framtida marknaden. I Frankrike och Japan utvecklas bridreaktorer. På sikt kommer sannolikt detta att bli lösningen på energiproblemet inom överskådlig tid. Den stora fördelen med denna reaktortyp är att uranbränslet kan användas hundra gånger så effektivt jämfört med dagens reaktorer. Världens urantillgångar blir därmed näst intill outtömliga. Dock återstår många tekniska problem innan denna typ av reaktor kan bli kommersiellt tillgänglig. En ny reaktoridé som lanserades för några år sedan är en kombination av accelerator och reaktor (se separat kapitel i denna bok). Tekniken har stora fördelar: utöver uran kan också torium användas som bränsle. Den kan också användas för att oskadliggöra vapenplutonium och därmed göra kärnvapennedrustningen praktiskt genomförbar. Det högaktiva avfallet från en sådan reaktor/accelerator blir betydligt mera kortlivat jämfört med avfallet från dagens reaktorer. Ytterligare en fördel är att reaktorn stannar i samma ögonblick som acceleratorstrålen stängs av vilket innebär att reaktorn aldrig kan spåra ur.

Kärnkraften i Sverige

I Sverige finns idag 12 kärnkraftreaktorer i drift. Som framgår av nästa avsnitt 4 förser dessa oss med halva elbehovet. Nio av dessa reaktorer är svenska kokarreaktorer (BWR) tillverkade av ABB Atom. Tre reaktorer (Ringhals 2, 3 och 4) är tryckvattenreaktorer (PWR) tillverkade av Westinghouse, USA. I Tabell 2 framgår reaktorernas effekt, startår samt tidsbegränsningar i tillstånd. Ringhals ägs av Vattenfall AB, som är helägt av svenska staten. Forsmark ägs av Forsmarks Kraftgrupp AB, bakom vilket Vattenfall AB står med 75% av aktiekapitalet. Övriga aktieägare är framförallt Stockholm Energi, Gullspångs Kraft, Stora Kraft, Skellefte Kraft, Sydkraft samt Karlstads kommun. Oskarshamnsverket ägs av OKG AB, i vilket bolag Stockholm Energi, Gullspång Kraft, Stora Kraft, AB Skandinaviska Elverk, Karlstad kommun och Sydkraft är aktieägare. Sydkraft är största enskilda ägare i OKG AB med nära 55% av aktiekapitalet. Barsebäck ägs av Barsebäck Kraft AB som är helägt av Sydkraft AB. Sydkraft AB ägs i sin tur av kommuner, enskilda och organisationer, pensionsfonder, försäkringsbolag och företag av vilka en stor del är utländska.

De totala kostnaderna för att producera el i ett kraftverk beror på bland

Reaktor	Startår	El-effekt (MW)			Drifttillstånd	
		urspr	höjd	år	beslut	beviljat till
Barsebäck 1	75	570	600	85		obegr.
Barsebäck 2	77	570	600	85	12/12-85	2010
Forsmark 1	80	900	970	86	12/12-85	2010
Forsmark 2	81	900	970	86	12/12-85	2010
Forsmark 3	85	1050	1155	89	12/12-85	2010
Oskarshamn 1	72	440	-			obegr.
Oskarshamn 2	75	575	605	82		obegr.
Oskarshamn 3	85	1050	1160	89	28/6-84	2010
Ringhals 1	76	750	795	89	30/3-89	obegr.
Ringhals 2	75	800	875	89	19/10-95	30/6-97
Ringhals 3	81	915			12/12-85	2010
Ringhals 4	83	915			12/12-85	2010

Tabell 2. De svenska kärnkraftverken.

annat avskrivningar och räntor, kostnader för drift och underhåll, bränslepris och verkets tillgänglighet. Tillgängligheten anger hur stor del av året verket är i drift. Underhåll, service och bränslebyten medför att tillgängligheten i Sverige är begränsad till 75-90% för BWR och 55-85% för

Ringhals 2 och 80-90% för Ringhals 3 och 4. De genomsnittliga produktionskostnaderna i de svenska kärnkraftverken framgår av Tabell 3. En del av driftskostnaderna hänför sig till gemensamma funktioner vid varje anläggningsplats. Detta är förmodligen orsaken till att driften blir något billigare vid de större verken Forsmark och Ringhals.

I jämförelse med den produktion som man antog vid starten av de svenska kärnkraftverken har en prestationshöjning skett. Denna motsvarar totalt 15 TWh/år. Den beror dels på effektökning, dels på högre tillgänglighet än vad som förutspåddes. Den samlade nettoeffekten enligt tabell 2 är i dag 10 000 MW medan bruttoeffekten uppgår till 10 400 MW. Tekniskt sett finns det möjlighet till ytterligare effektökningar. Exempel på insatser för att öka prestanda är höjning av reaktorhärdens effekttäthet samt ökning av kapaciteten för turbin- och generatoranläggningarna. Kapitalkostnaderna för dessa åtgärder är enligt Vattenfall AB mellan 500 och 1500 kronor per ökad kW.

I den svenska debatten framhålls ofta att de svenska kärnkraftverken är gamla och blir sämre med växande ålder. Den åsikten delas inte av de svenska kärnkraftsägarna och inte heller av svenska säkerhetsmyndigheter. I samband med Energikommissionens arbete har Statens Kärnkraftinspektion (SKI) gjort bedömningen att det inte finns några stora skillnader i säkerhetsnivån mellan äldre och yngre reaktorer. Med utvecklingen av principer för underhåll, utveckling och modernisering blir reaktorerna, inte minst de svenska, säkrare med åren. Det enda undantaget man kan se är själva reaktortanken. Denna åldras kontinuerligt på grund av strålningen. Eftersom man vet om detta problem, hålls det under ständig uppsikt och prov visar att tankmaterialet i samtliga svenska reaktorer tål drift väsentligt längre än 40 år. (Även tanken kan bytas ut, dock är det ett stort ingrepp.) Världens äldsta kommersiella reaktor Calder Hall i England passerade nyligen 40 år i drift och fick då förnyat tillstånd på ytterligare 10 år. En annan reaktor som passerat 40 år finns i Obninsk.

Den framtida produktionskostnaden för de svenska kärnkraftverken är svår att uppskatta. För närvarande ser inte SKI några tekniska begränsningar, som skulle minska möjligheterna att genomföra reparations- och renoveringsarbeten. Det är idag inte möjligt att ange någon egentlig högsta tekniska livslängd för en kärnkraftreaktor. Dock kommer det givetvis med tiden att visa sig att någon nödvändig renoveringsåtgärd inte är motiverad av ekonomiska skäl. Reaktorn kommer då att ställas av. Säkerhetsbedömningar i kombination med ekonomiska avgöranden bestämmer på detta sätt reaktorns faktiska livslängd.

	Drift	Avskr och ränta	Totalt
Barsebäck	12.7	1.9	14.5
Forsmark	8.6	7.8	16.5
Oskarshamn	12.0	9.5	21.5
Ringhals	9.5	3.8	13.3

Tabell 3. Genomsnittliga produktionskostnader år 1994 uttryckt i öre/kWh_{el}.

Eventuella prishöjningar på uran kommer inte att spela någon roll. Bränslets andel av produktionskostnaden är mycket låg, omkring 15%.

Det för närvarande billigaste sättet att öka elproduktionen i Sverige är genom att öka produktionen i de existerande kärnkraftverken. Genom att höja effekten kan man få ut ytterligare 10 TWh/år. Priset för detta blir lägre än 20 öre/kWh.

Kostnader för att bygga nya kärnkraftverk i Sverige skulle med utgångspunkt från det i Finland nyligen projekterade femte kraftverket kunna uppskattas till omkring 30 öre/kWh.

Risken för en olycka i en svensk reaktor är ett av argumenten för att avveckla kärnkraften, omhändertagandet av avfallet en annan. Från 1980 och fram till nu anses risken för en olycka i ett svenskt kärnkraftverk ha reducerats med en faktor hundra. Detta kan till största delen tillskrivas beslut om säkerhetshöjande åtgärder.

Det svenska energiläget

Den totala energitillförseln i Sverige under senast rapporterade år (1995) var 468 TWh. (Många av sifferuppgifterna i detta avsnitt har hämtats ur "Energiläget 1996" utgivet av NUTEK.) Av denna svarade råolja och oljeprodukter för den suveränt största delen, nämligen 203 TWh. Övrig tillförsel kom från biobränslen 84 TWh, kärnkraft 70 TWh, vattenkraft 68 TWh, kol 28 TWh. Gas och spillvärme gav små bidrag 9 resp. 8 TWh. Om man blickar tillbaka i tiden så framgår att energitillförseln de senaste 25 åren har varit i stort sett konstant. År 1970 var den totala tillförseln 457 TWh. Dock har under dessa 25 år stora förändringar ägt rum i energisystemet. Oljan svarade år 1970 för 77% (motsvarande 350 TWh). Denna siffra hade 1995 sjunkit till 43%. Elproduktion baserad på vattenkraft har samtidigt ungefär fördubblats. Kärnkraften har tillkommit, den fanns inte 1970. Vatten- och kärnkraftsförändringarna innebär att elkraftens sammanlagda andel av den totala energitillförseln har ökat från 14 till 30%. Den minskade oljeanvändningen har också medfört att kol och koks samt

biobränsle och torv ökat sina andelar (från 4 resp. 9% år 1970 till 6 resp. 18% 1995).

Av energianvändningen svarar sektorn bostäder och service för den största delen, nämligen 157 TWh, tätt följd av industrin som förbrukar 146 TWh. Slutligen är inrikes transporter en stor energianvändare, 87 TWh. Härtill skall läggas 36 TWh för bl. a. utrikes sjöfart och 41 TWh för förluster. Inrikes transporter har ökat kraftigt från 15 till 22% av den totala energianvändningen under åren 1970-1995. Samtidigt har industrins och bostadsanvändningens andel sjunkit något, från 41 resp. 44% till 37 resp. 41%.

Som framgår av ovanstående så har Sveriges energianvändning varit ganska konstant i många år. Om man istället tittar på elanvändningen, så har det skett ungefär en fördubbling från 1970 till 1995. Under år 1995 uppgick den till 141 TWh. Den största ökningen ligger inom sektorn bostäder, service mm som i stort har tredubblats under perioden och under 1995 uppgick till 72 TWh, alltså drygt hälften av elanvändningen. Ökningen beror främst på övergång från olja till el för bostadsuppvärmning. Elanvändningen inom industrin har nästan fördubblats under 25-årsperioden och var 1995 52 TWh, alltså mer än en tredjedel av den totala elanvändningen. Eftersom industrins användning är kopplad till industriproduktionen har elanvändningen givetvis varierat som en följd av konjunkturväxlingar. Användningen av el för transporter och i fjärr- och kraftvärmeverk är relativt liten, 2.5 resp. 7.5 TWh. Slutligen var förlusterna i transporten av el 7.5 TWh.

Produktionen av el är huvudsakligen baserad på kärnkraft och vattenkraft. Under 1995 svarade de för vardera 67 TWh. Detta motsvarar 93% av de totalt producerade 143 TWh. Återstående 7% fördelade sig på kraftvärmeanläggningar 4.2 TWh eller 2.9%, fjärrvärmeverk 4.7 TWh eller 3.3% samt slutligen i oljekondenskraftverk och gasturbiner 0.6 TWh eller 1%. De omkring 200 vindkraftverkens bidrag var mycket obetydligt, 0.1 TWh eller 0.07% av totala elproduktionen. Inom parentes kan nämnas att solenergi stod för 0.0001 TWh. Produktionsanläggningarna utnyttjas i kostnadsordning. Anläggningar med låga rörliga produktionskostnader används således i första hand. Ordningen blir vattenkraft först, därefter kärnkraft, följt av kraftvärmeanläggningar.

Produktionskapaciteten av el (vid normal nederbörd) framgår av Tabell 4 och som jämförelse har motsvarande siffror för Norge, Finland och Danmark medtagits. (Uppgifterna i Tabell 4 har hämtats ur boken "Röster om Energi och Framtid" utgiven av Industriförbundet 1996.)

Kraft	Sverige	Norge	Finland	Danmark	Summa
Vatten	64	110	13		187
Vind				1	1
Kärn	72		17		89
Kraftvärme	10		20	1	31
Oljekondens	20		25	59	104
Gasturbin	5		3	1	9
Summa	171	110	78	62	421

Tabell 4. Produktionskapaciteten av el (uttryckt i TWh) i de nordiska länderna (utom Island) vid normal nederbörd.

I kraftvärmeanläggningar produceras både el och värme. Denna typ av anläggningar finns inom industrin där värmet används för industriprocesser. Fjärrvärmeverk finns i större städer där värmet används i fjärrvärmenät för bostadsuppvärmning (57%), uppvärmning av servicesektorns lokaler (34%) och industrin (9%). Fjärrvärmeverken drevs under 70-talet främst med olja. Idag utgör olja bara 12%, biobränsle och torv svarar istället för merparten, medan värmepumpar svarar för endast en mindre andel. Oljekondenskraftverk och gasturbiner utgör framförallt reservkapacitet. Denna reserv kan behövas vid extremt kall väderlek eller om kraftverk behöver ställas av. Ett resultat av introduktionen av kärnkraften under 70-talet är att man i en följd av år i stort sett sluppit att använda de miljöovänliga oljekraftverken. De har dock varit i drift de två senaste vinterhalvåren till följd av otillräcklig årsnederbörd.

Som framgår av Tabell 4 kan vattenkraftverken i Sverige producera omkring 64 TWh vid normal nederbörd. Lagringskapaciteten i säsongsmagasinen är omkring 30 TWh. Vid extrema torrår kan produktionen gå ner till 50 TWh, vid våtår kan den öka till 75 TWh. Vid torrår blir således den totala produktionskapaciteten i Sverige omkring 155 TWh. Detta skall jämföras med ovan nämnda totala elförbrukning på 141 TWh. Energimarginalen vid torrår är alltså för närvarande inte stor. Detta är definitivt inte ett överskott som ofta nämns i debatten utan endast den marginal som är nödvändig att ha vid produktionsstörningar.

Vad finns det då för marginaler för att klara snabba oförutsedda förändringar i produktion och förbrukning, dvs effektmarginal? Det är den marginal som behövs då elförbrukningen är som störst. Störst förbrukning brukar inträffa på dagtid under vintern. Effektmarginalen kan delas in i momentan, snabb och långsam reserv. Den momentana reserven består av automatisk frekvensreglering och uppreglering av produktionen i vattenkraftaggregaten och inmatning av vattenproducerad el från Norge. Den snabba reserven (upp till femton minuters starttid) är främst gasturbinverk

och reservel från Danmark. Den långsamma reserven är främst de två oljeeldade kraftverken i Karlshamn och Stenungsund. Den totala effektproduktionsförmågan i Sverige är omkring 30 000 MW, vilket framgår av Tabell 5. Den högsta uppmätta effektförbrukningen inträffade vintern 1996 och var 26 200 MW. Vi har alltså för närvarande en effektmarginal i elproduktionssystemet på strax under 4 000 MW.

Energikälla	Installerad effekt (MW)
Kärnkraft	10 040
Vattenkraft	16 499*
Kraftvärme	1 897
Industriellt mottryck	900
Kondensanläggningar	3 194
Gasturbiner	1 900
Vindkraft	40
Totalt	34 470*

Tabell 5. Installerad elproduktionskapacitet i Sverige. *) Endast 12 000-13 000 MW kan av olika skäl (juridiska, hydrologiska) produceras samtidigt från vattenkraft. Detta ger en total tillgänglig effekt av omkring 30 000MW.

Om kärnkraftsavvecklingen inleds kommer omedelbart behov av ny kapacitet att uppstå. Under sommarmånaderna kan Sverige producera dubbelt så mycket elenergi som det går åt i Sverige. Men under kalla vintermånader med högkonjunktur i industrin och torrår kan Sverige tvingas starta olje- och gaskraftverk och importera el. Då finns inget överskott. Ett exempel på detta är vad som hände årsskiftet 1995/96, trots att många industrier då var helgstängda.

Svenskarnas inställning till kärnkraft

Människors inställning till kärnkraft/kärnkraftsavveckling har regelbundet undersökts under en följd av år. Som nämnts ovan har under 1996 kärnkraften kommit alltmer i fokus för den politiska debatten och för mediaintresset. Detta beror dels på Energikommissionens betänkande som offentliggjordes i december 1995 och därefter remissbehandlades under våren 1996, dels på partiöverläggningarna som startade i slutet av våren 1996 och förväntas pågå en bit in på 1997.

Regelbundna attitydundersökningar bland svenska folket visar att de som anser att kärnkraften skall fortsätta att användas efter år 2010 utgör en stor majoritet (63% i undersökning som Kärnkraftsäkerhet och Utbildning AB (KSU) låtit utföra under maj och november 1996). De som anser att kärnkraften skall avvecklas till senast år 2010 utgör bara hälften så många (34% i samma undersökning). Andelen positiva till kärnkraften var som lägst efter Tjernobylolyckan, omkring 30%, men har därefter stigit och har under hela 90-talet varit omkring 50% eller högre.

Andelen som förespråkar fortsatt användning av kärnkraft utgör en stor majoritet bland sympatisörerna för moderaterna (82%), folkpartiet (77%) och socialdemokraterna (65%) vilket kanske inte förvånar. Hos de politiska partier som haft kärnkraftsavvecklingen som en huvudfråga, dvs. centern, miljöpartiet och vänsterpartiet väger det ganska jämnt mellan de båda alternativen. De politiska ledningarna för dessa partier har ingalunda betryggande stöd för avveckling bland sina egna sympatisörer.

Gapet mellan män och kvinnor då det gäller inställningen till kärnkraft är stort. Dubbelt så många kvinnor (46%) som män (22%) vill avveckla kärnkraften omedelbart eller senast till år 2010. Det är framförallt unga kvinnor som är emot kärnkraften (i denna grupp är det hela 61%).

Vilka alternativ finns det till kärnkraften?

Världens totala elproduktion är omkring 12 000 TWh/år (uppgiften hänför sig till år 1990). Den största delen (omkring 40%) kommer från kolkraft. Den internationella handeln med kol är välorganiserad och transportkostnaderna är förhållandevis låga. Därför har man i många länder valt att bygga kolkraftverk. Man behöver inte teckna långa inköpsavtal och kan förlita sig på att det finns ett stort utbud av kol på marknaden med många möjliga leverantörer. Kostnaden i Sverige för ett nytt kolkraftverk beräknas till drygt 30 öre/kWh.

Av världens elproduktion utgör fossilgaskraft (naturgas är en annan mera tveksam beteckning på denna gas) en betydligt mindre del (10-15%). De gaskraftverk som byggs idag är kombikraftverk med hög termisk verkningsgrad, mer än 50%. För uppförande av denna typ av verk i Sverige behövs dock utbyggnad av gasledning från lämpligt gasfält. En sådan gasledning är en stor del av kostnaden. Dessutom binder denna ledning brukaren till en leverantör av gas. Detta kräver långsiktiga avtal om leverans. Priset på gas brukar relateras till kolpriset. Detta medför att ny kraftproduktion i gasverk i Sverige kostar drygt 30 öre/kWh. Utbudet av olja och kol är stort och utvinningskostnaderna ligger långt under dagens priser. Ökning av priset inom närmaste tioårsperioden är därför inte trolig. Dessutom är själva kolkostnaden en mindre del av kostnaden för elpro-

duktion. Därför blir genomslaget av en eventuell kolprishöjning på produktionskostnaden inte så stor.

Man kan alltså konstatera att kostnaden för nya kol- och gaskraftverk är ungefär samma som för ny kärnkraft, 30 öre/kWh. Kraftproducenterna i Sverige anser för närvarande gaskraftverk vara det bästa alternativet från ekonomisk synpunkt. Elpriserna i Norden är för närvarande omkring 20 öre/kWh. Förutsatt att kärnkraften inte avvecklas förmodas elpriset sakta stiga och först 5-10 år in på 2000-talet nå den högre nivå som motsvarar kostnaden för att bygga nya kraftverk. Det förutsätter dock att vi accepterar att driva gamla, miljöovänliga kondenskraftverk som reservkraft.

Vad gäller då för de så kallade förnybara alternativen för elproduktion? Kostnaderna för solceller är idag 3 kronor/kWh. Detta kommer inte att innebära något alternativ på åtskilliga år. Det finns idag i Sverige omkring 200 vindkraftverk, de flesta med effekt runt 300 kW. Som nämnts ovan är deras andel mycket liten eller 0.07% av totala elproduktionen. Kostnaden är omkring 50 öre/kWh. Denna kostnad kommer inte att kunna sänkas eftersom verken redan serieproduceras. Då det måste finnas reservkapacitet för vindkraftverk för tider då det inte blåser -inte minst kalla vinterdagar- måste dessa kompletteras med verk som kan startas med kort varsel. Till kostnaden att bygga vindkraftverk måste därför läggas kostnaden för reservkraftverk på omkring 15 öre/kWh. Således en totalkostnad för nya vindkraftverk på omkring 65 öre/kWh. Idag finns en marginalkapacitet i den nordiska elproduktionen svarande mot ett begränsat antal vindkraftverk. Det går också att bygga betydligt större vindkraftverk, 4-5 MW effekt med 100 meter höga torn och med propellerdiameter på 100 meter. Kostnaden för så stora verk är vid serieproduktion (som dock för närvarande inte förekommer) uppskattad till 1 kr/kWh. Dock, även om man skulle acceptera denna höga kostnad (en kostnad man inte räknar med att kunna sänka på sikt) kan den totala produktionen inte bli mer än omkring 7 TWh, dvs en tiondel av nuvarande kärnkraftproduktionen. Ett räkneexempel är följande: För att producera lika mycket effekt som Barsebäcks båda reaktorer (total effekt 1 200 MW) krävs 4 000 vindkraftverk på vardera 300 kW. Men eftersom vindkraftverk levererar el endast under ungefär en tredjedel av total tid (på grund av vädret) och kärnkraftverken under omkring 80% av tiden behövs totalt omkring 9 600 vindkraftverk för att ersätta Barsebäck och fortfarande få samma energi. En helt annan sak är att det blåser mest under vår och höst. Under den kallaste årstiden vintern blåser det betydligt mindre. Det är då behovet av el är störst.

Slutligen det av bland andra Centerpartiet omhuldade biobränslet, kan det vara ett alternativ? Det som framförallt används i biobränsleverk är

produktion från energiskogar, rester från skogsavverkning, träavfall från industrin och hushållsavfall. För att få rimliga ekonomiska förutsättningar måste elproduktionen ske i kraftvärmeverk. Detta innebär samtidig produktion av el och värme (den senare får bara avsättning under den kalla årstiden). Kostnaden är idag 50-60 öre/kWh producerad el. Produktionen i biobränsleverk idag är under 1% av totala elproduktionen. Med bibehållen kostnad -under 60 öre/kWh- skulle produktionen kunna byggas ut till kanske 5 TWh, dvs en fjortondel av nuvarande kärnkraftproduktion! Kostnaderna för biobränsleproducerad el väntas inte bli lägre i framtiden. Tekniken, maskiner och fastbränslepannor är redan välutvecklade och har byggts i stort antal världen runt. Av ovanstående framgår att ett kraftfullt utbyggt system med vind- och biokraft på sin höjd ge kan 10-12 TWh/år. Bygger man ut de fyra återstående älvarna -som idag är skyddade enligt riksdagsbeslut- får man ytterligare omkring 16 TWh/år. För att ersätta kärnkraften krävs ytterligare omkring 45 TWh/år. Användningen av biobränslen kräver omfattande transporter. Detta strider mot målet att minska vägtransporternas andel av energiförbrukningen.

Finns det då någon erfarenhet utomlands av vad en kärnkraftsavveckling betyder? Ja, det gör det faktiskt. Efter en folkomröstning strax efter Tjernobylolyckan bestämde sig Italien för att avveckla ett kärnkraftprogram av liten omfattning. (En reaktor stängdes 1982, återstående tre efter folkomröstningen.) Detta beslut ledde dessvärre inte alls till några förnybara energikällor i form av sol, vind etc. Istället importeras idag gas från Nordafrika. Därutöver importeras 20% av elbehovet från Frankrike. Denna el produceras till större delen med kärnkraft, så avvecklingen innebar att inhemsk kärnkraft ersattes med importerad.

Av ovanstående framgår att enda ekonomiska alternativet till kärnkraft är kraftverk eldade med gas eller kol. Om kärnkraften avvecklas kommer elproducenterna att bygga sådana eftersom de är billigast. Enda sättet för staten att hindra detta är antingen att beskatta fossilgas och kol kraftigare eller att kraftigt subventionera förnybar energi. Nu kommer förmodligen inte staten att behöva ingripa. Det är sannolikt så att kraftindustrin inte kommer att våga göra några investeringar i nya kraftverk i Sverige. När det blir nödvändigt att förse den svenska marknaden med mer el kommer man att satsa på kraftverk i grannländerna. Där är risken mindre att staten förändrar villkor och beskattar bort nästan all vinst. Redan nu planeras sådana kraftverk i Norge och Finland.

Problem vid energiproduktion

Under de senaste årtiondena har klimatfrågan mer och mer skjutits i förgrunden. Eldning med fossila bränslen -olja, kol och gas- anses på sikt påverka jordens klimat. Orsaken är koldioxid som bildas vid eldning och därefter ackumuleras i atmosfären. Växthusgaserna, främst koldioxid och vattenånga, är avgörande för temperaturen på jorden. Under de senaste hundra åren har koldioxidhalten i luften stadigt ökat. Denna ökning beror på fossilbränsleeldning. I många industriländer betraktas numera denna temperaturhöjning som det allt överskuggande globala miljöhotet.

Om det visar sig att detta klimathot är verkligt och man då uppnår överenskommelser om internationella åtgärder för begränsning av användningen av fossilbränslen kommer den internationella utbyggnaden av kärnkraften att accelerera globalt. Detta kommer också att påverka Sverige. Ty oavsett vad de svenska politikerna bestämmer idag om att den svenska kärnkraften skall avvecklas, kommer denna inställning på sikt att få omprövas med hänsyn till omvärlden. Många länder kommer att satsa på att bygga ut kärnkraften. Eftersom elförsörjningen samtidigt blir mer och mer integrerad inte bara i Norden utan i större delen av Europa kommer de svenska konsumenterna att försörjas med kärnkraftsel tillverkad i Sverige eller utomlands. I verkligheten kommer politiska beslut om kärnkraften i Sverige inte att ha någon betydelse för kärnkraftens framtid.

Det är faktiskt så att redan idag har några få länder vidtagit åtgärder för att begränsa koldioxidutsläppen. Sverige är ett av dessa få länder, Danmark, Finland och Norge är de övriga länderna. Sverige har sedan 1991 en särskild koldioxidskatt (för närvarande omkring 35 öre per kilo koldioxid). Sverige har dessutom särskilda energiskatter på olja, kol och fossilgas. Dessa två skatter (koldioxid- och energiskatten) innebär en prisökning för kol på 400% och för olja och gas 200%. Sverige är det land som minskat sina koldioxidutsläpp mest. Detta beror främst på kärnkraften och på den kraftiga minskningen av oljeanvändning under 1970-talet. Sveriges riksdag har dessutom uttalat att utsläppen av koldioxid från fossila bränslen bör stabiliseras mellan år 1990 och 2000 för att sedan minska. Om en reaktor stängs och energibortfallet ersätts med kolkrafts- eller gaskapacitet i Norden ökar utsläppen av koldioxid med 4 resp. 3 Mton. Detta motsvarar 6 resp. 5% av de svenska utsläppen. Vid en total avveckling av kärnkraften innebär de ökade koldioxidutsläppen omkring 50% av Sveriges nuvarande utsläpp. Vid en avveckling av kärnkraften och samtidig minskning av koldioxidutsläppen måste koldioxidskatten höjas till omkring 1 krona per kilo. För industrins del innebär detta en femdubbling, för hushållen en

tredubbling. Den höga svenska koldioxidskatten är globalt sett givetvis helt meningslös. Det fordras beslut av ett stort antal länder för att begränsningar ska få någon betydelse. Att förlägga fossilbränslebaserad energiproduktion till våra grannländer så som planeras nu, bidrar inte bokföringsmässigt till Sveriges utsläpp, men väl världens.

Som en av farorna med kärnkraften framhålls avfallet. Detta avfall är mycket begränsat till sin volym och kan i sin helhet tas omhand och isoleras. Från fossila bränslen däremot är det frågan om mycket stora volymer avfall som inte tas omhand utan sprids globalt. Atmosfären och jordytan blir i detta fall den slutliga förvaringsplatsen. Vid ett kolkraftverk på 1 000 MW elektrisk effekt förbränns 7 000 ton kol per dygn (fem godståg!). Ett kärnkraftverk av samma storlek förbrukar 80 kg uran per dygn! Trots avancerad utrustning släpper kolkraftverket årligen ut avfall i form av 9 000 ton svaveloxid, 4 500 ton kvävedioxid, 400 ton tungmetaller och hela 6.5 Mton koldioxid. Kärnkraftverket har under normal drift inga skadliga utsläpp, men ger på samma tid upphov till 30 ton högaktivt avfall i form av utbränt bränsle.

Danmark brukar ofta framhållas som förebild då det gäller alternativa energikällor. Vindkraften svarar idag för 0.8 TWh och detta motsvarar 3% av Danmarks elbehov. De främsta problemen man ser med vindkraftverk är förfulning av miljön, lågfrekvent störande ljud och störning vid radarsökning. Kolkraft är Danmarks främsta elkälla med åtföljande utsläpp av svavel, kväve och koldioxid. Detta drabbar inte minst södra Sverige i form av försurning. 7.5% av svavelnedfallet och 12% av kvävenedfallet i Sverige kommer från svenska källor. Huvuddelen av svavelnedfallet kommer från östra Europa, medan nedfallet av kväve till en betydande del kommer från Tyskland och Storbritannien. I England svarar kol för 75% av elproduktionen. Koldioxidutsläppen motsvarar 0.78 kg/kWh. Motsvarande siffra för Frankrike där kärnkraften dominerar är 0.086 kg/kWh. Siffran för Sverige är 0.0001 kg/kWh. Fossilgas ger 40% lägre koldioxidutsläpp per genererad energienhet än vad kol gör.

Vid en storskalig användning av biobränslen kommer transportarbetet inom landet att öka kraftigt och därmed utsläppet av avgaser. Huvudorsaken till detta är att biobränslenas energiinnehåll är lägre än för de bränslen som används idag. Energiinnehållet i ett ton olja är 11 MWh, i ett ton förädlade trädbränslen 4.6 MWh samt i ett ton oförädlade trädbränslen 2.8 MWh. Ytterligare miljöpåverkan på grund av ökad biobränsleanvändning är att näring bortförs från skogen, främst kväve och mineraler.

Energiutredningen

I december 1995 publicerade 1994-års Energikommission sitt sedan länge emotsedda slutbetänkande. Det var genom ett beslut den 30 juni 1994 som regeringen bemyndigade chefen för Näringsdepartementet "*att tillsätta en kommission med uppdrag att granska de pågående energipolitiska programmen för omställning och utveckling av energisystemet och analysera behovet av förändringar och ytterligare åtgärder*". Genom beslut 3 november 1994 gavs även vissa tilläggsdirektiv.

Kommissionen avgav i februari 1995 ett delbetänkande "Ny elmarknad" (SOU 1995:14). Slutbetänkandet "Omställning av energisystemet" (SOU 1995:139) är en diger utredning på nästan 600 sidor. Till denna finns det fyra underbilagor på tillsammans 1650 sidor. De fyra underbilagorna samt huvudbetänkandets första 16 kapitel är synnerligen faktabetonade med ett gediget innehåll, som berör det mesta om energi i Sverige. Det avslutande sjuttonde kapitlet innehåller kraftiga politiska bedömningar, i stor utsträckning ett resultat av direktivens hårda styrning.

Kommissionens uppdrag var enligt direktiven:

- granska de pågående energipolitiska programmen för omställning och utveckling av energisystemet och analysera behovet av förändringar och ytterligare åtgärder,
- mot bakgrund av elmarknadens avreglering följa utvecklingen på den svenska elmarknaden och föreslå de åtgärder som kan anses vara motiverade för att säkerställa en effektiv elförsörjning. Kommissionen bör behandla utlandshandeln och de regionalpolitiska frågorna,
- lägga fram förslag om program med tidsangivelser för omställning av energisystemet.

I kapitel 1 ges bl. a. en översikt av den globala energiförsörjningen och i kapitel 2 redogörs för de utgångspunkter som legat till grund för kommissionens arbete. I kapitel 3 beskrivs energianvändningen i Sverige medan kapitel 4-7 beskriver energitillförseln samt kostnaderna för ny elproduktion. De energipolitiska programmen för omställning och utveckling av energisystemet behandlas i kapitel 8. Prisutvecklingen för el och bränslen beskrivs i kapitel 9 och den elintensiva industrin i kapitel 10. Energisystemens risker och miljöeffekter behandlas i kapitel 11 och i kapitel 12 växthuseffekten och klimatpolitiken medan kapitel 13 behandlar energipolitiska styrmedel. Hushållning med energi behandlas i kapitel 14 och i kapitel 15 redovisas konsekvenserna av en kärnkraftavveckling. Ett antal

rättsliga frågor vid en kärnkraftsavveckling diskuteras i kapitel 16. I det avslutande kapitel 17 redovisas kommissionens bedömningar och förslag.

Debatten kring utredningen har nästan uteslutande handlat om kärnkraft, detta trots att direktiven nästan inte alls använder ordet kärnkraft. Kommissionen bedömer att det finns möjlighet att till rimlig kostnad tillföra elsystemet drygt 10 TWh från förnybara energikällor. Kommissionen redovisar några tänkbara förslag till ekonomiska styrmedel. De är i korthet:

- Miljöbonus till miljövänlig produktionsteknik.
- En med reaktorernas ålder ökande skatt.
- En omställningsfond för att finansiera ny miljöacceptabel elproduktion.

Kommissionen har också i enlighet med direktiven granskat effekterna av avställning av ett eller två kärnkraftaggregat under 1990-talet. Kommissionen gör bedömningen att ett aggregat kan ställas av utan att kraftbalansen försvagas påtagligt. Vid avveckling av ytterligare ett mindre aggregat skulle marginalerna minska. Kommissionen gör också bedömningen att samhällsekonomiska och miljömässiga skäl talar för att omställningen av energisystemet bör ske under tillräckligt lång tid. Kommissionen bedömer att målkonflikter kvarstår, främst i klimatfrågan. Om all kärnkraft avvecklas till år 2010 uppstår problem för sysselsättning och välfärd samt svårigheter med bibehållen konkurrenskraft. Något årtal då den sista reaktorn tas ur drift bör inte fastställas utan styras av energieffektiviseringar, tillförsel av förnybar energi samt möjligheten att bibehålla internationellt konkurrenskraftiga priser. Kommissionen finner det angeläget att avvecklingen påbörjas i ett tidigt skede så att omställningsprocessen kan inledas. Ekonomiska styrmedel är då av central betydelse.

Utredningen remissbehandlades under januari-april 1996 och ett stort antal remissvar från myndigheter, organisationer etc. inflöt. Från föreningen *Miljövänner för Kärnkraft* inlämnades ett sjusidigt remissvar med två bilagor. Föreningen kritiserade i sitt svar att Energikommissionen uppfattat sitt uppdrag som att man skulle studera tre alternativa tidsplaner för en avveckling av kärnkraften. En sådan tolkning anser föreningen inte försvarbar. Beträffande hälso- och miljöbelastningar anser föreningen att en mera adekvat behandling av samtliga miljöbelastningar skulle ännu tydligare ha visat att det ännu inte finns något alternativ till kärnkraften som är acceptabelt ur miljösynpunkt. Föreningen påtalade vidare att en korrektare kostnadsberäkning som dels helt släppt den politiska prestigelåsningen att "kärnkraften skall avvecklas", dels ger en mera fullständig kostnadsbild för de s. k. alternativen, skulle ha visat på ännu högre kostnader för en kärnkraftsavveckling. Slutligen påtalades att Energikommissionen har

gjort en fullständig sammanblandning av begreppen risker och säkerhetsåtgärder.

Partiöverläggningarna

Med start några veckor efter utgången av remisstiden för Energiutredningen har partiöverläggningar om Sveriges framtida energi pågått under sommar, höst och vinter 1996/97. Målet anges vara inställt på proposition och riksdagsbeslut under senare delen av våren 1997. Efter ett antal turer där formuleringar som börja avvecklingen "inom mandatperioden", "inom en fyraårsperiod", "i närtid", "senast vid utgången av år 2001" etc. så kom som nämndes i inledningen av denna artikel en debattartikel av näringsministern Anders Sundström i DN i början av december 1996 där han framhåller *"...för mig är inte datumexercisen det viktigaste. Först måste vi se till att få tillräcklig ersättning för den reaktor som tas ur drift. En panikavveckling skulle dessutom omedelbart leda till kraftigt stigande elpriser. Det vore ett dödligt hot mot vår basindustri och därmed vår välfärd."*

Föreningen *Miljövänner för Kärnkraft* har på olika sätt försökt påverka debatten. I slutet av våren 1996 sändes till samtliga riksdagsledamöter föreningens bok *Kärnkraft ur olika perspektiv*. Tillsammans med boken följde ett brev som erbjöd riksdagsledamöterna föreningens hjälp att finna svar på sakliga frågor beträffande kärnkraft, energi etc. Ett liknande brev sändes tillsammans med samma bok inför starten av höstterminen 1996 till fysiklärare vid landets gymnasier och vid KOMVUX. Kontinuerligt har under året, liksom tidigare år, annonser ur föreningens serie "Visste Du att..." införts i framförallt facktidskrifter och partipolitiska tidningar. På motsvarande sätt har landets landshövdingar, länsråd, samtliga fackförbundsordförande och de politiska partiernas länsavdelningar uppvaktats med brev och ovannämnda bok. Dessutom har en rad medlemmar medverkat i debatter i tidningar och i någon mån i radio. Under senare delen av hösten 1996 formulerades "Tolv frågor" med svar. Dessa användes dels i brev till statsministern, regeringsledamöter och riksdagsledamöter, dels i annonser.

Olika begrepp

Biobränslen	Produkter från energiskogar, rester från skogsavverkning, träavfall från industrin, hushållsavfall, torv.
Fjärrvärme	Omvandlings- och distributionssystem för hetvatten som används för kollektiv uppvärmning av byggnader.
Fjärrvärmeverk	Produktionsanläggning för fjärrvärme. Ofta flera olika pannor för olika bränslen och el, ibland också värmepumpar och spillvärmeanläggningar.
Fossila bränslen	Bränslen som har bildads av djur och växtdelar i jordens inre, dvs. mineralolja, gas och stenkol.
Förnybar energi	Energi som nybildas kontinuerligt, till skillnad mot lagrade energikällor. Till de förnybara brukar räknas vatten, vind, sol och biobränslen. Till de lagrade räknas fossila bränslen och uran.
Kombikraftverk	Typ av kondenskraftverk, där ångturbinen kombineras med en gasturbin. Verkningsgrad omkring 60%.
Kondenskraftverk	Produktion av el genom förbränning där värmeinnehållet i kylvattnet inte tas tillvara. Verkningsgrad 35-45%.
Kraftvärmeverk	Anläggning som producerar både el och fjärrvärme. Verkningsgrad omkring 85%.
Kärnkraftverk	Värmeenergialstring genom klyvning av urankärnor. Verkningsgrad 30-35%.
Mottryckskraft	Samtidig produktion av el och värme, t.ex. i kraftvärmeverk. Oftast avses anläggningar i industrier som behöver ånga för processen. Av ekonomiska skäl kombineras ångproduktion med en ångturbin, så att också el kan produceras. Eftersom ångan är den primära produkten optimeras anläggningen annorlunda än ett kraftvärmeverk.

Energi- och effektenheter

Effekt är "energi per tidsenhet" och mäts i enheten watt (W). Energi är "effekt gånger tid" och mäts till exempel i enheten wattimmar (Wh). Vid stora effekter eller energimängder används prefix enligt följande:

k (kilo)	tusen (10^3)
M (Mega)	miljon (10^6)
G (Giga)	miljard (10^9)
T (Tera)	biljon (10^{12})
P (Peta)	tusen biljoner (10^{15})

Energi

1 kWh motsvarar energin som en spisplatta förbrukar under en ½-1 timme.

1 MWh motsvarar energiåtgången för att köra en personbil omkring 100 mil.

1 GWh motsvarar energiförbrukningen i en medelstor svensk stad under ett dygn.

1 TWh motsvarar den energi som ett stort kärnkraftaggregat levererar på två månader.

Effekt

1 kW är effektutvecklingen hos tio kroppsarbetande personer.

1 MW är effektutvecklingen i två till tre vindkraftverk.

1 GW är den elektriska effektutvecklingen i ett stort kärnkraftsaggregat.

Ragnar Hellborg är docent i Fysik vid Lunds universitet och ordförande i Miljövänner för Kärnkraft.

Miljöeffekter vid uranutvinning

Ingemar Lindholm

Redovisning av miljöeffekter

Numera ställs krav på att kunna redovisa vilka miljöeffekter som orsakas vid produktion av en viss vara. Ett exempel är att tyska tidningstryckerier vill veta vilka miljöeffekter som orsakas av pappersproduktion i Sverige, och eftersom el är viktigt vid pappersproduktion vill de svenska pappersföretagen veta miljöeffekterna vid produktion av t ex el från kärnkraft. Då är det nödvändigt för kraftföretagen att känna till miljöeffekterna även från produktion och förädling av natururan.

Svensk organisation för att ta reda på miljöeffekter från produktion och förädling av uran

De svenska kraftföretagen, dvs Vattenfall Bränsle (som köper kärnbränsle för Forsmark och Ringhals), OKG och Barsebäck Kraft har startat "Projekt Kärnbränsle och Miljö". Projektet kommer att ta reda på hur företag som utvinner uran, omvandlar urankoncentrat till uranhexafluorid, isotopanrikar uran eller tillverkar kärnbränsle, sköter miljöarbetet. Detta görs praktiskt genom att först fråga skriftligt och sedan sända ut delegationer för att verifiera hur företagen följer internationell standard inom yttre och inre miljö, inklusive strålskydd, samt den nationella lagstiftningen, och hur de nationella myndigheterna övervakar, samt företagets miljöpolicy och rapportering till myndigheter. Dessutom tar en sådan delegation reda på vilka utsläpp som sker samt stråldoser till de anställda och allmänheten.

En delegation består av specialister på miljö, strålskydd m m från de svenska kraftföretagen, ibland kompletterad med specialister från andra

organisationer. Den besöker gruvor och anläggningar och diskuterar med företag och myndigheter för att verifiera uppgifterna.

Hittills utförda studier

Efter starten under 1996 har hittills fyra sådana studier utförts via skriftlig redovisning och verifiering vid besök:

- urangruvan Ranger i Australien;
- urangruvan Rössing i Namibia;
- uranutvinning i Uzbekistan via lakning nere i marken;
- isotopanrikningsanläggningen Zelenogorsk i Ryssland.

Ranger

Företaget ERA äger gruvan Ranger i Nordterritoriet i Australien. Den australiska lagstiftningen inom miljöområdet är väl utbyggd och ERA uppfyller väl alla relevanta internationella standards och normer. Gruvan ligger inom ett känsligt naturområde och har därför byggts så att det inte skall förekomma några utsläpp alls till flodsystemen inom området. Detta har man klarat av under femton års drift bortsett från ett par gånger vid extremt högvatten. Företaget har fastlagt en miljöpolicy och har egna avdelningar med goda resurser för yttre miljö och strålskydd.

Stråldoserna till de anställda har de senaste åren legat under 5 mSv per år och stråldosen till allmänheten i den närmaste tätorten, Jabiru, beräknas av myndigheten till 0.04 mSv per år eller lägre.

Utsläppen till luft är lägre än vad som tillåts av myndigheterna.

ERA har redan återställt ett tidigare bostadsområde och delar av industriområdet till naturlig skog. Ett forskningsprogram pågår för att studera hur återställning bäst kan göras i detta område med omfattande regn där jordlager lätt spolas bort! Företaget har avsatt fondmedel for framtida återställning.

De australiska urinnevånarna, aboriginerna, deltog i den process som ledde till att Rangergruvan fick tillstånd till drift. De får nu varje år en del av inkomsterna från gruvan och dessa pengar används till skolor, sjukvård samt att starta företag ägda av aboriginerna. Bl a har aboriginerna byggt moderna hotell för turisterna som kommer i stora skaror till nationalparken i närheten. Aboriginer arbetar både för Rangergruvans miljöavdelning, t ex med att samla in prover från miljön för analyser, och i hotellen. Det bor fler aboriginer i området nu än före etableringen av gruvan.

Den australiska regeringen har upprättat ett eget vetenskapligt laboratorium med 40 anställda intill gruvområdet. Forskarna där utför en rad undersökningar av fiskar, snäckor och andra djur som lever i floderna kring gruvan, av växter i miljön, av radon i luften med mera. De biologiska mätningarna visar att Rangergruvan inte ger någon påverkan nedströms.

Den australiska myndighetens samlade bedömning är att Rangergruvan inte orsakar några miljöeffekter utanför gruvans industriområde.

Rössing

Urangruvan Rössing i Namibia ligger i öknen, så miljön är verkligen olik den kring Ranger! Gruvan ägs huvudsakligen av den brittiska RTZ-koncernen som satsat starkt på att bygga upp den till ett mönsterföretag inom miljö- och arbetsmiljöområdet. Rössing följer all relevant internationell standard och har en bra organisation för miljö och arbetsmiljö inklusive strålskydd.

Eftersom det unga landet Namibia ännu ej hunnit bygga upp lagstiftning och myndigheter i tillräcklig omfattning har den namibiska regeringen bett den internationella atomenergiorganisationen, IAEA att inspektera strålskyddet vid Rössinggruvan. IAEA fann att det var mycket bra! Dessutom inspekterar en oberoende organisation arbetsmiljön vid Rössing varje år. Under den senaste tioårsperioden har Rössing placerat sig bland de gruvor i södra Afrika som har den bästa arbetsmiljön.

Rössing har lyckats minska vattenförbrukningen i processen genom att återcirkulera vatten till uranverket, vilket är viktigt i ett land med så lite regn. Man har vidare satsat på utbildning av namibier till ledande poster.

Miljöchefen och många av hans medarbetare är namibier - som i detalj känner till de internationella reglerna inklusive alla bilagor!

Lakning av uran nere i porös sandsten i Uzbekistan

I Uzbekistan finns porös sandsten som innehåller uran. Malmen kan t ex ligga som ett horisontellt lager på mellan 200 och 220 meters djup, med täta lager över och under. Vid uranfyndigheterna i öknen har en ny metod utvecklats för att utvinna uranet. Utspädd svavelsyra leds via rör ned till malmen, lakar ut uran och pumpas upp i andra rör. Uranet utvinns sedan genom att lösningen pumpas genom jonbytarfilter. Med denna teknik behöver överhuvudtaget ingen malm tas upp till ytan vilket givetvis är bra ur

miljösynpunkt. Svavelsyran neutraliseras när den lakar ut uran. Tekniken kallas "In Situ Leaching, ISL".

Företaget Navoi Mining and Metallurgical Complex satsar på miljövänlig metodik och har t ex minskat svavelsyrahalten i nya fält till mycket låga värden. De har en separat organisation för miljökontroll med flera laboratorier och bra analysutrustning.

När lakningen i en uranförekomst avslutats fortsätter kontroll av att grundvattnet neutraliseras. Det var salthaltigt redan innan lakningen startade och återgår så småningom till samma halt som det hade innan. All utrustning ovan jord tas om hand och myndigheterna kontrollerar att återställningen av naturen utförs på ett bra sätt.

Uzbekistan har kompetenta myndigheter inom arbetsmiljö, strålskydd och yttre miljö med goda resurser att göra egna kontrollmätningar. Landet har även modern miljölagstiftning. Ett exempel är att Uzbekistan beslutat tillämpa den nya internationella basstandarden för strålskydd redan 1998, medan t ex EU-länderna kommer att tillämpa den nya standarden först år 2000.

Isotopanrikning i Zelenogorsk

Zelenogorsk (ung. "staden vid det gröna berget") ligger ca 200 km öster om staden Krasnojarsk i Sibirien. Det är en av fyra ryska anläggningar för isotopanrikning. Alla använder gascentrifugmetoden som har lågt energibehov, vilket är bra ur miljösynpunkt.

Företaget, Electrochemical Plant, har en förnämlig miljöorganisation och stråldoserna till personalen är låga. Tidigare fanns en stor anläggning enligt gasdiffusionsmetoden i Zelenogorsk. När den lagts ned har man rivit ut all apparatur, rengjort byggnaden och låtit oberoende västeuropeiska specialister kontrollera att ingen strålning fanns kvar. Idag används lokalen för tillverkning av videoband! Det är ett bra exempel på återställning av en kärnteknisk anläggning.

De ryska centrala myndigheterna har lokala avdelningar i Zelenogorsk som övervakar arbetsmiljö, strålskydd och yttre miljö. Staden Zelenogorsk har nyligen fått en egen ekologisk kommitté som kontrollerar att företaget, liksom andra företag i staden, sköter miljön väl. Det finns många städer i Ryssland med dålig miljö - därför märker man verkligen skillnad när man kommer till Zelenogorsk!

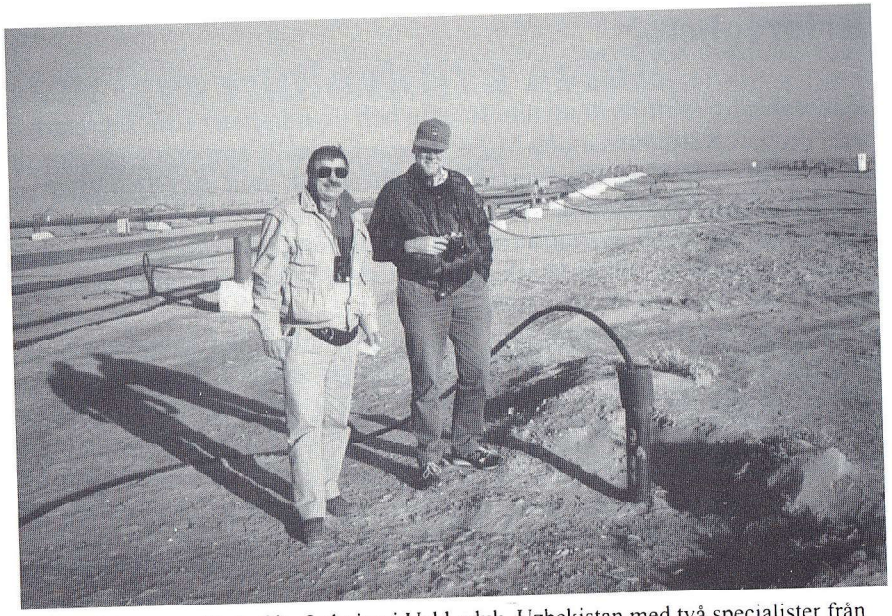


Bild 1. Rörsystem för In Situ Lakning i Uchkuduk, Uzbekistan med två specialister från delegationen.

Bild 2. Hallen med gascentrifuger vid anrikningsanläggningen i Zelenogorsk. I förgrunden ses vakuumtankar som suger in uranhexafluoriden vid ett ev. driftavbrott. Den översta nivån med gascentrifuger syns bakom - det finns tre nivåer från golvet och upp.

Erfarenheter

Erfarenheterna hittills är att alla företag och myndigheter som sekretariatet för "Projekt Kärnbränsle och Miljö" frågat har ställt upp och visat stor öppenhet. De svenska delegationerna har fått se allt som de frågat efter och alla frågor har besvarats.

Intrycket hittills är att miljö- och arbetsmiljöfrågorna sköts bättre i dessa företag än i andra, vilket kan bero på att de tillhör den kärntekniska sektorn där det finns en bra säkerhetskultur.

Dessutom får man höra mycket intressant - för min del glömmer jag inte hur den namibiske vice gruvministern uppmanade västländerna att inte bränna fossila bränslen. Namibia som redan är ett torrt land skulle nära nog helt bli öken om växthuseffekten leder till ett par graders temperaturhöjning i landet!

Ingemar Lindholm är tekn. lic. och verksam i Sekretariatet för "Projekt Kärnbränsle och Miljö".

Sveriges radioaktiva avfall

P.O. Lindberg och Thobias Thorn

Frågan hur vi ska ta hand om Sveriges radioaktiva avfall rör inte bara vilken vetenskaplig kunskap och vilka tekniska lösningar som finns tillgängliga. Den har fler dimensioner än så. Efterhand som metoderna utvecklats, godkänts och börjat användas har grundläggande värderingar av etisk och moralisk natur kommit mer i fokus. Till detta kommer demokratiaspekten och frågan om det kommunala självstyret. Sammantaget har SKB:s[1] arbete med att finna en utformning och en plats för det använda kärnbränslet blivit en av de mer komplexa aktuella samhällsfrågorna i vår tid.

Det svenska systemet

Sverige har idag ett system i drift som tar hand om allt radioaktivt avfall inom landet för lång tid framåt. Det finns ett transportsystem, ett slutförvar för kortlivat driftavfall och ett mellanlager för använt kärnbränsle. Det som återstår att bygga är en inkapslingsanläggning och ett djupförvar för slutlig förvaring av bränslet.

Avfallet hanteras på ett sådant sätt att varken personal eller omgivning utsätts för några strålningsrisker. Vid förvaring omges avfallet av flera barriärer som förhindrar att radioaktiva ämnen kommer ut i omgivningen. Alla SKB:s förvaringsanläggningar ligger i bergrum under markytan.

Eftersom kärnkraftverken och SKB:s anläggningar ligger vid kusterna, transporteras allt avfall till sjöss. Det sker med SKB:s fartyg M/S Sigyn. Fartyget är specialbyggt, men säkerheten garanteras främst av de kraftiga transportbehållare som används. Behållarna är utformade efter internationella normer och krav. De ger strålskydd och skyddar också vid eventuella olyckor. Allt avfall hanteras dessutom i fast form, vilket ytterligare ökar säkerheten.

[1] Svensk Kärnbränslehantering AB

Arbetet går vidare

Viktigast för lokalisering av djupförvaret är att välja en plats där de säkerhetsmässiga förutsättningarna är mycket goda. SKB har sedan mitten av 70-talet genomfört studier av geologiska förhållanden, såsom omfattande typområdesundersökningar, på djupet i svensk berggrund. Vidare har SKB, liksom Statens Kärnkraftinspektion, gjort ett antal ingående säkerhetsanalyser för djupförvar i den miljö som finns i den svenska berggrunden. Det finns även kunskap från lokalisering och byggande av berganläggningar för gruvverksamhet, kraftverk, oljelager och försvaret i de flesta delarna av landet.
Mot denna bakgrund bedöms många kommuner kunna ha platser med goda förutsättningar ur säkerhetssynpunkt. För den plats som slutligen väljs krävs givetvis att det går att visa att miljö- och säkerhetskraven uppfylls. Vidare behövs ett jämförelsematerial, av vilket det bland annat bör framgå att det inte finns någon uppenbart bättre plats på annat håll i landet. Ett tredje villkor är att man uppnår lokal förståelse och acceptans för djupförvarsetableringen, dvs den bör inte genomföras mot en kommuns vilja.
Uppläggningen av lokaliseringsarbetet bygger alltså på en övertygelse om att det är nödvändigt och möjligt att finna en plats som uppfyller höga miljö- och säkerhetskrav, samtidigt som man söker en lokal förståelse för djupförvarsetableringen. Denna inriktning stämmer väl överens med de intentioner som ligger bakom gällande lagstiftning i bland annat naturresurslagen, kärntekniklagen och miljöskyddslagen som anger att man skall välja "sådan plats att ändamålet kan vinnas med minsta intrång och olägenhet utan oskälig kostnad". Inriktningen överensstämmer även väl med de rekommendationer som de nordiska ländernas strålskydds- och säkerhetsmyndigheter givit ut. Det svenska systemet med mellanlagring i CLAB[2] gör det möjligt att utan tidspress grundligt pröva möjligheterna att genomföra djupförvaringen i samråd med berörda kommuner.
Lokaliseringsprocessens uppläggning har prövats och accepterats av myndigheter och regering i samband med granskningen av kompletteringen till FUD[3]-program 92. Till att börja med görs översiktsstudier över hela eller delar av landet och förstudier i flera kommuner. En förstudie innebär en översiktlig utvärdering av en kommuns möjligheter för ett djupförvar. Man tar fram grundläggande fakta om t ex geovetenskapliga förutsättningar, transportfrågor och samhällsplanering. SKB planerar att göra förstudier i 5–10 kommuner. Förstudien i Storuman resulterade i en folkomröstning där ett klart nej till fortsatta undersökningar föranledde SKB att direkt avsluta sitt engagemang på orten. Förstudien i Malå är avslutad medan Nyköping och Östhammar pågår. Till våren 1997 kommer Oskarshamnsstudien igång.
Översiktsstudier och förstudier baseras i huvudsak på befintligt material. De resulterar bland annat i att man kan identifiera markområden som kan vara lämpliga för fortsatta undersökningar i de studerade kommunerna. Bland dessa områden skall SKB göra ett urval och sedan genomföra platsundersökningar på minst två platser i landet. En platsundersökning beräknas ta ca fyra till fem år. Då görs mer fördjupande studier, bland annat genom berggrundsundersökningar i borrhål. Förutom geovetenskapliga och tekniska förutsättningar, studerar man hur ett djupförvar skulle påverka samhälle, miljö, ekonomi och näringsliv på orten.
Platsundersökningarna avslutas med en utvärdering av resultaten. Sedan görs ansökan till regeringen om tillstånd att genomföra en detaljundersökning och påbörja djupförvarsbygget, enligt naturresurslagen och kärntekniklagen. NRL[4]-ansökan inkluderar också en miljökonsekvensbeskrivning, MKB, med en säkerhetsanalys.

Lokaliseringen av djupförvaret måste ske med hänsyn till en rad olika faktorer. De kriterier som dessa faktorer måste uppfylla, eller värderas mot, för en djupförvarsplats kan grupperas med avseende på:

- **Säkerhet** — Lokaliseringsfaktorer av betydelse för djupförvarets långsiktiga säkerhet.
- **Teknik** — Lokaliseringsfaktorer av betydelse för byggnation, funktion och säker drift av djupförvaret.
- **Mark och miljö** — Lokaliseringsfaktorer av betydelse för markutnyttjande och generell miljöpåverkan.
- **Samhällsaspekter** — Lokaliseringsfaktorer kopplade till samhällsförutsättningar och samhällspåverkan.

[2] Centralt mellanlager för använt Bränsle
[3] Forskning Utveckling Demonstration
[4] NRL = Naturresurslagen

Avgörande är, som redan påpekats, i första hand att säkerhetskraven uppfylls. Nära kopplat till detta är vissa av de anläggningstekniska kraven. De viktigaste kraven i dessa avseenden rör:

- kemisk miljö i berget för kapsel, bentonit och bränsle,
- mekanisk stabilitet hos berget,
- förutsättningar för transport av radionuklider i berget,
- risken för framtida intrång, i första hand tänkbart utnyttjande av naturresurser i berggrunden eller otillbörligt utnyttjande av bränslet (safeguard).

Översiktsstudier av hela landet och förstudier i flera kommuner, inleder lokaliseringsprocessen. De baseras huvudsakligen på befintligt material med en systematisk analys av lokaliseringsförutsättningarna.

Platsundersökningar, som inkluderar borrningar till stort djup, genomförs därefter på minst två platser. Slutligen väljs en av dessa platser för detaljundersökning, som bland annat innebär tunnel- eller schaktdrivning ner till förvarsdjup.

Som stöd för arbetet med djupförvaret kommer forskning och utveckling kring viktiga frågor att fortsätta. Målet är att vidareutveckla kunskapsbasen och förmågan att göra ännu mer realistiska modeller av de processer som är viktiga för förvarets funktion. Det innebär att metoder och modeller vidareutvecklas inom områdena bränsle, geovetenskap, kemi, material och biosfär. Parallellt med lokalisering och bygge av ett djupförvar kommer SKB att bevaka utvecklingen av alternativa metoder i andra länder. Dessutom planeras arbeten kring förvaring av annat långlivat avfall och rivning av kärnkraftverk.

Viktigt för SKB är att arbetet med platsvalet inte drar ut allt för långt på tiden. Mellanlagring eller förvar på ytan kräver tillsyn och övervakning och för det fordras stabila samhällsförhållanden. Det kan ingen garantera för all framtid. Europa har under de senaste hundra åren skakats av två stora krig, av revolutioner, terrorism och inbördeskrig. Stabiliteten i det svenska urberget är stor och har många miljoner år av oförändrade förhållanden bakom sig. Detta är en grundläggande tes i SKB:s arbete.

P.O. Lindberg och Thobias Thorn är verksamma på Informationsavdelningen, Svensk Kärnbränslehantering (SKB)

Om riskbedömning

Gunnar Walinder

Personliga risker

Ordet risk är ett ganska diffust begrepp. När vi i dagligt tal använder ordet menar vi ofta att det föreligger en sannolikhet för att vi skall drabbas av något obehagligt. Men i begreppet risk ingår också en slags gradering av skadans allvarlighet. Vi talar ju t ex ofta om risken för en viss sjukdom eller för ett ekonomiskt bakslag, dvs skador som vi kan uppfatta och värdera på olika sätt.

I litet mer vetenskapliga sammanhang brukar man försöka kvantifiera skadan genom att åsätta den en "allvarlighetssiffra" och sedan multiplicera denna siffra med sannolikheten för att skadan skall inträffa. Men det säger sig självt, att sådana "allvarlighetssiffror" alltid innehåller ett mått av godtycke, även om man nationellt eller internationellt kommit överens om dem.

Bokstavligen allt vi företar oss innebär ju också en viss risk, men vi tänker sällan på våra dagliga sysslor i sådana termer. Många risker som anses små eller osannolika accepteras ju också av samhället, som dessutom inte sällan kräver, att vi utsätter oss för dem.

Det vi allmänt oroar oss för och uppfattar som en risk är den personliga risken, dvs exempelvis sannolikheten för att jag eller någon annan skall drabbas av en viss skada. Ofta är vår upplevelse av en risk subjektiv, ibland också grundad på statistiska data, men fortfarande rör det sig om den personliga risken.

Strålrisker

När man talar om strålrisker vid låga doser eller vid strålexponeringar under längre tidsperioder, dvs sådana risker som ligger till grund för myndigheternas fastställande av högsta tillåtliga stråldoser eller åtgärdsnivåer efter olyckor rör det sig nästan alltid om statistiska, kollektiva risker för att cancerfrekvensen skall öka i befolkningar.

Skillnaden mellan det vi vanligen uppfattar som risker och strålrisker observeras sällan och klargörs inte heller särskilt tydligt av strålskyddsmyndigheter. I en tidigare artikel i MFK:s skrifter om kärnkraft (KÄRNKRAFT, avveckla eller utveckla? Studentlitteratur 1995. Red.: Hans Pedersen Dambo) har jag skildrat hur lantbrukarna i Gävle-trakten uppfattat – eller snarare inte uppfattat – denna skillnad när de efter Tjernobyl-olyckan förbjöds att sälja mjölk från sina kor. De fick beskedet, att den jämförelsevis ringa mängden av radioaktivt material i mjölken naturligtvis inte innebar att de personligen behövde bekymra sig för att dricka den, men att myndigheterna ändå måste inskrida för att mota en möjligen förhöjd statistisk (kollektiv) ökning av cancerförekomsten i den befolkning som konsumerade mjölken.

Bönderna – och säkert större delen av allmänheten – förstod aldrig varför de inte fick konsumera eller sälja sin mjölk när det nu inte innebar någon fara för dem och de förstod inte heller varför de inte fick späda ut sin mjölk med sådan som inte innehöll någon radioaktivitet tills de nått de aktivitetskoncentrationer som tidigare godkänts av myndigheterna. Hade mängden mjölk och dess halt av radioaktiva ämnen redan från början varit den man nu kunde uppnå genom en utspädning, skulle de ju tillåtits sälja den.

Det föreligger således en principiell skillnad mellan vårt vanliga riskbegrepp och strålrisker. Orsaken till denna diskrepans anses vara att strålningens cancerframkallande verkan i cellerna är slumpmässig (stokastisk) till skillnad från flertalet andra skadeverkningar och att man därför inte kan ange någon lägsta dos under vilken canceruppkomsten är utesluten.

Jag skall här inte gå in på varför uppfattningen om hur strålningen kan framkalla cancer strider mot modern tumörforskning och varför man av principiella skäl inte kan ha någon kunskap om effekten av så här små stråldoser, men låt mig exemplifiera ett par av dess konsekvenser.

FN's vetenskapliga strålkommitté (UNSCEAR) har räknat ut – på grundval av denna stokastiska hypotes – att 30 000 människor kommer att dö i cancer på jordens norra halvklot som en följd av Tjernobyl-olyckan (se

ovan ref. artikel). Siffran uppfattas i regel som förskräckande hög. Men överför vi den till en personlig risk, innebär den att bland 10 000 till 15 000 dödsfall i cancer säger sig UNSCEAR "veta" att ett av dessa fall kommer att ha orsakats av Tjernobyl-olyckan. Alldeles bortsett från att varken UNSCEAR eller någon annan kan ha en sådan kunskap utgör den alltså inte någon anmärkningsvärd, personlig risk ens med det använda beräkningssättet. Mycket i vårt dagliga liv innebär avsevärt högre cancerrisker, utan att vi tänker på eller ens kan ana, att de kan utgöra sådana risker. På grund av radonet i våra bostäder motsvarar det här beräknade utfallet av Tjernobyl-olyckan den risk vi löper vid 1–2 minuters daglig inomhusvistelse. Eller, uttryckt på annat sätt, om vi på norra halvklotet skulle komma överens om att stanna utomhus en till två minuter längre per dag, skulle vi helt kunna kompensera den cancerrisk som Tjernobyl-olyckan påståtts kunna leda till.

Naturligtvis är den personliga risken större än 1:15 000 för åtminstone delar av befolkningarna i Vitryssland och Ukraina, men sådana distinktioner gör man inte i internationella organisationer då man anger den kollektiva risken för strålframkallad cancer (man får inte så höga, absoluta siffror då man inskränker sig till smärre befolkningar).

Restrisker

Med restrisker menas risker för allvarliga olyckor som – utan att de teoretiskt helt kan uteslutas – dock är så osannolika, att hänsyn inte har ansetts behöva tas till dem vid konstruktionen av säkerhetssystemen. Detta har hittills även gällt kärnkraften. Som exempel på restrisker kan vi föreställa oss det fullastade jumboplanet som störtar över ett storstadscentrum i värsta rusningstid eller brottet på fördämningen i en kraftverksdamm, säg, i Luleälven och att detta dammverksbrott leder till en flodvåg, som drar med sig allt i sin väg, inklusive en stor del av Luleå och Boden. Den senare typen av olyckor har faktiskt inträffat vid ett flertal tillfällen i bl a Kina och Indien, då tiotusentals och även hundratusentals människor omkommit.

För svensk kärnkraft har man emellertid nyligen gjort ett undantag (i en SSI-SKI utredning åt Energikommissionen) och beräknat den kollektiva cancerrisken efter en restriskolycka vid ett svenskt kärnkraftverk. Här har man då antagit, att bokstavligen inga av säkerhetssystemen fungerar. Trots alla personella och automatiska säkerhetsled antas 1. att en helt utvecklad härdsmälta eller åtminstone ett mycket omfattande rörbrott inträffar, 2. att inneslutningen inte fungerar och 3. att den särskilda haverifiltreringen inte

aktiveras eller att den förbipasseras. Bakom vart och ett av de här tre nödvändiga delmomenten av restrisk-haveriet ligger en mängd faktorer som måste fallera, vilket gör hela scenariot ytterst osannolikt. Men visst kan man teoretiskt föreställa sig en sådan olycka, precis som fallet är med de två ovannämnda scenarierna med det störtande jumboplanet och den brustna fördämningen i kraftverksdammen.

Statens Strålskyddsinstitut och Statens Kärnkraftsinspektion (SSI resp. SKI) har alltså gjort en beräkning av konsekvenserna av restriskolyckor vid svenska kärnkraftverk på samma grunder och antaganden som UNSCEAR tillämpat vid sina beräkningar av de nämnda följderna av Tjernobyl-olyckan. Vid mycket ogynnsamma väderleksförhållanden kommer man i rapporten fram till, att en restriskolycka vid exempelvis Barsebäcksverket, skulle kunna åstadkomma 16 000 cancerdödsfall i Europa under en 50-årsperiod. Beräkningen omfattar en befolkning på cirka 300 miljoner människor, där 20 till 30 miljoner människor normalt dör i cancer under en 50års period. Återigen kan vi konstatera, att trots den förskräckande, höga siffran för den kollektiva risken att dö i cancer (16 000) innebär den en liten personlig risk, som kan uttryckas så, att bland 2 000 dödsfall i cancer kommer ett av dem att bero på en restriskolycka i Barsebäck. Detta dock under förutsättningen att vädret är speciellt ogynnsamt vid olyckstillfället. Denna risk är avsevärt mindre än den skillnad som råder mellan cancerdödligheten i t ex Malmö och Köpenhamn och den som föreligger för Sveriges och Danmarks befolkning utanför storstäderna.

Bortsett från att man inte rimligen kan ha en exakt, beräkningsbaserad kunskap om en så liten ökning av cancerdödligheten i Europa, skulle den självfallet inte heller kunna urskiljas i verkligheten.

Sedan är det naturligtvis så, att den personliga cancerrisken efter en restriskolycka i Barsebäck skulle för en Köpenhamns- eller Malmöbo vara avsevärt allvarligare än vad den blir för en centaleuropé. Men om den problematiken sägs mycket litet i SSI-SKI rapporten. För människorna i Skåne och på Själland vore en sådan analys säkert betydligt mer intressant än en siffra på kollektiveffekten i Europa.

Riskjämförelser

När man vill jämföra risker mellan olika energialternativ är det av största vikt att här berörda skillnader observeras. Då man inom strålskyddet talar om en risk menar man alltså vanligen något helt annat än när man använder samma term för de alternativa energislagen och vi kan således inte enbart utifrån angivna risksiffror bedöma kärnkraftens effekter på vår miljö och hälsa i förhållande till motsvarande effekter av annan energiindustriell verksamhet.

Nu skulle man kunna undersöka kollektiva risker även för några andra energislag. Detta har t ex gjorts för svaveldioxidens akut dödliga effekter (men inte för dess sena verkningar) och försök har också gjorts att lokalt uppskatta den statistiska hälsoeffekten av vissa förbränningsgaser från ved-eldning. Men oftast saknar vi tillräckligt med data för att göra en bedömning av den statistiskt fördelade kollektivrisken. Som det nu är skräms människorna av strålskyddets höga, hypotetiska risksiffror (i absoluta tal) och drar därför felaktiga slutsatser när de jämför dessa med motsvarande, oftast skenbart mycket lägre siffror för annan energiindustri.

Mycket av motståndet mot kärnkraften förefaller ha sin grund i detta faktum, dvs att man inte har klart för sig betydelseskillnaden i den använda terminologin. Vid en objektiv bedömning, baserad på identiska bedömningskriterier, finner man att kärnkraften erbjuder avsevärt mindre miljö- och hälsorisker än vad fallet är med all annan, idag tillgänglig energiindustri. Men, att visa att det verkligen förhåller sig så, skulle föra alltför långt för att inrymmas här.

Gunnar Walinder är professor och strålningsbiolog. Han har också varit ledamot av UNSCEAR och är styrelseledamot i Miljövänner För Kärnkraft.

Accelerator-driven transmutation

Erik Möller

Inledning

Under de senaste åren har forskningen kring kärnkraft öppnat en ny dörr, nämligen transmutation. Denna process innebär i korthet att man beskjuter en tung atomkärna med lätta partiklar, t.ex. protoner så att den tunga kärnan övergår i en ännu tyngre. Den annars ganska begränsade forskningen kring den befintliga reaktorteknologin fick plötsligt ett forskningsfält där fantasien och kreativiteten återigen fick flöda fritt - vilket är viktigt för all forskning. De många och stora möjligheter som transmutation förde med sig kunde de forskare som först kom i kontakt med detta område knappast drömma om. Vi upplever nu att en ström av djärva ideer och väl genomarbetade förslag avlöser varandra där båda stimulerar forskargrupperna att tillsammans sträva mot det slutliga målet: en ny generation av nukleära anläggningar. Trots att skilda forskargrupper kan ha mycket olika mål med transmutationen, från avfallshantering till destruktion av vapenplutonium, så är forskningen nära besläktad och erfarenheterna från olika håll kommer väl till pass när ett helt nytt tänkande skall presenteras för en publik med en förlegad syn på kärnkraft. Det är förvisso dags att närmare belysa transmutationens möjligheter.

I det senaste årets debattartiklar har vi stött på en rad kloka och välformulerade inlägg, och många leder till enkla frågor. Hur kommer det sig att den svenska energidebatten är så begränsad? Varför lär vi oss inte av misstagen under det senaste skedet? Är det rimligt att dagens beslutsfattare skall ha rätt att begränsa framtida utvecklingsmöjligheter? Detta är tre tunga frågeställningar som borde diskuteras helt förutsättningslöst. Problemen är relevanta för var och en som är beroende av framtida energiförsörjning. Vad då Accelerator-Driven Transmutations-Teknologi (ADTT) beträffar så bör den inte uppfattas som en exotisk teknik utan som ett realistiskt alternativ vid såväl avfallshantering som framtida storskalig energiproduktion på ett miljövänligt sätt. Kärnkraften är på intet sätt en död teknologi - den utvecklas ständigt inom industrin såväl som på laboratorier vid universitet och tekniska högskolor, trots att vissa delar av forskningen är förbjudna enligt en svensk lag som utmanar löjet i resten av världen. Trots alla framsteg talas det bara om avveckling då man i stället borde tänka på utveckling! De kärnkraftverk som byggts i Sverige är säkra och effektiva, men det måste stå klart att man gjort stora framsteg även under den andra hälften av den drygt femtioåriga kärnkraftseran. (Världens första reaktor, Chicago Pile gick kritisk 5 december 1942 medan den första nu verksamma svenska reaktorn gick kritisk 1971.)

Om vi tillåter oss att närmare granska nya kärnenergialternativ så kan vi kanske lösa många av de livligt debatterade problemen i vårt samhälle: ekonomi, trygghet, ansvar, energi och inte minst miljö. Främst skall vi diskutera vad ADTT-tekniken innebär och vilka konsekvenser den kan förväntas ha. Speciellt är det av intresse att följa upp utvecklingen som skett sedan Karl-Erik Larsson i en tidigare artikel (Miljövänner För Kärnkraft: Kärnkraft - avveckla eller utveckla, Lund 1995) beskrev de allmänna principerna.

Tillbakablick

Hur kommer det sig nu att ADTT blivit så aktuell på 90-talet? För att förstå sammanhangen måste vi veta något om de forskningresultat som ehuru undanstoppade likväl fanns tillgängliga när några forskare i USA satte i gång att arbeta med transmutation. Acceleratordrivna (AD) system representerar en nygammal idé med spår långt tillbaka i tiden, kanske rentav till 40-talet. De viktigaste resultaten redovisas i nedanstående tabell.

~1950	E.O. Lawrence (US): AD för plutoniumframställning. Produktion 500 a 600 kg Pu-239 per år.
1952	W.B. Lewis (Can): AD för framställning av U-233 till CANDU-reaktorerna.
1960	id.: ING-projektet. Bränsletillverkning för 12 st. CANDU-reaktorer.
1981	M. Steinberg: Spallatorn (A. Weinberg) AD för framställning av termiskt spektrum. Skulle användas för anrikning av uran som

bränsle. Spallation betyder splittrande av en atomkärna med hjälp av högenergetisk partikel.

1991 C. Bowman et al.(Los Alamos, US): AD för HLW (High Level Waste) och plutoniumförbränning samt möjlighet till tritium-produktion. Termiskt neutronspektrum.

1991 H. Takahashi (Brookhaven National Laboratory,US): Aktinid-transmutering i snabbt neutronspektrum.

1993 C. Rubbia (CERN): AD-energiproduktion. Cyklotronen introduceras. Endast toriumcykeln, ingen avfallshantering.

Mycket förenklat kan man säga att den satsning som gjordes i slutet av 80-talet och som ledde till några mycket viktiga publikationer 1991 emanerade från SDI-projektet (Strategic Defense Initiative) som sattes i gång av Reagan-administrationen 1984-88. Bl.a. fann man att en kraftigare acclerator är möjlig och vidare togs en del gamla ideer upp på nytt. Detta ledde till att man åter började undersöka alternativet att driva en spallator som i sin tur skapar en miljö, överlägsen en kritisk reaktor i neutronekonomiskt avseende. Även om vissa av resultaten från 1991 har mindre värde för de system som nu diskuteras så står det klart att de utgjorde startpunkten för den mycket kreativa tid som ADTT nu upplever.

Beskrivning av ADTT

Mycket kortfattat kan ADTT beskrivas som andra generationens anläggning för användande av fissil energi. Det är rimligt att använda beteckningen "andra generationen" eftersom tekniken tagit ett långt steg framåt, både i fråga om flexibilitet och verkningsgrad liksom i viss mening även säkerheten. Då det gäller fissil energi kan vi urskilja tre områden:

1. Energiproduktion.
2. Reducering av plutonium som kommer från kommersiella reaktorer samt från nedrustningen av kärnvapen.
3. Reducering av halveringstiden för använt kärnbränsle.

ADTT är tillräckligt flexibelt för att kunna användas på vart och ett av dessa områden eller på en kombination av dem. På detta sätt kan vi t.ex. uppnå en högre användningsgrad av energiinnehållet i kärnbränslet som i dagens reaktorer endast utnyttjas till 3-5 %. I en ADTT-anläggning för energiproduktion skulle skulle man kunna förbättra verkningsgraden med

en faktor 10-20. Dessutom öppnas möjligheten att använda nya typer av kärnbränsle t.ex. torium.

En ADTT-anläggning kan delas upp i sex delar (se bilden!).

1) Acceleratorn. - Den producerar högenergetiska partiklar enligt beprövad teknik. Cirkulära maskiner är under utveckling för det eftersträvade effektområdet. Lineära acceleratorer finns redan framtagna för forskningsändamål och kan enkelt omkonstrueras till kommersiella ändamål. Troligen kommer man att använda protoner men alternativ finns.
2) Strålmålet. - Vid interaktionen mellan högenergi-partiklar och media sker en mängd reaktioner. Den viktigaste är spallation vilket innebär att en atomkärna slås sönder av en högenergetisk partikel. Resultatet av denna reaktion blir att man får ett kontrollerbart flöde av neutroner. Även andra partiklar t.ex. pioner bildas men är av mindre vikt i detta sammanhang. Hur stort flöde som kommer att produceras beror på en rad faktorer t.ex. storlek, typ av inkommande partikel och dess energi. Forskning kring dessa problem pågår just nu på KTH.
3) Transmutationshärden. - I detta område som omgärdar strålmålet befinner sig materialet som man önskar transmutera. Det kan gälla använt kärnbränsle från reaktorer, vapenplutonium från kärnvapen under destruktion eller kärnbränsle i form av torium eller uran. Området är så konstruerat att det under alla omständigheter skall vara underkritiskt vilket innebär att en kedjereaktion inte kan starta. Härden är beroende av de neutroner som genom multiplikation ett kontrollerat antal gånger bildas i strålmålet med upppgift att transmutera avfall eller producera energi. Komponenterna transporteras i flytande form runt mellan härden och värmeväxlarna. I vissa förslag använder man en saltsmälta bestående av litium/beryllium-fluorid varvid saltsmältan, ofta genom en matris av grafit, åstadkommer ett termiskt neutronspektrum. Både grafiten och saltsmältan fungerar som moderatorer i system av denna typ. I andra förslag testar man alternativa bärare t.ex. bly varvid man får ett hårdare neutronspektrum. Fördelarna med olika typer av spektra diskuteras flitigt. På KTH arbetar vi just med att analysera spektrets betydelse för verkningsgrad och säkerhet. Då de energiproducerande substanserna och bäraren är homogent blandade med varandra i flytande form kommer effekttätheten att bli betydligt lägre än i konventionella reaktorer, minst en faktor 10, kanske 100! Detta är en av de fördelar som ADTT introducerar när det gäller driftsäkerheten.
4) El-generering. - Via värmeväxlare leds värmen till generatorer för el-produktion. På grund av att ADTT kan arbeta i ett högre tempera-

turområde än vattenbaserade reaktorer öppnas möjligheten att använda alternativa värmebärare och därmed även höja verkningsgraden upp emot 45-50%. Dock bör det nämnas att 10-20% av den producerade el-energin måste återföras till systemet, framför allt till den kraftfulla accelerator. Supraledande accelerator diskuteras och om de introduceras på allvar kan den återförda delen av el-energin radikalt minskas. Storleken på en anläggning av denna typ är, liksom för reaktorer, mycket flexibel, men det verkar som om ett strålmål resp. en transmutationshärd inte vinner på att konstrueras för effekter > 500 MW. Detta hänger framför allt samman med säkerhetsaspekter. Däremot kan man mycket väl placera flera strålmål/härdar parallellt och utnyttja en och samma accelerator. På detta sätt kan investeringskostnaden begränsas.

5) Separation. - En avgörande faktor i ADTT är att systemet kontinuerligt kan avlägsna icke önskvärda isotoper. För enkelhets skull kan vi säga att de ämnen som är eller har transmuterats till att vara stabila eller lågt radioaktiva, dvs. har en halveringstid på 100 år eller mindre, tas ur systemet och behandlas som avfall. Separationen sker genom att man först behandlar materialet som skall matas in i anläggningen varvid man kan rena bränslet på olika sätt. Då det är fråga om kärnavfall kan ädelgaser och konstruktionsmaterial sorteras var för sig och behandlas på lämpligt sätt, men i övrigt kan man även avlägsna uran för återanvändning i konventionella reaktorer. Vi finner här ytterligare belägg för på vilket flexibelt sätt ADTT möter kraven på en framtida fissil energiproducerande anläggning. Under drift måste de transmuterade ämnena avlägsnas från härden, framför allt därför att de stabila ämnena ofta fungerar som neutrongift och försämrar systemets funktion. Separationen sker genom att en liten ström av bäraren avleds och behandlas och sedan återförs vilket sker konttinuerligt under drift. Hur sker då separationen? Detta är en av de verkligt heta frågorna inom ADTT. Den mer traditionellt bundne forskaren hävdar att befintlig separationsteknik, dvs. vattenkemi, är det enda möjliga. Man baserar då sitt val på utvecklingstid, regler och erfarenheter. De mer våghalsiga separationsforskarna letar med ljus och lykta efter alternativa vägar. En av de mera lovande ideerna är baserad på elektrokemi parallellt med fysikalisk separation. Detta alternativ bygger alltså på masskillnader mellan olika grupper av ämnen. T.ex. är massan för fissionsprodukter endast hälften av aktinidernas massa. I ett konstgjort gravitationsfält, genererat genom centrifugering, kan effekten kraftigt förstärkas. Forskning på detta område bedrivs framför allt i Los Alamos i USA. På

Chalmers Tekniska Högskola förekommer forskning gällande flera olika separationstekniker för ADTT.

6) Avfallet. - Naturligtvis finns det en restprodukt även från ADTT, och den får inte negligeras. Det kan med en gång fastslåts att det inte är möjligt att exakt tala om vad slags avfall som kommer att produceras. Dock är det klart att man kommer att starkt kunna reducera kärnavfallets halveringstid liksom den mängd som måste deponeras i geologiskt förvar. I uppskattningar har det nämnts att aktiviteten underskrider den som svarar mot naturligt uran efter 300-1000 år. Dagens kärnavfall anses vara farligt för biosfären minst 100 gånger så länge. Genom att bränslematrisen från konventionella reaktorer kan separeras och antingen förbrännas eller avlägsnas minskas avfallsvolymen i motsvarande grad. Om man sedan driver ADTT vidare till en ren energiproducerande anläggning kan avfallet minskas ytterligare genom användning av bränslecykeln för torium. Att använda torium i vanliga reaktorer verkar i dag omöjligt eftersom neutronekonomin är alltför dålig.

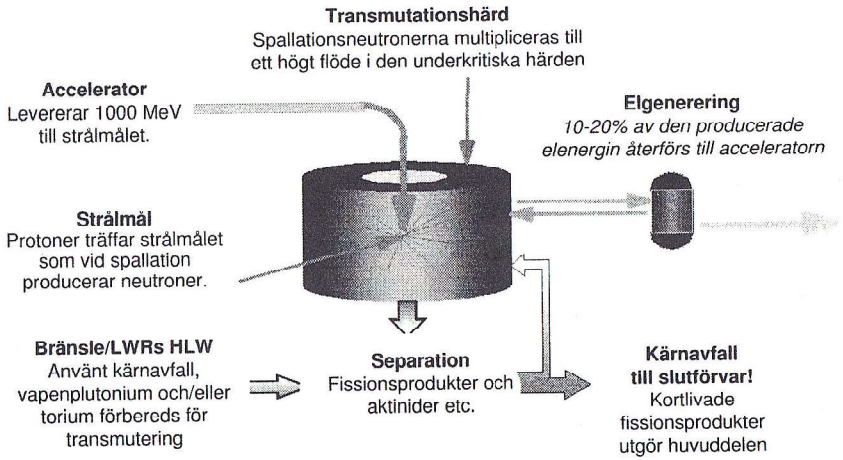


Fig 1. Accelleratordriven transmutation, översikt

Sveriges roll i den moderna kärnenergiforskningen

Som bekant råder i Sverige förbud mot forskning inom kärnenergiområdet sedan 1984, händelsevis ett Orwellskt årtal. Vi avstår från alla spekulationer om detta genanta faktum och skall i stället helt öppet se på vad som hänt och händer inom detta viktiga område. Det började 1991 då Sverige stod som värd för mötet med en expertgrupp i Saltsjöbaden. Här diskuterades det då mest aktuella området, avfallstransmutering (ATW). Som en följd av detta möte startades en rad mindre undersökningar inom Sveriges gränser. En sådan stöddes ekonomiskt av SKB och hade till uppgift att överblicka olika länders satsningar på området, framför allt ur säkerhetssynpunkt. Arbetet som utfördes på KTH ledde till en forskningsrapport (SKB 93, 23). På 50-årsdagen av den första kontrollerade kedjereaktionen besöktes Sverige än en gång av ledande forskare inom ADTT och detta tillsammans med de intressanta bedömningarna i SKB:s förstudie ledde till att flera mer tekniska projekt startades. Sverige blev på detta sätt ett av de första länder som med brett stöd från högskolor, industri och till viss del myndigheter, startade aktiv forskning på ADTT. Forskning inom högenergi/spallation, neutronik och separationskemi har sedan dess pågått i Sverige. På grund av att Sverige visat stort intresse fick vi efter den första internationella konferensen förfrågan om att vara värdar även för den andra som gick av stapeln i juni 1996. Mötet gästades av över 200 forskare från ett 20-tal olika länder, och under några intensiva dagar diskuterade man tekniska problem och deras lösningar, framtida gemensamma ansträngningar, internationellt samarbete och mycket annat. Det hela blev en stor succé!

Sverige har inte många forskare inom området och därför begränsas versamheten ofrivilligt. Ett sätt att gå runt problemet med begränsade resurser i ett land är att dra nytta av det stora internationella samarbetet. Svenska grupper samarbetar i dag aktivt med grupper i USA, Frankrike, Italien, Tjeckien, Polen och Ryssland. Samarbetet sträcker sig från ekonomiskt stöd för tillverkning av ett prov-strålmål som byggs i Ryssland till studentutbyte mellan tekniska högskolor och laboratorier i de olika länderna.

Varför är man då i Sverige intresserad av denna nya teknologi? Som tidigare understrukits finns det ett stort antal människor i detta land som inte tror på en förtida avveckling av kärnkraften utan i stället på en vidareutveckling. Oberoende av vilken tro man har så bör man inse att denna forskning starkt bidrar till att vi kan behålla den kompetens som krävs för att garantera kärnkraftssäkerhet. Under 80-talet har de tekniska högskolorna sett en kraftig minskning av antalet teknologer intresserade av kärnkraftsrelaterade ämnen. Denna urlakning av den svenska kompetensen inom reaktorteknologin är i sig en risk som ej belysts tillräckligt tydligt. ADTT har inneburit att det återigen finns en rad utmanande, nyskapande forskningområden för oss som är nya och inte har fått vara med om den era av skapande och konstruktion som rådde innan folkomröstningen lade locket på för vidare utveckling. I ett längre perspektiv finns det två tydliga mål.

1) Att reducera den volym och de krav på långa isoleringstider som det slutgiltiga förvaret av använt kärnbränsle har i dag. Det kanske blir möjligt att använda ett förvar av den typ som redan finns utanför Forsmark (SFR). Detta måste forskningen få möjlighet att undersöka.
2) Som nämndes ovan frigörs energi vid transmutering av skilda slag. Vid en eventuell avveckling av dagens kärnkraft kan denna energi användas till en miljövänlig storskalig produktion av elenergi. Att inte ta in energiproduktionen i dagens forskning vore att lura oss själva och det har gjorts alltför länge redan i dag. I en nära framtid kommer dörren att öppnas för stora möjligheter även i det längre perspektivet.

Utvecklingen i den övriga världen

Den grupp som återuppväckte intresset för transmutation var Los Alamos National Laboratory (LANL) i slutet av 80-talet. Många enskilda forskare hade varit aktiva betydligt längre än så, men deras arbeten hade inte uppmärksammats förrän man på LANL publicerade en rad artiklar med intressanta resultat. Gruppen på LANL är f.ö. alltjämt en av de mest aktiva inom området, men under de senaste åren har gruppens huvudlinje med ett termiskt salt-smälta-system ifrågasatts, och man har därför nu börjat undersöka ett alternativ med snabbt spektrum och bly. LANL har en stor fördel genom att de förfogar över den lämpligaste acceleratorn som f.ö. kan komma att användas i ett pilotexperiment där acceleratorns stråle skall växelverka med strålmålet. Stödet för ADTT på LANL har ökat kraftigt och forskargruppen har en prioriterad ställning.

Strålmålet som utgör en mycket viktig del i experimenten är nu under konstruktion och uppbyggnad i Ryssland med ekonomiskt stöd av USA, Frankrike och Sverige. I Ryssland finns en stor kompetens inom den tek-

nologi som nu anses lämpligast och som bygger på användning av smält bly och vismut. Detta exempel utgör samtidigt en god illustration till den universella karaktären av denna forskning, och det är då inte bara fråga om utbyte mellan nationer utan även om samarbete mellan civila och militära instanser. Det ekonomiska stödet för framtagandet av strålmålet kommer just från medel avsatta för överförande av forskare från ryska militära instanser till civila forskningsprojekt. Inom den ryska satsningen på ADTT kommer hundratals forskare och tekniker att arbeta. Svenska forskare deltar i koordinering av arbetet och vidare samarbete kommer med all säkerhet att utvecklas. Frankrike intar som bekant en särställning i den generella synen på kärnkraft vilket framgår av bl.a. upparbetningen av avfall, framställning av MOX-bränsle samt konstruktion av snabba reaktorer. Det är därför inte överraskande att man också gör stora insatser på forskning inom ADTT. I själva verket uppmanade franska myndigheter forskarna att studera ADTT som ett alternativ till avfallshanteringen. Denna satsning har lett till en stor och väl strukturerad forskning inom transmutation driven av acceleratorer men också av reaktorer. Som exempel kan nämnas att experiment på en subkritisk härd, motsvarande den transmutationshärd som behövs i ADTT, pågår sedan drygt ett år, och här deltar svenska forskare aktivt i experimenten och vid analys av resultaten. Även detta samarbete planeras utökat under 1997. Ett annat land som starkt går in för kärnkraft är Japan och även där betraktar man möjligheterna inom ADTT. Sedan många år har man ett nationellt program kallat OMEGA för denna forskning. Frankrike och Japan har länge haft ett nära samarbete för utveckling av nya reaktorer och angränsande teknik och detta gäller även ADTT.

ADTT väckte stor massmedial uppmärksamhet när Nobelpristagaren Carlo Rubbia för några år sedan visade intresse för denna teknologi, särskilt vid en presskonferens i november 1993. Rubbia är främst verksam inom området synkrotronacceleratorer vilka skulle kunna representera en avsevärd förbättring av ADTT där man hitintills har förlitat sig på linjära acceleratorer som är både stora och ekonomiskt ofördelaktiga. Genom Rubbias insatser har även Italien kommit in i arbetet på utveckling av ADTT.

Som avslutning framföres synpunkten att det också är rimligt att EU stöder forskningen vid ett antal laboratorier och tekniska högskolor. Koordinationen sker i Bryssel och man diskuterar nu en utvidgning av detta stöd till forskning om ADTT. Även IAEA stöder forskningen aktivt och bl.a. har en 400 sidor stor rapport om ADTT just blivit färdig: "The Status of Accelerator-Driven Systems" med Waclaw Gudowski vid KTH i Stockholm som redaktör. Denna rapport kan varmt rekommenderas för vidare studium av vad som händer inom området och den ger även en rimligt detaljerad teknisk beskrivning.

Närmaste framtidsplaner

Det existerar en detaljerad plan som framtagits inom LANL och som innefattar en del av de internationella satsningarna, bl.a. det ryska projektet. Just nu diskuteras i Europa också ett större experimentprogram som skulle bredda de storslagna planer som finns i USA. Man har testat olika systemalternativ och utfört simuleringar av fundamentala funktioner gällande ekonomi, säkerhet och stabilitet. Denna fas kommer troligen att pågå fram till år 2000. Hösten 1886 inleddes en fas som utgör en test av de olika fysikaliska delarna. Här kommer man att experimentellt visa att de simulerade resultaten stämmer med verkligheten. En sjuårsplan med månadsplanering ligger nu till grund för arbetet. Efter halva den tiden, år 2000, skall man konstruera en pilotanläggning som troligen hamnar i LANL. Den är emellertid starkt beroende av vilka länder som då alltjämt deltar i utvecklingen. Anläggningen kommer troligen att ligga på 50 MW termisk effekt vilket motsvarar R-2 reaktorn i Studsvik. Experimenten på denna pilotanläggning kommer troligen att vara avslutade runt år 2010. Vid denna tidpunkt torde även planeringen av en fullskaleprototyp på 500 MW eller mer ha påbörjats.

Civ.ing. Erik Möller tog examen på Avdelningen för Maskinteknik, KTH 1993 med inriktning på Reaktorteknologi. Han är även verksam som styrelsemedlem i Stockholmsavdelningen av MFK

Risker och externa kostnader vid elproduktion

Kort sammanfattning av kunskapsläget

Nils Starfelt

Elektricitet och elanvändning har haft avgörande betydelse för den ekonomiska utvecklingen i världen. Elektriciteten har också haft stor positiv betydelse för människors livskvalitet. Detta är inte något som människor i västvärlden har i tankarna dagligen. Tillgången på el betraktas som självklar, men så är inte fallet i U-världen. Ännu idag saknar nära hälften av jordens befolkning elektricitet.

Elektrifiering i U-länder innebär en betydande förbättring av livskvaliteten, speciellt för kvinnor genom att de befrias från hårt kroppsarbete, t ex insamling av ved och kogödsel som bränsle för matlagning.

Men elproduktion har också negativa effekter, t ex utsläpp av luftföroreningar från fossileldade kraftverk, olyckor med gasledningar och oljeplattformar och kanske inte minst en svår olycka i ett kärnkraftverk.

Externa kostnader

Under de senaste åren har internationellt betydande resurser ägnats åt att försöka minska, men också kvantitativt bedöma, de negativa effekterna av elproduktion. En nu vedertagen metod är att beräkna de s k externa kostnaderna, d v s räkna ut vad den åstadkomna skadan motsvarar i öre/kWh. Detta gäller kostnader som inte redan genom priset på elektriciteten betalas av elkonsumenten.

Vid dessa beräkningar försöker man ta hänsyn till hela bränslecykeln, t ex vad gäller kärnkraften från urangruva över kraftverk, inklusive risken

för olyckor, till slutförvaring av det använda kärnbränslet. I denna rapport behandlas huvudsakligen skador som drabbar allmänheten. Arbetsskador är oftast redan medtagna i produktionskostnaderna.

Beräkning av externa kostnader är en komplicerad process som hittills har genomförts endast av ett fåtal stora organisationer, såsom EU-kommissionen (1) och energidepartementet i USA, USDOE, (2). Det finns också en studie från staten New York (3).

För luftföroreningar, t ex svaveldioxid, kväveoxider och radioaktiva utsläpp finns det nu datormodeller som beskriver spridningen från källan vid olika väderleksförhållanden. Med kännedom om befolkningsfördelningar och hur verkan på människor beror av dosen räknar man ut skadan på människor. På liknande sätt beräknas miljöeffekter såsom skador på växtlighet och byggnader förorsakade av svaveldioxid.

Det sista svåra problemet är att sätta ett värde i pengar på skadorna, t ex förlust av ett människoliv. Man räknar här i allmänhet med ett "statistiskt" liv som anses vara värt cirka 25 miljoner kronor.

Samband dos - verkan

Den största och allvarligaste effekten av strålning och vissa luftföroreningar är cancer. Man har inte tidigare haft tillräckligt verklighetsunderlag för att kunna göra beräkningar för de föroreningar som produceras vid eldning med fossila bränslen och biobränslen. Det är först på 1990-talet som sådana beräkningar har kunnat göras. För strålning har man sedan länge haft goda beräkningsmodeller och god kunskap om effekterna vid stora stråldoser.

Därför vet vi mycket mer om riskerna med kärnkraft, än om vilka skador eldning med fossila och biobränslen kan leda till. Ett stort problem är att man dock inte med säkerhet har kunnat fastställa hur stor verkan är på människor vid låga stråldoser.

Låga doser

För strålning används ett samband mellan stråldosen och dess verkan som har tagits fram av ICRP, International Commission for Radiological Pro-

tection, för användning vid bedömning av strålskyddsåtgärder. Med kännedom om verkan av stora stråldoser, tusenfalt större än den naturliga strålningen, från främst atombomberna över Japan, uppskattas verkan av små doser. Detta förfarande innebär att man räknar med att även de lägsta doser, långt under den naturliga strålningen, medför risk för skador fastän detta inte går att påvisa i verkligheten. Eftersom radioaktiviteten, liksom andra luftföroreningar, kan spridas över mycket stora ytor med stor befolkning, kommer många människor att utsättas för låga doser, ofta mycket lägre än den naturliga bakgrundsdosen.

Men genom det försiktiga antagandet att även mycket låga stråldoser ger skadeverkningar trots att dessa aldrig kan spåras, får man beräkningsmässigt stora tal i form av cancerfall på grund av det stora antal människor som omfattas. Eftersom det antagna dos-effekt sambandet vid mycket låga doser inte är observerbart utan grundar sig enbart på hypoteser har dess betydelse för skadeförutsägelse börjat ifrågasättas (4). Om detta vinner gehör kommer t ex det beräknade antalet dödsfall förorsakade av Tjernobylolyckan att minska. Det kan också leda till mindre hårda kriterier för evakuering och omflyttning av människor vid en hypotetisk svår reaktorolycka och därmed lägre beräknade kostnader.

Tröskeldoser?

För andra luftföroreningar, t ex kväveoxider och dammpartiklar, har man tidigare räknat med att det skulle finnas en tröskeldos under vilken ingen skada åstadkommes. Nyare studier talar för att dessa föroreningar bör behandlas på samma sätt som strålning och i de senaste beräkningarna har man behandlat alla luftföroreningar liksom strålning med ett linjärt dosverkan samband ner till nolldos (1).

Svåra olyckor

Ett beräkningsmässigt svårt problem är de stora olyckorna. Det har hänt och händer fortfarande energirelaterade olyckor som leder till stora dödssiffror. Tabell I visar antal och konsekvens av svåra olyckor 1969 - 1992 (5).

	Antal olyckor	Omedelbara dödsfall per GWår
Kol	130	0,4
Olja	260	0,5
Naturgas	110	0,3
Vattenkraft	10	0,8
Kärnkraft	1	0,03

Tabell I *Svåra olyckor, 1969 - 1992* *(1 GW = 1 000 MW)*

Kärnkraften har drabbats av en svår olycka som lett till konsekvenser utanför kraftverket, nämligen Tjernobyl. Denna olycka kan inte ge någon ledning för beräkning av de externa kostnaderna för ett hypotetiskt svårt haveri i en västerländsk lättvattenreaktor. Tjernobylreaktorn var fysikaliskt instabil, vilket en lättvattenreaktor inte är, och den saknade reaktorinneslutning.

Säkerhetsfilter

De svenska reaktorerna har effektiva reaktorinneslutningar och dessutom numera också filter för att möjliggöra tryckavlastning av inneslutningen. Dessa anordningar är dimensionerade så, att även i ett fall av ett svårt reaktorhaveri skall inga akuta dödsfall förekomma och inga stora markområden bli obrukbara.

Olyckskostnader

Olyckan i reaktorn vid Three Mile Island utanför Harrisburg i USA bekräftade att härdsmälta kan inträffa i en lättvattenreaktor men också att reaktorinneslutningen var tillräcklig för att hindra sådana utsläpp av radioaktivitet som skulle kunna skada omgivningen.

Vi har nu erfarenhet av cirka 6 000 reaktorår i världen för lättvattenreaktorer med en härdsmälta, dock utan utsläpp av radioaktivitet. Detta kan inte användas för beräkning av kostnaden förbunden med ett hypotetiskt svårt reaktorhaveri med tillräcklig noggrannhet. Man använder i stället PSA, (Probabilistisk Säkerhets Analys) för att beräkna sannolikheten för

olika hypotetiska olycksförlopp. Sådana noggranna beräkningar har utförts huvudsakligen för reaktorolyckor men inte för andra energislag.

Det skulle kunna vara motiverat att också räkna på andra hypotetiska stora olyckor som skulle kunna drabba oss. Historiskt har de största olyckorna gällt haveri av kraftverksdammar med flera tusen dödsoffer som följd.

Den värsta reaktorolyckan, Tjernobyl, ledde till cirka 30 omedelbara dödsfall. Antalet dödsfall är ett mått som kan användas för jämförelse av katastrofer. Andra effekter som t ex markförstörelse är också svåra konsekvenser av olyckorna.. Så ledde t ex Tjernobyl-olyckan till omfattande permanenta evakueringar.

De beräknade sannolikheterna för svåra reaktorhaverier i lättvattenreaktorer är mycket små medan de tänkta skadorna kan bli mycket stora. Den externa kostnaden beräknas alltså ur en produkt av en mycket liten sannolikhet och ett mycket stort tal som representerar kostnaden för den osannolika olyckan.

Den beräknade externa kostnaden blir i alla nyare beräkningar låg, 0,01 – 0,1 öre/kWh (1, 2, 5). Tidigare högre siffror har visat sig bero på felaktiga antaganden eller misstag i beräkningarna (6). Om man accepterar metoden, blir den beräknade kostnaden för en hypotetisk reaktorolycka låg i jämförelse med andra negativa effekter av elproduktion. Beräkningsmetoden, och därmed resultaten, har emellertid utsatts för invändningar.

"Aversion"

Det har framhållits att den av experter beräknade risken inte skall användas eftersom det i stället bör handla om människors känslor och egna upplevda uppfattningar om risker för en kärnkraftsolycka, s k "aversion". Det finns för närvarande inget tillförlitligt sätt att kvantifiera "aversionen" (utom möjligen genom opinionsmätningar) men studier pågår på flera håll (5). En ytterligare svårighet är att det är rimligt att antaga att graden av "aversion" kommer att variera med tiden. De presenterade externa kostnaderna i denna rapport bygger således på objektiva beräkningar.

Olycksscenarier

Ett annat sätt att hantera problemet är att för beslutsfattare och allmänhet presentera den externa kostnaden för olycka och samtidigt ett antal olycksscenarier. Därigenom kan den subjektiva riskuppfattningen tas med i beslutsfattandet tillsamman med expertberäkningarna. Det är dock rimligt att samma slags presentation göres också för andra energislag.

Den stora frågan är: Kan en svår olycka med utsläpp av radioaktivitet till omgivningen verkligen ske i ett svenskt kärnkraftverk? Det officiella svaret är att vi inte tekniskt, matematiskt kan bevisa att det är omöjligt men sannolikheten är mindre än en på en miljon år, eller snarare en på 10 miljoner år.

Sannolikheten för härdsmälta är större. Eftersom vi har flera barriärer för utsläpp av radioaktivitet mellan reaktorhärden och människor utanför kraftverket leder de flesta hypotetiska härdsmältor inte till någon katastrof för omgivningen. För kraftverket och dess ägare är dock en härdsmälta en total ekonomisk katastrof eftersom en härdsmälta som i Harrisburg gör reaktorn oanvändbar för all framtid. En sådan händelse måste alltså undvikas också av ekonomiska skäl.

Det är omöjligt att göra sig en bild av vad sannolikheten en på 10 miljoner år innebär. I andra industriella sammanhang än kärnkraft skulle slutsatsen ha blivit att om risken är en på 10 miljoner driftår betraktar man risken som obefintlig.

Hur skulle då en härdsmälta eller ett svårt haveri gå till? I Studsvik finns reaktorsimulatorer för träning av reaktoroperatörer. En stor dator ersätter reaktorn och med hjälp av denna simulerar övningsledaren händelseförlopp som skulle kunna leda till olyckor. Operatörerna arbetar i ett kontrollrum som är en exakt kopia av det som finns i det verkliga kraftverket. Man har hittills under cirka 1500 kursveckor simulerat en mycket omfattande mängd händelser som skulle kunna tänkas leda till en härdsmälta. Operatörerna har i samtliga fall där man arbetat med realistiska händelseförlopp lyckats bringa reaktorn till ett säkert tillstånd och därmed förhindrat härdsmälta.

Man har också velat öva åtgärder som skulle bli nödvändiga vid en härdsmälta. Man måste då åstadkomma en sådan i simulatorn och det kan man genom att låta ett antal i och för sig osannolika missöden inträffa samtidigt t ex:

- Växelströmstillförseln bryts genom totalhaveri i ställverket
- Den första dieselgeneratorn havererar genom explosion i vevhuset

- Övriga dieselgeneratorer startar inte
- De gasturbindrivna generatorerna startar inte
- Ett stort rörbrott sker utan föregående läckage (ett sådant rörbrott har ännu inte inträffat i världen efter 6000 reaktorår)
- Tillförseln av nödkylvatten startar inte

Då får man härdsmälta genom sex samtidiga svåra missöden. Därutöver fordras ett antal felfunktioner och missöden för att härdsmältan skall leda till utsläpp av betydande mängd radioaktivitet till omgivningen. Det är svårt att på allvar tro att en sådan olycka skulle kunna inträffa.

Hade haveristudien gällt något annat än kärnkraft hade man säkert konstaterat att en svår olycka är omöjlig, men på kärnkraft har säkerhetskraven satts mycket högre än i någon annan industriell verksamhet.

I det amerikanska energidepartementets rapport (2) presenteras beräkningar för hypotetiska olyckor av olika svårighetsgrad och för olika geografiska lägen för kärnkraftverket.

De allvarligaste konsekvenserna får man om en härdsmälta följs av ett tidigt stort brott på reaktorinneslutningen vid en reaktor i ett relativt tätbefolkat område. Kostnaderna för de totala skadorna utom hälsoeffekterna blir cirka 200 miljarder kronor

Trots de höga siffrorna för skadorna blir den motsvarande externa kostnaden mindre än 0,1 öre/kWh. I denna siffra ingår också kostnaden för hälsoeffekter. På grund av den mycket låga sannolikheten för en svår olycka blir alltså den externa kostnaden för reaktorolyckor endast en mindre del av den totala externa kostnaden.

Bioenergi

Biobränsle, dvs olika former av vedeldning, har i den svenska energidebatten framförts som ett långsiktigt alternativ till kärnkraft. Det kan därför vara av intresse att göra en genomgång av cancerriskerna och andra negativa effekter vid vedeldning, på grund av luftföroreningar.

Vedeldningens cancerrisker

Naturvårdsverket har låtit göra en undersökning av cancerrisken vid småskalig vedeldning (7). Man har undersökt villaområden, kedjehusområden

och radhusområden i Malmö och Kiruna. Studien gäller relativt små, från omvärlden isolerade områden och utgår från antagandet att all bostadsuppvärmning skulle ske med småskalig vedeldning.

Effekten på människorna utanför området har inte undersökts.

Ofullständig kunskap

Naturvårdsverkets undersökning omfattar enbart skador åstadkomna av ämnen som kan ge cancer. Astmasjukdomar och dödsfall orsakade av partiklar i röken har således inte tagits med i beräkningarna. Resultatet utgör därför en undre gräns för skadeverkningarna.

Vid vedeldning i villapannor i Malmö blir antalet cancerfall per år 34 per en miljon invånare. I Kiruna blir skadan cirka tre gånger större. Med modern teknik kan skadorna reduceras med cirka en faktor tre.

Med kännedom om hur mycket energi som behövs för uppvärmning av bostäder kan man också beräkna att antalet dödsfall i cancer blir 2,1 per TWh.

Beräkningarna bygger på att energiåtgången för uppvärmning av bostäder är 8000 kWh per person och år.

Med användning av kostnaden på ett "statistiskt människoliv" får man att den del av den externa kostnaden som beror på dödsfall i cancer blir 4,2 öre/kWh värme.

Detta är endast en del av den externa kostnaden och må tjäna som en undre gräns.

Barkeldning i Portugal

EU-kommissionen har engagerat en forskningsorganisation i Portugal för att studera de externa effekterna av användning av biobränsle. Man har gjort en kritisk genomgång av tidigare studier av skadeverkningar av emissioner från eldning med biobränsle.

På så sätt framtagen information har tillämpats för en studie av en anläggning som ligger cirka 150 km från Lissabon. Det är ett tegelbruk där såväl torkning som bränning sker med ugnar eldade med bark. Den totala värmeeffekten är 3 MW, så bruket kan betraktas som en halvstor anläggning. Det ligger i ett samhälle med 17 000 invånare och regionen som inte omfattar Lissabon har 1,7 miljoner invånare.

Hälsoskador dominerar

I resultatet dominerar skador på mänsklig hälsa åstadkomna av luftburna partiklar. De kroniska effekterna är cirka fyra gånger större än de akuta. Skador åstadkomna av ozon och av cancerogena ämnen har inte medtagits på grund av bristen på kunskapsunderlag.

Resultatet blir att biobränsleanvändningen leder till 5,5 dödsfall per TWh. Enligt den portugisiska rapporten motsvarar detta en externkostnad på 13 öre per kWh värme.

Eftersom den svenska undersökningen har data för cancer men inte för skador på andningsorganen kompletterar de två undersökningarna varandra. Det är en rimlig ansats att addera resultaten med slutsatsen att skador från eldning med biobränsle med användning av dagens teknik troligen är större än 7 dödsfall per TWh, vilket motsvarar en externkostnad på 17 öre/kWh värme.

Denna slutsats måste dock förses med en allvarlig reservation. Luftföroreningarna och skadeeffekterna vid vedeldning beror i hög grad på eldningstekniken och på befolkningsfördelningen i det studerade området.

Biokraftverk i staten New York

En mycket ingående studie av externa kostnader för olika energislag har gjorts för staten New York. Man har bl a studerat effekten av förläggning av olika typer av kraftverk till den lilla staden Sterling i nordvästra delen av staten.

Andra förläggningar som studerats är huvudstaden Albany och Kennedyflygplatsen på Long Island.

Endast för Sterling finns resultat för biobränsle redovisade. Ett vedeldat kraftverk på 30 MW, alltså en stor anläggning, har studerats. För Sterling är den externa kostnaden för biobränsle 2,2 öre/kWh och som jämförelse kan nämnas att den näst högsta externkostnaden får man för kolpulvereldning med 1,8 öre/kWh.

Koleldning ger större skador genom kväveoxider medan biobränsle emitterar mer cancerogena ämnen. I resultaten för New York ingår partiklar, kväveoxider och cancerogena ämnen. Den är alltså mer fullständig än Portugalstudien.

Glesbygd – tätort

Inga data för vedeldning på de andra orterna har redovisats men en jämförelse har gjorts mellan Sterling och Kennedy för gas och olja. På grund av den större folktätheten vid Kennedyflygplatsen är de externa kostnaderna där mellan 4 och 8 gånger högre än för Sterling.

Slutsatsen från New York studien är att biobränsle leder till externa kostnader mellan 2 och 18 öre/kWh.

Beräkningarna för Sverige och Portugal gäller produktion av värme i relativt små anläggningar. New York studien gäller el-produktion i en större anläggning. Skillnaderna i resultaten indikerar att det är mycket vanskligt att använda dessa resultat för att uppskatta skadeverkningarna för andra anläggningar än dem som behandlats i respektive studier.

Tabellen sammanfattar vår kunskap om skadeeffekter på mänsklig hälsa av användning av biobränsle. Som jämförelse har också svensk kärnkraft tagits med i tabellen. Som ett räkneexempel anges även effekten av 30 TWh, vilket motsvarar den mängd elektricitet som används i Sverige per år för att värma bostäder och kontor.

	Dödsfall/TWh	Dödsfall/30 TWh
Biobränsle Sverige Portugal	7,6	228
Biobränsle New York	0,8 - 6,5	24 - 195
Kärnkraft Sverige	0,2	6

Tabell 2. Skadeeffekter på mänsklig hälsa vid användning av biobränsle

Biobränsle i Sverige kan alltså förorsaka mer än 30 gånger större skada på den mänskliga hälsan än vad kärnkraften gör.

Biologisk mångfald

Ovan har diskuterats skadeverkningarna endast från luftburna emissioner från användning av biobränsle.

Ett annat problemkomplex där kunskapsunderlaget också är bristfälligt har att göra med påverkan av ökat uttag av bränsle från den svenska skogen. Återväxt, påverkan på biologisk mångfald och förändringar av markens kemi, är exempel på problem som kan uppstå vid en storskalig användning av biobränsle i Sverige.

Växthuseffekten

Det stora problemet och det stora hotet för framtiden är växthuseffekten. Vid konferensen Electricity, Health and the Environment i oktober 1995 (8) var växthuseffekten ett av de stora diskussionsämnena. Klimatforskarna anser nu att det mesta talar för att det finns ett samband mellan utsläppen av växthusgaserna (bl a koldioxid och metan) och medeltemperaturen i atmosfären. Det är fortfarande osäkert hur stor effekten är och när den kommer att få allvarliga verkningar. På grund av osäkerheten har växthuseffekten ännu inte tagits med i beräkningarna av externa kostnader.

I EU-rapporten (1) anges siffror för koleldning från olika uppskattningar som ligger mellan 14 öre/kWh och mycket högre värden. Författarna av rapporten bedömer att de lägre siffrorna, cirka 25 öre/kWh, är mest realistiska men även med dessa siffror utgör växthuseffekten en stor börda för användningen av fossila bränslen.

För naturgas blir effekten mindre än för kol på grund av att mindre koldioxid bildas men detta motverkas delvis av läckage av metan från gasutvinning och ledningar.

Det anses i vida kretsar att riskerna för klimatförändringar är så stora att man nu bör vidtaga åtgärder för att minimera utsläppen av växthusgaser. (Denna uppfattning tycks inte delas av de beslutsfattare som skulle kunna ha verkligt inflytande över utvecklingen, nämligen regeringarna i USA och Kina (8))

Energibesparingar ger sämre inomhusmiljö

Energihushållningens möjliga negativa effekter har inte redovisats i de ovan diskuterade studierna, men Miljöhälsoutredningen (9) behandlar dessa problem.

Redan Allergiutredningen (10) påtalade 1989 att energibesparingarna i form av tätade hus under 80-talet lett till sämre ventilation och därmed sämre inomhusmiljö och hälsa. Vi vistas inomhus nära 90 % av dygnet. Flera av de ökande hälsoproblemen beror på dålig ventilation och fuktproblem.

Radon, tobaksrök, formaldehyd, husdammskvalster m m är faktorer som vi exponeras för inomhus och som påvisats ha betydelse för människans hälsa.

I dag har vart tredje svenskt barn haft astma, allergisk snuva eller eksem. Den andel av astma och / eller nedre luftvägskatarr hos små barn som kan förklaras med faktorer i inomhusmiljön kan uppskattas att till 12 - 17 procent bero på bristfällig ventilation i bostaden.

Mellan 400 000 och 500 000 svenskar upplever sig vara så besvärade av inomhusklimatet att de får symptom.

Bristfällig ventilation

Allergiutredningen bedömde 1989 att cirka 75 % av landets skolor hade bristfällig ventilation. Många åtgärder har därefter vidtagits men den nya utredningen uppskattar att cirka hälften av skolor och förskolor har brister i ventilationen.

Byggnaderna, både bostäder och skolor, har överlag blivit tätare. Detta ökar koncentrationen i inomhusluften av giftiga ämnen. Den bristande ventilationen ökar också radonhalten.

Gränsvärdet för radongas är 400 Bq/m^3 i gamla hus och hälften i nybyggnation. I Sveriges cirka 4 miljoner bostäder anses 100 000 till 200 000 överskrida gränsvärdet.

Statens Strålskyddsinstitut har tidigare angett att radon i bostäder leder till 900 lungcancerfall per år. I en ny svensk undersökning beräknas antalet vara ungefär hälften så stort och Miljöhälsoutredningen anger därför att 400 till 900 cancerfall orsakas av radon.

Den föreslår som övergripande långsiktigt mål att ingen skall bli sjuk eller få symptom på grund av brister i inomhusmiljön. Därför skall bristfällig ventilation i bostäder, förskolor och skolor åtgärdas.

Den konstaterar vidare att intresset att öka ventilationen står i konflikt med intresset att spara energi. Om landets alla bostäder skulle ventileras enligt normen (0,5 luftomsättningar per timme) skulle det krävas ett energitillskott på 6 TWh per år, om inte ökad återvinning av värme sker.

Ventilationen skulle kunna förbättras utan ökad energiförbrukning om samtidigt värmeåtervinningen förbättras. En sådan förbättring av ventilationen uppskattas kräva investeringar på 62 miljarder kronor och skulle innebära ökade underhållskostnader på cirka 3 miljarder kronor per år. Denna extra underhållskostnad är ungefär lika stor som kostnaden för 6 TWh el använd som elvärme.

Energibesparing kan försämra miljön

Miljöhälsoutredningens resultat är en kraftfull dementi av en av de vanligaste myterna i energidebatten: "Varje sparad kWh innebär en miljöförbättring."

Om energipriserna ökar ytterligare i samband med en kärnkraftavveckling eller på grund av ytterligare höjda energiskatter torde ingen förbättring av inomhusluften komma till stånd och målen för inomhusluft kommer inte att kunna uppnås.

Effekterna av energibesparing kan också uttryckas som externa kostnader men några tillförlitliga beräkningar finns ännu inte

Resultat

Tabell 3 visar de externa kostnaderna förbundna med elgenerering enligt EU-rapporten, (1). Växthuseffekten är icke inkluderad. Kostnaderna domineras av hälsoeffekter för allmänheten.

Naturgas	0,8
Olja	12
Kol	14
Kärnkraft	0,5
Bioenergi	13
Vind	2
Vattenkraft	2

Tabell3. EU-rapportens externa kostnader, uttryckta i öre/kWh
Växthuseffekten är inte medtagen

I de citerade referenserna finns också nuvärdesberäkningar av de externa kostnaderna. Siffrorna i tabellen motsvarar räntan "0", d v s även effekter långt in i framtiden har tagits med till full kostnad. Om man räknar med en ränta som inte är "0" blir de externa kostnaderna för kärnkraft betydligt lägre än i tabellen på grund av den stora roll det långlivade radioaktiva ämnet kol-14 spelar.

Det är stora skillnader mellan de lägsta och högsta siffror som räknats fram, också för ett och samma energislag. Detta beror på att utsläppen av föroreningar är beroende av förbränningsteknik och reningsgrad men huvudsakligen på var ett kraftverk är beläget och hur t ex befolkningsstrukturen lokalt och regionalt är beskaffad. Det är naturligt att ett kraftverk

centralt beläget i Västeuropa förorsakar högre externa kostnader än en anläggning på landsbygden i USA.

Det kan vara intressant att observera att biobränsle ger lika höga externa kostnader som olja och kol. I studien från New York (3) ger biobränsle t o m den högsta externa kostnaden av alla energislag.

Nya svenska studier (11), som dock inte omfattar beräkningar av externa kostnader, stöder de internationella resultaten genom att visa att de hälsofarliga luftföroreningarna från eldning med biobränsle är ungefär lika stora som luftföroreningarna från olje- eller koleldning.

De flesta värdena på externa kostnader är behäftade med stora osäkerheter. För luftföroreningar från eldning av fossila bränslen har man t ex i EU-studien räknat endast med akuta hälsoeffekter, alltså inte cancer. De kroniska effekterna kan också vara av betydelse men på grund av osäkerheten i data har de inte inkluderats i beräkningarna.

De mest ingående och bäst dokumenterade beräkningarna gäller kärnkraft.

Några allmänna slutsatser

- Om man bortser från växthuseffekten, dominerar hälsoeffekter från fossileldning och biomassa de externa kostnaderna vid elproduktion.
- Det är möjligt att vidareutveckla förbränningsteknik och reningsteknik och det är därför rimligt att konstatera att med ovanstående antaganden kan de externa kostnaderna göras små i jämförelse med de totala produktionskostnaderna för de storskaliga energiformerna, fossileldning och kärnkraft. Detta gäller också bioenergi
- Om man däremot vill ta hänsyn till växthuseffekten, tycks kärnkraft och vattenkraft bli de enda storskaliga energislagen för vilka de externa kostnaderna kan betraktas som små.
- Energibesparing som innebär sämre ventilation i bostäder och skolor leder till allvarlig försämring av inomhusmiljön.

Referenser:

1. Externalities of Fuel Cycles, "Externe" Project European Commission, Directorate-General XII, 1994
2. External Costs and Benefits of Fuel Cycles
   US Department of Energy (USDOE) and the Commission of the European Communities, 1995
3. Rowe, R.D. et al., New York Environmental Externalities Cost Study: Summary of Approach and Results
   Workshop on the External Costs of Energy Organized by EC and IEA-OECD, Brussels, January 30 - 31, 1995
4. Muckerheide J., The health effects of low level radiation: Science, data and corrective action, Nuclear News, September 1995
5. Hirschberg S., Framework for and Current Issues in Comprehensive Comparative Assessment of Electricity Generating Systems
   International Symposium on Electricity, Health and the Environment, Vienna, 16 - 19 October, 1995
6. Starfelt, N., Externa Kostnader för Elproduktion i Sverige
   Kärnkraftsäkerhet och Utbildning AB, Nyköping, 1995
7. Ehrenberg L. och Törnqvist M. Naturvårdsverkets rapport 4224, 1996
8. International Symposium on Electricity, Health and the Environment, Vienna, 16 - 19 October, 1995
9. SOU 1996:124
10. SOU 1989:76
11. Bohlin, Hjalmarsson, Wiklund och Åkesson, Energi och Miljö, Miljökonsekvenser vid användning av naturgas, biobränsle, olja och kol. ÅF-Energikonsult, Stockholm, 1995.

Nils Starfelt har varit professor i Tillämpad Fysik vid Linköpings Universitet samt teknisk attaché vid olika svenska beskickningar i utlandet. Han är numera bl.a. verksam inom Analysgruppen vid KSU (Kärnkraftsäkerhet och Utbildning AB)

Radonrisker i våra bostäder

Gunnar Walinder

Det viktigaste bidraget till den "naturliga" strålning, som vi i alla tider utsatts för (dvs vad som brukar kallas för bakgrundsstrålningen), är det som härrör från luftburet radon och dess dotterprodukter. Risken med inandning av radon är i första hand ett inomhusproblem. Det som framför allt är oroande med inandningen av radon är risken för lungcancer (eller mer exakt: cancer i bronkerna). Den största faran i sig ligger inte i inandningen av radongasen, utan i det faktum att vi samtidigt får i oss de av radonets dotterprodukter (sönderfallsprodukter), som fastnat på luftens dammpartiklar. Ofta är en betydande fraktion av dessa dammpartiklar så små, att de passerar näsa och luftstrupe och når ned till de övre bronkerna där de diffunderar ut och fastnar på bronkväggarnas slemhinna. För att förstå varför sådan inandning kan bli farlig, är det nödvändigt med en kort beskrivning av lungans anatomi och varför inandade dammpartiklar kan fastna i lungans bronker. Jag hänvisar då först till figurerna 1.

Lungorna är uppdelade i 5 lober (3 i den högra lunghalvan och 2 i den vänstra). Loberna är i sin tur uppdelade i segment. Från luftstrupen utgår 2 stambronker som tillsammans med kärl och nerver tränger in genom lunghinnan vid lungroten (*hilus*). Från de två stambronkerna utgår en gren till vardera loben (lobulära bronker). Dessa grenar av "lungträdet" delar så upp sig i allt finare luftrör (segmentala bronker och bronkioler) för att sluta som alveolargångar och alveoler. Alveolerna är de små blåsor som sitter ytterst på "lungträdet" och i vilka blodet syresätts.

Insidan av bronkerna är täckt med ett lager av cylindriska celler (*pseudolagrat cylinderepitel*) med den ena av sina cirkulära ytor vänd in mot bronkrörets hålrum. Dessa ytor är täckta av flimmerhår (*cilier*) på vars toppar det ligger ett tunt, sammanhängande slemlager (se Figur 2). Slemskiktet fungerar som ett slags transportband för de i skiktet absorberade partiklarna. Genom flimmerhårens vågrörelse föres slemskikt och partiklar uppåt mot svalget där sedan partiklarna sväljas. Det här transportbandet tjänar således som ett skydd mot de skador som inandade partiklar annars skulle kunna orsaka i bronkernas vävnad.

Skulle nu de inandade partiklarna bära med sig radondöttrar, kommer bronkväggen emellertid att utsättas för bestrålning, främst från radondöttrarnas alfa-strålning.

Depositionen av dammpartiklarna sker således i allt väsentligt i det slemskikt som täcker stambronkerna och i viss utsträckning de lobulära bronkerna. Det är också i dessa områden som man hittar lungtumörerna.

När dåvarande professorn i tumörpatologi vid Karolinska sjukhuset, Lars Santesson, och jag i början av 1960-talet gick igenom Radiumhemmets histologiska material av lungcancer, fann vi att i samtliga fall där vi säkert kunde lokalisera området för tumörernas uppkomst, låg detta i stambronkerna och i några få fall i de lobulära bronkerna, närmast stambronkerna. Mestadels kan man emellertid inte säkert lokalisera platsen för lungtumörernas uppkomst – tumörerna är nämligen i regel alldeles för utbredda – men i inget fall kunde stambronkerna uteslutas som uppkomstplatser.

Men Santesson och jag fann också något annat. Avståndet i stambronkerna från slemskiktet på flimmerhåren till bronkväggarnas sk basala cellager var längre än räckvidden för radondöttrarnas alfa-partiklar, dvs den partikelstrålning som utgör den helt avgörande stråldosen till bronkernas väggar. Detta betyder att denna strålning borde vara tämligen verkningslös i de områden av bronkerna där man faktiskt hittar tumörerna. Det är nämligen närmast en dogm inom tumörbiologin, att det endast är celler vilka kan dela sig, som kan transformeras till elakartade celler (*maligna cellfenotyper*). Cylindercellerna (och bägarcellerna) har upphört att dela sig. De basala cellerna utgör ett "reservdelslager". Genom att basalcellerna förmår dela sig och utvecklas (*differentiera*) till cylinder- och bägarceller, ersätts de senare kontinuerligt då de på grund av förslitning undan för undan dör och försvinner från bronkvävnaden.

Nu har Elisabeth McDowell och medarbetare i Bethesda, USA, visat att det i bronkernas väggar även finns några typer av delande celler, som ligger närmare slemskiktet än basalcellerna och som därför kan tänkas kunna utbilda elakartade celler efter bestrålning. Vilken roll dessa celler kan spela i sammanhanget är emellertid oklart. Som visats av Kotin och medarbetare är huvudkällan för sådana celltransformationer dock säkerligen ändå de basala cellerna. De internationella dosbestämningarna görs också alltjämt i basalcellslagret.

Santesson och jag publicerade aldrig våra iakttagelser, helt enkelt därför att varken tumörernas typfrekvenser, uppkomstställen, förekomsten av skivepitelmetaplasier eller bronktjocklekar egentligen innebar något nytt. Allt detta var redan känt och kunde inhämtas i tumörpatologiska fackböcker och facktidskrifter. Samma lokalisering av tumörerna hos gruvarbetare kunde också återfinnas i rapporterna från de radonhaltiga, böhmiska gruvorna Schneeberg och Joachimsthal, där en förskräckande hög procent av arbetarna avlidit i lungcancer (Det dröjde ända till i början på

1930-talet innan man kunde fastställa att den tidigare, ofta gjorda diagnosen "*Bergskrankheit*" i själva verket var lungcancer.).

Före 1963 hade man vid dosberäkningarna inte tagit hänsyn till bronkernas anatomi. Efter det att jag i ett föredrag i Wien redogjort för bronkernas anatomi och morfologi samt påpekat, att dosen från inandade radondöttrar måste beräknas i basalcellslagret och inte som tidigare i bronkväggens ytskikt, ändrades de internationella dosberäkningarna i enlighet med påpekandet.

Men hur är en sådan dosberäkning möjlig då alfa-partiklarna inte når fram? Jo man beräknar i stället doserna i de lobulära och segmentära bronkerna på platser där luftrörens väggar är tunnare. Men detta låter ju befängt. Det är ungefär som att leta efter borttappade nycklar under gatlampan; inte därför att man tappat dem där utan därför att det är den enda plats där det är tillräckligt ljust för att man skall ha en chans att hitta dem.

Som på beställning kom rapporter från gruvorna på Coloradoplatån i USA, där det uppgavs, att majoriteten av lungtumörerna utgått från lobulära bronker. Jag har inte sett det histologiska materialet från Colorado, men jag kan konstatera, att dessa fynd i stort strider mot allt vad man tidigare sett och uppgett.

Men situationen blir en helt annan i fall där bronkernas väggar blivit skadade, t ex hos rökare, bland människor som lider av astma, kroniska halskatarrer, eller bland sådana vars bronkväggar skadats av inandade partiklar, t ex personer som drabbats av silikos (se Fig. 3).

Silikos anses inte i sig vara cancerframkallande, men de skador som inandningen av kiselhaltiga mineral kan åstadkomma i bronkerna medför att dessas basalceller kan bli exponerade för betydande stråldoser vid efterföljande inandning av radondöttrar.

Alla de här skadorna medför således, att alfa-strålningen når fram till basalcellerna samt att inandade partiklar inte förs bort utan anhopas i randzonerna till de områden som saknar celler med flimmerhår. Detta innebär att vi har fått områden där stråldosen till basalcellerna blir avsevärt högre än i intakta luftrör. För att kompensera för bortfallet av de mer ytligt belägna cellerna, ökar delningstakten hos basalcellerna, vilket gör dem ännu mer känsliga för strålningens förmåga att transformera dem till elakartade *fenotyper*.

Den oundvikliga slutsatsen blir således, att strålframkallad lungcancer är mycket beroende av andra faktorer, vilket i sin tur medför, att man inte generellt kan säga något om hur pass farligt radonet i själva verket är. För många människor med intakta luftrör förefaller radonet harmlöst – med all reservation för vad McDowell iakttagit och vad man säger sig ha funnit bland gruvarbetarna på Colorado-platån – under det att faran kan vara

betydande hos rökare och vissa gruvarbetare, åtminstone förr i tiden innan effektiv ventilation av gruvorna införts. Hur det än må vara med den saken, kan vi konstatera att rökning och andra inandade, i bronkerna skadeframkallande ämnen, avsevärt kan öka risken för att radon kan framkalla lungcancer.

Det är svårt att på ett korrekt sätt värdera resultaten av undersökningar, som omfattar exponerade befolkningar (*epidemiologiska undersökningar*). Detta gäller naturligtvis i synnerhet då människor exponerats för låga giftkoncentrationer eller för låga stråldoser. I närvaro av andra agens som har ett dominerande inflytande på den effekt man vill studera, är det principiellt omöjligt att nå någon vetskap om den betydelse som ett "ickedominant" agens kan ha i sammanhanget.

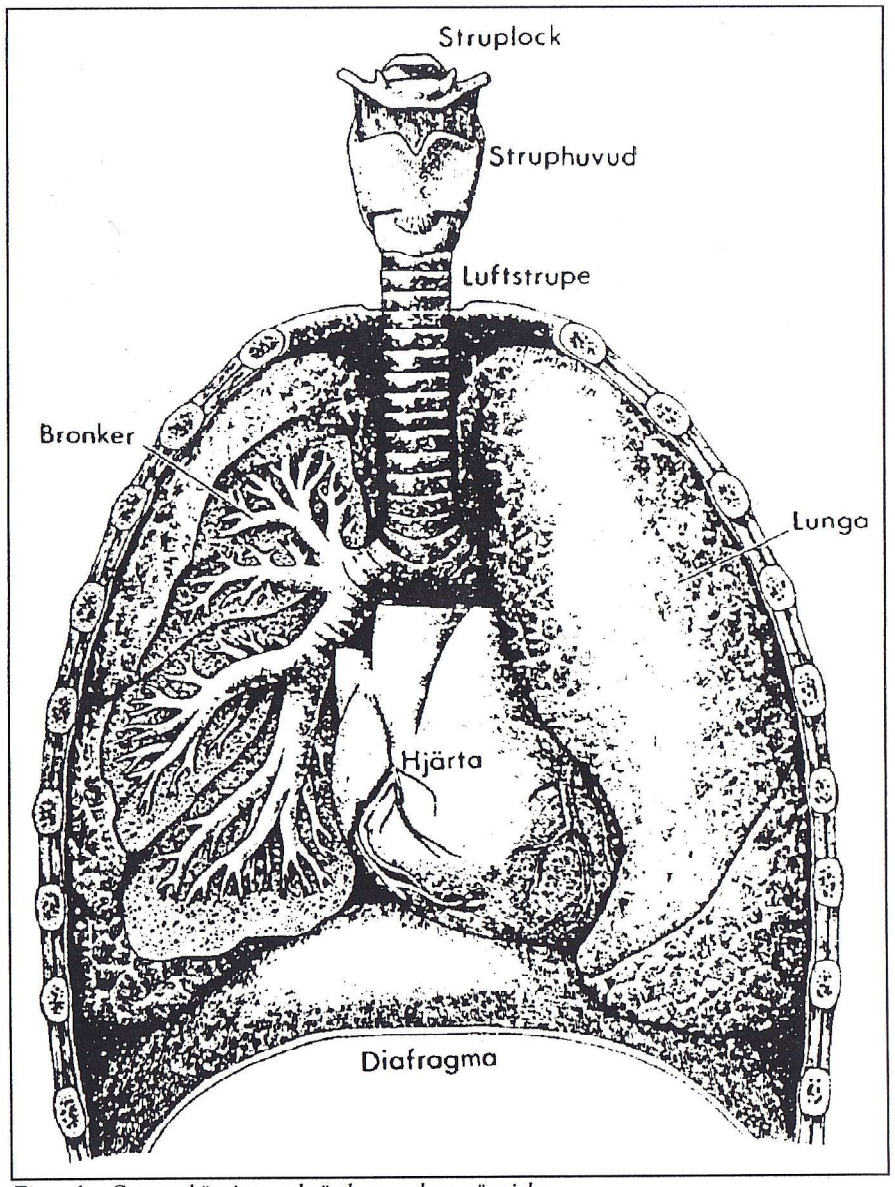
Detta konstaterande gäller i många fall då man specifikt vill veta vad just radonet kan betyda för uppkomsten av lungcancer. Det finns så många, dominant lungcancerframkallande faktorer och ämnen i vår omgivning, att radonets roll i sammanhanget helt enkelt inte kan utredas i fall där det endast är en icke-dominant faktor i riskbilden.

Problemet återspeglas i det faktum att man både i USA och Sverige fått en negativ korrelation mellan luftkoncentrationer av radon och lungcancer, dvs att frekvensen av lungcancer faktiskt minskar vid ökande radonhalter i bostadsluften. Så är exempelvis lungcancerfrekvensen lägre i Skaraborgs län än i något annat svenskt län, trots att bostadsluftens medelhalt av radon i just detta län är högre än i de andra.

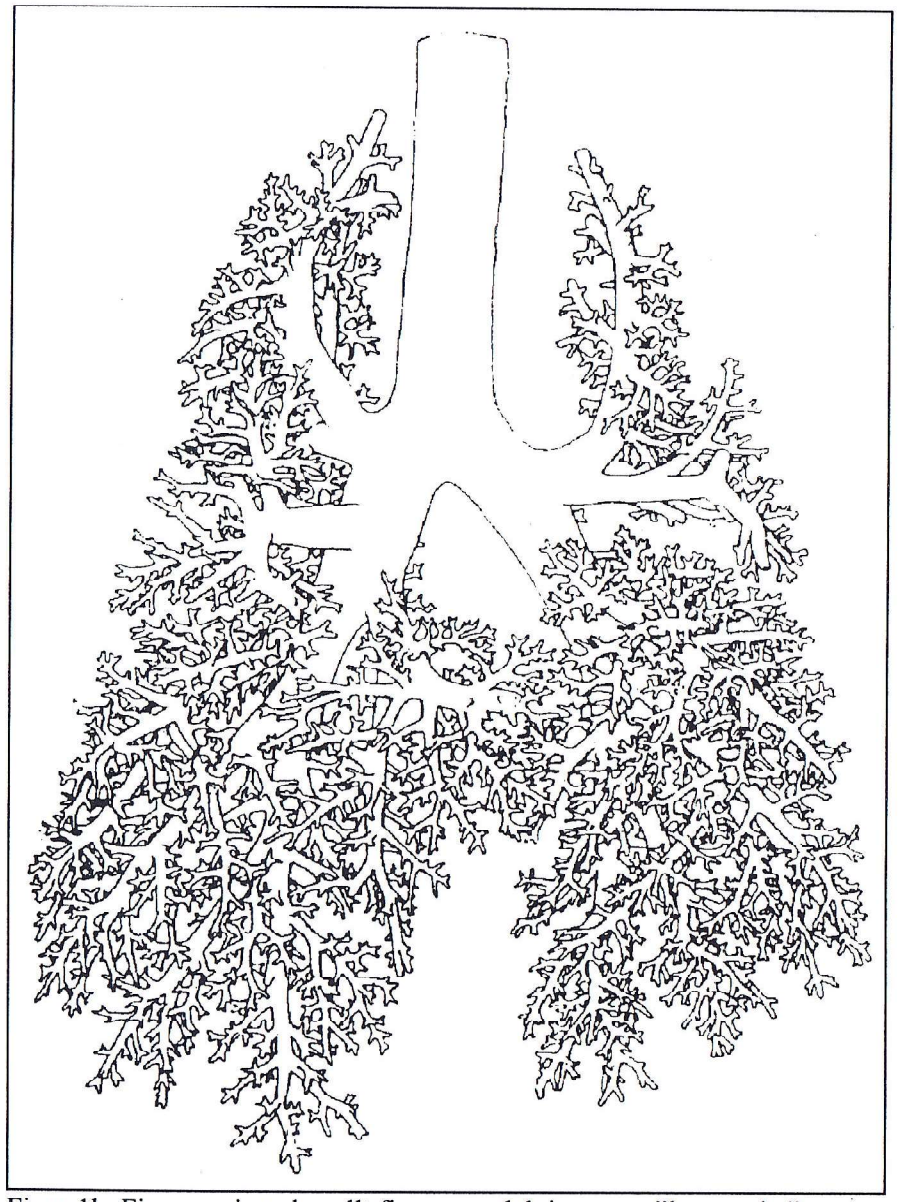
Naturligtvis kan detta inte tas till intäkt för att radon skulle minska risken för lungcancer, utan bara att det finns andra faktorer som är av större betydelse för uppkomsten av sjukdomen; dvs faktorer som ökar samtidigt med att bostadsluftens radonhalt minskar. Man har försökt korrigera för sådant inflytande av dominanta agens, men situationen är oftast alldeles för komplex för att man helt skall lyckas med detta.

Vi vet att radonet och dess dotterprodukter i höga koncentrationer kan bidra till uppkomsten av lungcancer hos personer med skadade bronker, men vi vet ingenting om radonets eventuella roll för sjukdomens uppkomst i "intakta" lungor, i synnerhet inte vid de koncentrationer av gasen som är vanliga i vår bostadsluft.

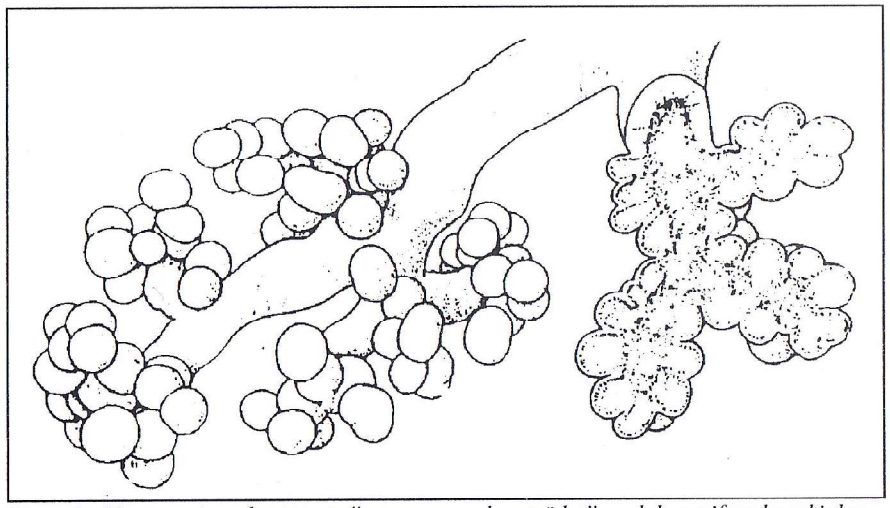
Uppgifter som lämnats om hur många fall av lungcancer i vårt land som beror på radonet i våra bostäder är således missvisande, eftersom man av såväl principiella som anatomisk-strukturella skäl inte kan ha en sådan kunskap.



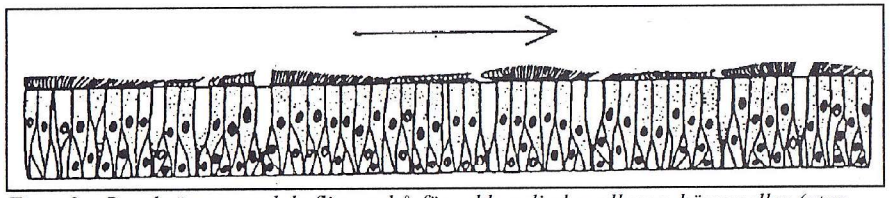
Figur 1a. Genomskärning av bröstkorgen hos människa.
I figuren kan man se stam- och lobularbronker samt början på de segmentära bronkerna. Vidare kan man se den högra lunghalvans tre och den vänstra lunghalvans två lober.



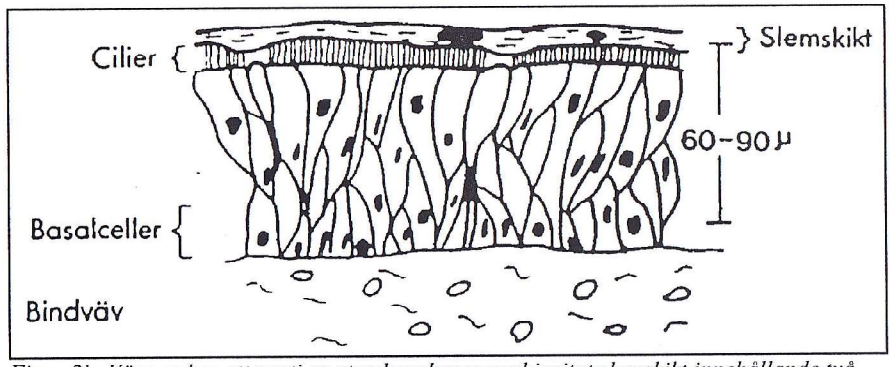
Figur 1b. Figuren visar den allt finare uppdelningen av "lungträdet".



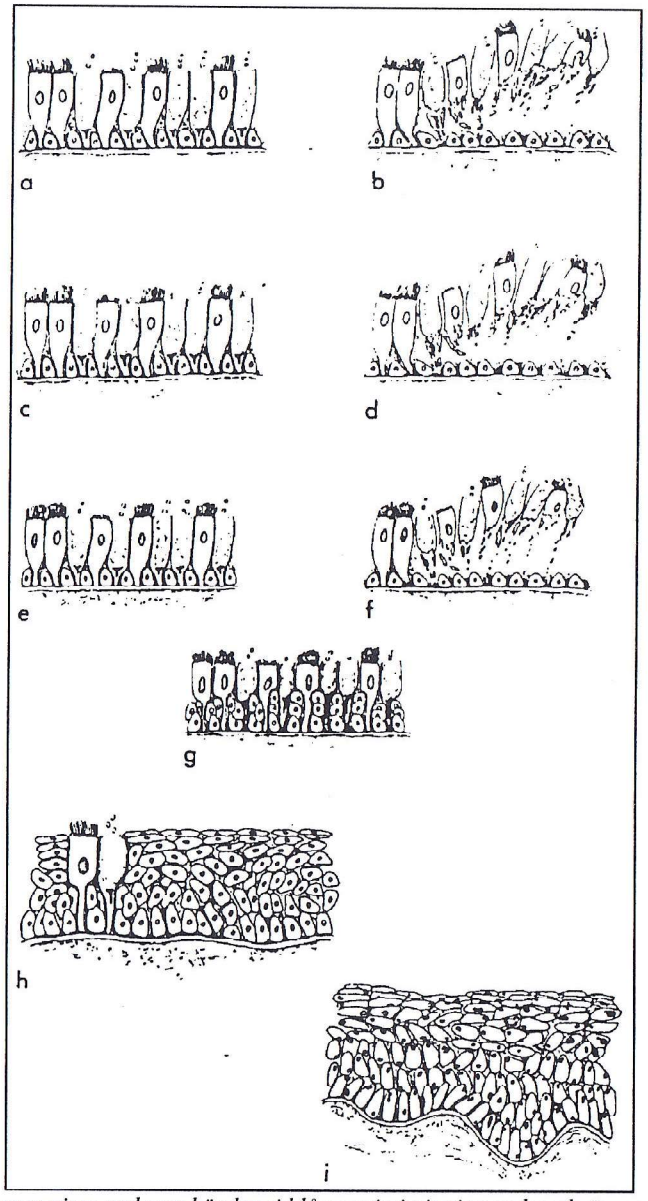
Figur 1c. Figuren visar de yttersta "grenarna av lungträdet" med de perifera bronkiolerna, alveolargångarna och alveolerna (dvs lungblåsorna där blodet syresätts).



Figur 2a. Bronkväggen med de flimmerhårförsedda cylindercellerna, bägarceller (utan flimmerhår) och - nederst - de basala cellerna. Pilen visar slemskiktets (ej utritat) rörelse upp mot svalget.



Figur 2b. Väggen hos ett parti av stambronkerna med inritat slemskikt innehållande två partiklar. Det uppgivna avståndet mellan slemskikt-partiklar och basalceller är här (i stambronkerna) längre än räckvidden hos de av radonets dotterprodukter som är av störst betydelse vid dosberäkningar.



Figur 3. Figuren visar vad som händer vid långvarig irritation av bronkväggarnas celler. Notera hur lösrivningen av cylinderceller (med flimmerhår) och bägarceller så småningom leder till en ökning (och ökad celldelningstakt) hos basalcellerna, vilka slutligen förlorar förmågan att differentiera ut till normala cylinder- och bägarceller. Det bildas skivliknande celler av samma typ som man kan finna i överhuden (skivepitelmetaplasi). (Efter Kotin och medarbetare. Am. Rev. Resp. Dis. Suppl. 93 , 1966, 115.)

Olyckorna vid Harrisburg och Tjernobyl

Kärnkraftolyckorna vid Three Mile Island (Harrisburg) och Tjernobyl har länge haft en framskjuten plats i debatten. En stor del av denna debatt har präglats av osaklighet, myter och fördomar som inte stämmer med verkligheten. För att i någon mån balansera detta har vi valt att här återge den beskrivning av de två olyckorna som publicerades i Energikommissionens slutbetänkande (SOU 1995:140, Underlagsbilaga 31, Bilaga 2) samt ett brev från Strålskyddsinstitutets generaldirektör, Lars-Erik Holm, till Sveriges Television efter TV-dokumentären "Och stjärnans namn var malört". Denna dokumentär, som sändes vid tre tillfällen, fick ett starkt genomslag i media och bidrog därigenom ytterligare till mytbildningarna kring kärnkraften.

Hans Pedersen Dambo

Three Mile Island - 1979

Reaktor 2 i Three Mile Island nära Harrisburg i USA var en tryckvattenreaktor som kunde producera 880 MW elektrisk effekt. Den startades första gången i mars 1978. Exakt ett år senare den 28 mars 1979 inträffade ett oväntat stopp. Under ett arbete på reningssystemet kom vatten genom ett missöde in i ett tryckluftsystem. Det medförde att matarvattenpumparna till ånggeneratorerna stannade. Reaktorn snabbstoppade automatiskt som den skulle och värmeutvecklingen gick snabbt ner till resteffekt. Som ett led i denna händelse öppnades en avblåsningsventil för att minska ett tillfälligt övertryck i systemet. Så långt reagerade alla säkerhetssystem normalt på den utlösande händelsen.

Avblåsningsventilen skulle stänga när trycket i primärsystemet nått normala värden. Ventilen fastnade emellertid i öppet läge. Det observerades inte av operatörerna eftersom man inte kunde se på manöverpanelen

om ventilen var öppen eller stängd. Genom avblåsningsventilen strömmade vatten ur primärsystemet. Till följd av förlusten av vatten och tryck i primärsystemet började reaktorn koka, vilket är ett onormalt tillstånd för en tryckvattenreaktor. Eftersom man inte visste att ventilen var öppen sökte operatörerna en annan förklaring till att reaktorn betedde sig onormalt. Ånga från det kokande vattnet i reaktortanken pressade upp vattennivån i en högre liggande trycktank. Detta tolkades felaktigt av operatörerna som om reaktorhärden var väl täckt med vatten. Eftersom man inte ville överfylla systemet ströp operatörerna tillflödet av vatten till härden genom att stänga högtryckspumparna som ingår i nödkylsystemet. I själva verket började vattennivån sjunka under härdtoppen och under 45 minuter avtäcktes stora delar av härden. Gasformiga radioaktiva ämnen, främst ädelgaser och jod frigjordes från bränslet och kom ut i reaktorsystemet och så småningom i reaktorinneslutningen. 2 timmar och 20 minuter efter den inledande händelsen upptäckte en operatör den öppna avblåsningsventilen och stängde en blockeringsventil som stoppade utflödet av vatten från primärsystemet.

Stor osäkerhet rådde nu om läget i reaktorn. Orsaken var främst att primärsystemet var fyllt med vätgas och radioaktiva ädelgaser. Därigenom misslyckades man med att få igång kylvattencirkulationen. Man försökte då sänka trycket genom avblåsning via tryckhållningstanken. Försöket misslyckades men ledde till att stora mängder vätgas och radioaktiva ädelgaser släpptes ut i reaktorinneslutningen. Detta ledde efter drygt nio timmar till en kort och häftig vätgasbrand i inneslutningen. Sexton timmar efter snabbstoppet lyckades man starta en huvudcirkulationspump och därefter var härdkylningen aldrig allvarligt äventyrad (SOU, 1979; Mosey, 1989).

En första uppfattning av härdskadorna fick man 1982 när man för första gången kunde skicka ner en TV-kamera i reaktortanken. Man kunde då se att övre delen av härden hade smält ner. När upprensningsarbetet började fann man att stora delar av smältan hade samlats i en klump längre ner i härden. Senare upptäckte man att stora mängder smält material runnit ner till botten av reaktortanken. Överraskande var att härdsmältan inte hade gått igenom tanken. Det tyder på att någon ännu okänd process gör att vattentäckt härdsmälta inte påverkar reaktortanken så mycket som man tidigare trott. Exakt hur stor marginalen till ett tankbrott var är ännu inte klarlagd. (Pettersson, 1995).

Genom att reaktorn var försedd med en tät inneslutning kom endast en liten del av de radioaktiva ämnen ur reaktorhärden ut i omgivningen.

Mindre än 10 procent av de radioaktiva ädelgaserna och en mycket liten mängd radioaktiv jod (två tiomiljondelar) frigjordes till omgivningen. Till helt övervägande del fångades den radioaktiva joden upp av vattnet i reaktorsystemet och inneslutningen. Den högsta stråldosen till någon en-

skild individ utanför anläggningen blev ca 0,7 mSv, vilket är mindre än årsdosen från den naturliga bakgrundsstrålningen. Omkring 260 personer beräknas ha fått mellan 0,2 och 0,7 mSv. Alla övriga fick troligen doser under 0,2 mSv. (SOU, 1979). Kollektivdosen till allmänheten uppskattas till ca 20 manSv, vilket betyder att högst något enstaka cancerfall kan inträffa bland allmänheten på grund av olyckan.

Inom tre mil från kraftverket bor ca 650.000 människor. Två dagar efter den inledande händelsen rekommenderade delstatens guvernör frivillig utrymning för barn och gravida kvinnor från området närmast kärnkraftverket. Detta gav upphov till att mer än 140.000 personer lämnade sina hem för kortare eller längre tid. Studier som gjorts efter olyckan har visat att den allvarligaste hälsoeffekten av haveriet var svår psykisk stress.

I Sverige ledde olyckan till folkomröstning om kärnkraften och effektivare beredskap för en eventuell svensk kärnkraftolycka. Under 1980-talets senare hälft byggdes stora filteranläggningar vid de svenska kärnkraftverken i syfte att begränsa utsläppen av de radioaktiva ämnen som kan ge markbeläggning vid en olycka

Tjernobyl - 1986

Den hittills värsta reaktorolyckan inträffade i Tjernobyl i Ukraina den 26 april 1986. Tjernobyl ligger ca 10 mil norr om Kiev. När olyckan inträffade fanns fyra reaktorer i drift och ytterligare två (nu övergivna) var under uppförande. Den havererade reaktorn, nr 4, startades i slutet av 1983. Tjernobylanläggningen hade fått pris för hög elproduktion och beskrivits som Sovjets "flaggskepp bland kärnkraftverken".

Tjernobylreaktorerna är grafitmodererade lättvattenkylda reaktorer med beteckningen RBMK-1000. Samma reaktortyp finns i Ignalina i Litauen och i Sosnovy Bor utanför St Petersburg. Den termiska effekten är 3200 MW, vilket ger en elektrisk effekt på 1000 MW. Reaktortypen har en speciell egenhet när det gäller att reglera effekten. Vid högt effektuttag fungerar reaktorn så att en liten ökning eller minskning av reaktiviteten blir självbegränsande och reaktorn går stabilt. Vid lågt effektuttag, däremot, kommer en förändring i reaktiviteten att självförstärkas och reaktorn blir instabil och svår att kontrollera. Detta sker om effekten är lägre än 20 procent, dvs under 700 MW termisk effekt. Enligt säkerhetsbestämmelserna får reaktorn därför inte köras med låg effekt.

Det som utlöste katastrofen var en test av ett spänningsregleringssystem som skulle göra det möjligt att driva nödkylsystemet även om all elström till anläggningen försvann. Testningen skulle egentligen ha gjorts när re-

aktorn togs i drift första gången, men eftersom det skedde på nyårsafton hade man uppskjutit det hela och anläggningen hade körts igång fastän säkerhetskraven inte var uppfyllda.

Testet gick ut på att visa att den kvarvarande turbinkraften efter ett snabbstopp var tillräcklig för att få elström till nödkylpumparna under den tid, ca 35 sekunder, som det skulle ta att starta dieselmotorerna till reservkraften. Planerna var att genomföra testet vid 22 - 32 procents effektnivå i samband med att reaktorn skulle ställas av för normal översyn. Vid denna nivå går reaktorn fortfarande stabilt.

Nedtagningen av reaktoreffekten började kl 01:00 den 25 april. Tolv timmar senare hade man nått 50 procents effekt och man kunde stänga av en av de båda turbinerna som var ansluten till reaktorn. Samtidigt fick man önskemål från nätkontrollören i Kiev om att fortsätta köra på samma effektnivå eftersom en annan kraftstation hade fallit bort. Testningen fördröjdes därför ca 12 timmar. Kl 00:28 den 26 april fortsatte man nedtagningen av effekten, men genom ett operatörsmisstag sköt man in för många kontrollstavar. Det fick till följd att effekten snabbt minskade till ungefär en procent – ett resultat av reaktortypens instabilitet i lågeffektområdet. Att nu direkt öka effekten från denna låga nivå är mycket svårt därför att härden efter en snabb effektminskning innehåller mycket xenon-135 som producerats vid den tidigare höga effekten. Xenon-135 absorberar neutronerna (s.k. xenonförgiftning) och förhindrar effektökningen. Normalt måste man därför vänta tills xenon-135 har sönderfallit innan man kan starta reaktorn igen. Detta gjorde man inte, utan operatören försökte få upp neutronflödet och effekten genom att dra ut styrstavar. Kl 01:00 den 26 april hade operatören lyckats få upp effekten till 7 procent. Men på grund av xenonförgiftningen hade detta skett på bekostnad av att man drog ut fler styrstavar än vad som var tillåtet enligt säkerhetsbestämmelserna. Man låg därmed under den angivna säkerhetsmarginalen för reaktorn.

Reaktorn arbetade nu i ett mycket instabilt område där en eventuell reaktivitetsökning skulle ge en ökning av effekten. Effektökning skulle i sin tur ge ytterligare reaktivitetsökning som skulle öka effekten ännu mera osv. Detta innebär att reaktorn var mycket instabil. Ångproduktionen var vid tillfället mycket låg. För att förhindra att säkerhetssystemet skulle snabbstoppa reaktorn och omintetgöra testet kopplade operatören bort det automatiska snabbstoppet.

Man ansåg nu att reaktorn var tillräckligt stabil för att genomföra testet. Kl 01:23:04 stängde operatören ångflödet till den återstående turbinen för att den skulle minska fart enligt det fastställda programmet. Normalt skulle reaktorn ha snabbstoppat när ångflödet stängdes av, men operatören hade låst kopplingen till snabbstoppsystemet för att kunna återupprepa testet om det inte skulle fungera första gången. 26 sekunder senare började

ångproduktionen öka i reaktorn på grund av att turbinen stängts av och det heta vattnet återcirkulerade till reaktorn. Genom det plötsliga tillflödet av hett vatten i stället för ånga ökade flödet av neutroner som kunde orsaka kärnklyvning. Den positiva reaktivitetsåterkopplingen gjorde att reaktoreffekten snabbt ökade och reaktorns sista sekunder var nu nära. Efter tio sekunder inser skiftingenjören faran och trycker på stoppknappen för att starta motorerna som skall skjuta in alla styrstavarna i reaktorn. Men det var för sent. Fyra sekunder senare rusar effekten till hundra gånger den maximalt avsedda – 300.000 MW. Reaktorn exploderar av ångtrycket och det 1000 ton tunga reaktorlocket lyfter och vrider sig ett kvarts varv. Därmed förstörs alla ångtuber och reaktorhärden friläggs. Ett par sekunder senare hörs en andra explosion och ett fyrverkeri av glödande fragment kastas ut från reaktorn och hamnar på intilliggande byggnader och på marken. Luften får fritt tillträde och reaktorn brinner. Det börjar också brinna i byggnader och på tak på flera andra platser dit glödande fragment kastats vid explosionen. Klockan fem på morgonen hade brandkåren lyckats släcka de flesta bränderna utom den i reaktorhärden.

Under de följande dagarna försökte man släcka branden genom att från helikoptrar dumpa omkring 5000 ton av olika material över den brinnande reaktorn. Totalt släppte man ner 40 ton borhaltiga ämnen, 2400 ton bly, 1800 ton sand och lera, 600 ton dolomit, trinatriumfosfat och polymeriserande vätskor. Detta fortsatte man med under drygt en månads tid. Det är emellertid oklart hur stor effekten verkligen var. Senare undersökningar har visat att bara en mindre del av materialet hamnade över den frilagda härden. Det mesta bildade högar upp till 15 m höjd i den förstörda reaktorhallen (Buzulukov och Dobrynin, 1993).

Två personer som arbetade med reaktorn dog omedelbart. Sammanlagt 30 personer dog ganska snart efter olyckan på grund av de strålskador som de ådrog sig under de många heroiska insatserna för att släcka bränderna (Nugis och Konchalovskii, 1993).

De 49.000 invånarna i staden Pripyat, 3 km från reaktorn, evakuerades den 27 april. Den 2 och 3 maj evakuerades 11.000 invånare inom 10 km avstånd. Ytterligare 42.000 invånare evakuerades inom 30 km avstånd mellan den 4 och 7 maj.

Utsläppet av radioaktiva ämnen pågick under 10 dygn innan man lyckades släcka branden och stoppa frigörelsen av radioaktiva ämnen den 6 maj. I efterhand har man beräknat att alla radioaktiva ädelgaser, 50 - 60 procent jod-131, drygt 30 procent cesium-137 och ca 4 procent strontium-90 frigjordes ur härden och kom ut i atmosfären (Buzulukov och Dobrynin, 1993). De radioaktiva ämnena spreds över Ukraina, Ryssland och Vitryssland och stora delar av Europa. Den radioaktiva plymen steg initialt till 1200 m och drev med vindarna mot Sverige och Finland (Persson et al 1986, UNSCEAR, 1988).

I Sverige registrerades den första svaga dosratökningen vid SSI:s fasta mätstation på Ölands södra udde den 27 april klockan fem på morgonen. Då hade en första del av plymfronten passerat över Östersjön. En kraftig dosratökning registrerades på kvällen mellan kl 20 och 24. Detta har kunnat konstateras i efterhand från registreringar på stationens skrivare (Kjelle, 1986). Mätstationen hade vid den tiden inget automatiskt larm utan det var först på morgonen den 28 april som de radioaktiva ämnena upptäcktes på marken i Forsmark. Under några timmar trodde man att den radioaktiva föroreningen berodde på någon okänd källa vid kärnkraftverket i Formark. På eftermiddagen kunde SSI med hjälp av FOA:s mätningar konstatera att utsläppet kom från en reaktor i östblocket.

I Sverige hamnade det kraftigaste nedfallet omkring Gävle och längs kusten upp till Umeå och i Västernorrlands län genom att de radioaktiva ämnena tvättades ut med regn. De högst belagda områdena fick omkring 100 - 200 kBq/m^2 av cesium-137. Den högsta stråldosen som någon enskild individ i Sverige kunde få uppskattas till 6 mSv under det första året. I genomsnitt fick svenska folket mindre än 0,1 m Sv under det första året efter olyckan (Edvarson, 1991). SSI räknar med att ca 500 cancerfall kommer att inträffa i Sverige under en 50-årsperiod till följd av olyckan. Av dessa får ca 300 dödlig utgång.

Myndigheterna i olika länder vidtog åtgärder för att minska stråldosen till befolkningen. I Sverige utfärdades betesförbud för att begränsa överföringen av radioaktiv jod från betesgräs till mjölk. Livsmedelsrestriktioner infördes för att minska stråldosen från jod och cesium. SSI rekommenderade vissa åtgärdsnivåer för jod och cesium som inte fick överskridas för att tillåta bete och försäljning av livsmedel. Ett omfattande mätprogram startades för att kartlägga beläggningen av radioaktiva ämnen på marken och följa upptaget av dessa i livsmedel (Hägg, 1990). Efter kontrollmätningar av betesgräs kunde man efterhand lätta på betesrestriktionerna. De flesta livsmedel visade sig ha aktivitetsvärden långt under åtgärdsnivåerna med undantag av cesium i renkött, vilt, fisk och svamp från de områden som fått hög markbeläggning. Kontrollmätningar på dessa livsmedel fortgår ännu idag.

Varför inträffade olyckan? Det var inget fel på utrustningen. Den utlösande händelsen var det mänskliga misstaget att skjuta in för många styrstavar så att reaktoreffekten minskade alltför snabbt och hamnade under tillåten nivå. Operatörerna bröt sedan mot säkerhetsbestämmelserna genom att fortsätta köra reaktorn på den låga nivån där den var instabil. Avsikten var att genomföra testet av spänningsregulatorn oberoende av vad som hände. Detta krävde bortkoppling av säkerhetssystemen och ytterligare brott mot säkerhetsbestämmelserna. En av orsakerna till att man nödvändigtvis ville genomföra testet var att möjligheten bara uppstod en gång per år och att det egentligen skulle ha gjorts när reaktorn togs i drift första

gången. Tidpunkten på dygnet kan också ha bidragit till att omdömet klickade. Det hade blivit tolv timmars försening på grund av att man behövde extra energi i elnätet. Dessutom var det veckohelg och mitt i natten.

Liknade tester av spänningsregleringen hade gjorts vid andra anläggningar och det hade gått bra. Skillnaden i Tjernobyl var att man körde reaktorn på för låg effekt. I ett försök att öka effekten drog man ut så många styrstavar så att marginalen för att kunna reglera den låg vida under den tillåtna. Det verkade som om operatörerna glömt allt säkerhetstänkande. Olyckan berodde inte bara på att säkerhetskulturen var undermålig. Organisationsstrukturen spelade säkert en avgörande roll. Den komplicerade beslutshierarkin gjorde det så gott som omöjligt att genomföra väldefinierade och auktoritativa säkerhetsanalyser. Ingen vågade eller ville meddela problem och säkerhetsbrister uppåt i organisationen.

Brev till Sveriges Television 20 november 1996

Redaktionschef Otto Fagerstedt
Dokumentärfilmredaktionen
Sveriges Television AB
10510 Stockholm

Dokumentären "Och stjärnans namn var malört"
Sänd i TV 2 den 14, 16 och 20 november.

Ordet strålning är för många personer ångestladdat. Statens strålskyddsinstitut (SSI) har som uppgift att skydda människor mot farlig strålning, men också att öka kunskapen om strålningens förekomst och risker så att flertalet kan hantera dess risker på ett bättre sätt.

Utsläpp från kärnkraftanläggningar mäts kontinuerligt. Det är omöjligt för ett kärnkraftverk att släppa ut "strålning" (i själva verket radioaktiva ämnen) utan att detta upptäcks. I Östersjön kan man mäta mycket små radioaktiva utsläpp som skett för länge sedan vid Sellafield på Englands västkust; så förfinade är mätmetoderna för radioaktiva ämnen. Den "mystiska" strålningen är en av de föroreningar i miljön som är lättast att mäta med instrument.

I TV-dokumentären "Och stjärnans namn var malört" finns många uppgifter som är klart felaktiga och som förstärker vanliga myter om utsläppen efter olyckorna i kärnkraftverken i Tjernobyl i Ukraina och Three Mile Island (TMI) i USA. En sådan myt handlar om antalet cancerfall hos befolkningen nära TMI. Cancerfrekvensen är inte högre där än på annat håll i USA. Många människor dör av cancer i Harrisburg, liksom i övriga USA, men dessa fall har inget med utsläppen från kärnkraftverket att göra. Området runt TMI-kraftverket kontrolleras extra noga av amerikanska myndigheter. De kontinuerliga utsläpp som påstås ske i dokumentären kan lätt tillbakavisas. Ett stort utsläpp som skulle ha skadat ett träd, hade också lämnat lätt observerbara spår efter sig i form av en förhöjd sjuklighet och på sikt dödlighet i cancer bland människor.

Det är också en myt att missbildningar hos djur och människor ökat på grund av utsläpp i Tjernobyl och TMI. Åtskilliga rapporter visar att missbildningarna inte ökat. Vidare antyds att spökstaden Pripyat nära Tjernobyl måste vara obeboelig i 24.000 år. Det är illa nog att staden troligen inte kommer att kunna bebos på ett hundratal år.

Av de recensioner som införts om TV-programmet i bl a Dagens Nyheter och Svenska Dagbladet ser vi att de myter som spritts i dokumentären om strålningens verkan har uppfattats som verkliga av journalister i dessa tidningar.

Strålning kan vara farligt. Radonhus och solen är strålkällor som det är svårt att få människor att skydda sig mot och som orsakar ett tusental cancerfall per år i Sverige. Dessa cancerfall kan jämföras med de cirka 300 dödsfall i cancer under loppet av 50 år som SSI teoretiskt uppskattar kan inträffa till följd av det radioaktiva nedfallet över Sverige från Tjernobyl. Forskarna har ännu inte upptäckt någon förhöjning av cancer orsakad av Tjernobyl, med undantag av sköldkörtelcancer hos barn i Vitryssland, Ukraina och Ryssland. Antalet fall har ökat kraftigt sedan olyckan. Detta är som tur är en cancerform som oftast kan botas.

Det är till och med svårt att upptäcka en förhöjd cancerfrekvens hos de japaner som fick mångdubbelt större doser av strålning av atombomberna 1945, jämfört med dem som bodde nära Tjernobyl 1986. Några ärftliga skador från strålning hos människor har inte kunnat observeras efter atombomberna i Japan.

Myterna om strålning är intressanta att diskutera. Dokumentären är därvid ett utmärkt basmaterial för en diskussion. Enligt SSI:s åsikt borde en sådan diskussion ha skett i samband med att dokumentären sändes.

Vänligen

Lars-Erik Holm

Folktro förr och nu

Carl-Erik Fröberg

Det moderna samhället uppvisar en stor komplexitet som medför att officiella organ inte gärna kan äga omedelbar kunskap om allt. Denna kunskapsbrist måste kompenseras genom att man replierar på personer som antingen är experter eller som påstår att de är det, och pendeln kan i det senare fallet svänga mellan vanlig okunnighet och vidskepelse. Den senare varianten är ofta underhållande men kan vara svår att komma till rätta med – folktron får man inte driva med! Vi tar dock risken att ge några belysande exempel.

Lagstiftning om π

Vi börjar med en sann berättelse från den amerikanska delstaten Indiana där senatsledamoten T I. Record från Pousy County, sannolikt i samband med yt- och längdberäkningar i lantmäteriet, kommit att fundera över cirkelns omkrets och yta. Som bekant är båda dessa storheter nära kopplade till ett tal π (pi) som anger förhållandet mellan cirkelns omkrets och diameter med det ungefärliga värdet 3.14159. Hans tänkande resulterade så småningom i att han föreslog en lag (House Bill No. 246, 1897) där han rentav angav flera värden på π. Ett resultat erhölls från en ytbetraktelse och gav värdet $\pi = 4$ (!) medan ett annat kopplades till längden av en viss korda och ledde till $16\sqrt{2}/7 = 3.232$. I förbifarten får vi också veta att förhållandet mellan diagonalen och sidan i en kvadrat är $10/7 = 1.42857$ vilket inte är så tokigt då det korrekta värdet är $\sqrt{2} = 1.41421$.

Då lagen föreslogs i House of Representatives remitterades den till Committee on Swamp Lands (alltså utskottet för sumpmarker!), tydligen av en tjänsteman med humoristisk läggning som samtidigt antydde hur han uppfattade innehållet. Denna kommitté tyckte emellertid inte att lagen hörde till deras ansvarsområde och skickade den i stället till Committee of

Education som yrkade bifall, och det blev också beslutat med 67 röster mot 0.

I senaten väntade emellertid ett grymmare öde. Där remitterades nämligen lagen till Committee of Temperance (Nykterhetskommittén), troligen genom samma intelligente tjänsteman. Den passerade första läsningen, men sedan tycks någon ha skvallrat och i andra läsningen avslogs den med stor entusiasm.

Den ursprunglige förslagsställaren hade emellertid inte bara klarat av talet π (med två olika svar!) utan även löst de gamla olösliga problemen om vinkelns tredelning, kubens fördubbling och cirkelns kvadratur. Det är inte särskilt överraskande att dessa problem tilldragit sig stor uppmärksamhet. För c:a 25 år sedan hade vi även i Sverige en hel rad glada amatörer i denna bransch och många skickade sina förslag till mig. Då man på förhand visste att lösningen måste innehålla något fel gällde det "bara" att söka finna det vilket inte alltid var så lätt.

Olösta problem

Existensen av en hel rad mer eller mindre olösta problem utövar naturligtvis en stor lockelse på många lekmän, och det händer faktiskt att originella förslag till lösningar ser dagens ljus. I flertalet fall blir dock resultatet en stor flopp, vanligen därför att problemlösaren arbetar på en alltför primitiv nivå. Man kan jämföra situationen med något man ibland ser på en idrottsarena då en överförfriskad åskådare hoppar ner på planen med avsikt att slå in det avgörande målet (eller slå domaren på käften!).

Det är faktiskt uppseendeväckande att vi under de senaste 10-15 åren fått bevittna lösningen av två klassiska problem som i viss utsträckning varit kända även för lekmän, nämligen fyrfärgsproblemet och Fermat's stora sats. I det förra fallet gäller det att bevisa att varje karta kan färgläggas med högst fyra färger så att inga länder som gränsar till varandra får samma färg. Det senare problemet härrör av den store matematikern Fermat som i mitten av 1700-talet trodde sig ha knäckt det. Han gjorde en anteckning i en geometribok av Euklides att han funnit ett i sanning underbart bevis men att det tyvärr inte fick plats därför att marginalen var för smal! Man är numera enig om att han måste ha gjort ett fatalt misstag.

Det intressanta är emellertid att båda dessa sentida bevis, som f.ö. granskats av bästa tänkbara expertis, är utomordentligt svåra och bl.a. kräver omfattande datorberäkningar medan innehållet i satserna är begripligt även för lekmän. Detta illustrerar att till synes enkla problem kan vara mycket svåra att lösa. Då fyrfärgsproblemet hade lösts högtidlighölls den-

na händelse i lösarens hemstad där man på stora banderoller kunde läsa: "Four colors suffice!" Man lät rentav trycka ett speciellt frimärke, en ytterst ovanlig åtgärd för att fira en matematisk insats!

Alternativa Nobelpris

Det är inte särskilt överraskande att också Nobelprisen kommit i blickfånget. Som bekant är förslagsrätten i detta fall starkt begränsad och endast personer och organisationer med kompetens att lämna förnuftiga och välmotiverade förslag kan här komma i fråga. Man har också instiftat alternativa pris, både seriösa och skämtsamma. I den senare gruppen kan vi urskilja några som utdelas vid MIT för att häckla de galnaste prestationerna inom vetenskapen. Dessa är ofta beskrivna i uppsatser som publicerats i The Journal of Irreproducible Results. Vid ceremonin är mottagarna klädda i frack, löjliga hattar samt lösnäsor. Ett år gick kemipriset till en person som i tidskriften Nature 1988 publicerat ett arbete där han föreslog att vanligt vatten ägde en minnesfunktion beträffande vilka substanser som varit lösta i det. Utbildningspriset gick till en känd politiker, karakteriserad som "consumer of time and occupier of space". Vad fysikpriset beträffar kan nämnas att även den kalla fusionen lär ha varit på tapeten!

Slagruta, Curry-kryss, jordstrålning och flygande tefat

I Sverige finns en förening "Vetenskap och Folkbildning" som varje år delar ut ett pris till "Årets folkbildare" och ett pris till "Årets förvillare". Det senare gick 1995 till en känd Stockholmsdocent som sysslar med slagrutor, Currylinjer, Hartmannlinjer och jordstrålning. Och nu är vi på minerad mark ty var och en vet naturligtvis att man vid brunnsgrävning letar efter vattenådror med slagruta liksom att sömnlöshet beror på att man råkat ställa sängen i ett Curry-kryss! Somliga tyska läkare anser rentav att man i en sådan situation riskerar att få cancer. Alla dessa linjer kan bara upptäckas av speciella kloka gubbar med lång utbildning på slagruta eller s.k. sökvinkel. Och så vågar vi likväl påstå att det hela är humbug! Vi behöver väl inte nämna att målsmännen för dessa fenomen givetvis har beretts tillfälle att i TV oemotsagda propagera för sina läror! Sanningen står däremot nästan konstant på undantag!

Man kan emellertid undersöka dessa fenomen med statistisk metodik. Rolf Manne, svensk professor i teoretisk kemi vid universitetet i Bergen, hade noterat att fjällräddningsfolk vid lavinolyckor använde slagruta för att hitta offren och han initierade praktiska försök för att utröna om det fanns någon realitet bakom. Resultatet var kort och gott att utfallet kunde förklaras i statistiskt slumpmässiga termer. Ingen kom närmare målet än 5 meter och medelfelet var hela 19 meter. Han har sedan utfört försök med personer som menade att de med slagrutehjälp kunde avgöra huruvida skyddsanordningar mot jordstrålning var till- eller frånslagna, eller i vilken av 10 lådor det fanns en silversked. Ingen fick annat än rent slumpmässiga resultat! När de fick veta vad svaret skulle bli lyckades de till 100 procent! Man kommer att tänka på Alice in Wonderland där Hjärter Kung gör ett uttalande som inte medför några reaktioner från folket. "Det var en vits", säger kungen och då skrattade alla!

Numera anser man att fenomenet väsentligen ligger på det psykologiska planet genom att man håller slagrutan i ett mycket instabilt läge medan man samtidigt har en stark förväntan att få ett visst utfall (ideomotorisk respons). Att man som regel tycks få vatten efter anvisning av slagrutemän torde bero på att man får vatten nästan överallt i Skandinavien, bara man gräver tillräckligt djupt! Om det funnes någon realitet bakom jordstrålningen så skulle det också vara möjligt att detektera densamma med vanliga fysikaliska metoder.

Till årets förvillare för 1996 utsågs kommittén för det alternativa nobelpriset eftersom man bl.a. belönat en homeopat. Denna lära bygger ju på att vissa läkemedel späds ut i vatten tills det inte finns en enda molekyl kvar! Det finns naturligtvis inget som helst vetenskapligt stöd för att metoden skulle fungera.

Perpetuum mobile

Iden att generera energi ur intet är gammal och många konstruktioner har sett dagens ljus. En enkel modell består av en lodrät cirkulär skiva som kan rotera kring en horisontell axel. Vid skivan är fästa metallslingor i form av sexor placerade nära randen på skivan. Om skivan snurrar ett halvt varv övergår sexorna till nior, och det är uppenbart att dessas tyngdpunkt automatiskt har intagit ett högre läge och att vi därför vunnit energi!

Men man har också tänkt ut subtilare metoder. Man utgår från en viss volym havsvatten och låter en del av vattnet avkylas medan den vunna energin går till uppvärmning av den andra delen. Denna typ av konstruktion går under namnet perpetuum mobile av andra slaget, och den kan va-

ra ganska svår att avslöja. Nu utgör energiprincipen en av fysikens grundlagar, och den förnekar existensen av ett perpetuum mobile av såväl första som andra slaget. Detta hindrar naturligtvis inte glada konstruktörer från att likväl försöka finna en lösning.

För ett tiotal år sedan meddelade våra etermedia att en amerikan utfört en sofistikerad konstruktion påminnande om en transformator där man skickade in ström i en stor primärspole av koppar och fick ut mera elektrisk energi från sekundärsidan! Detta lät ju för bra för att vara sant och föranledde ett av våra ledande kraftbolag att skicka över delegation till USA! Det är minsann inte var dag som en ny konstruktion av perpetuum mobile annonseras och t.o.m. av första slaget! En av mina kolleger blev upprörd och lyckades få kontakt med en av dem som skulle fara. Jo, visst förstod han vad det rörde sig om, "men en studieresa till USA tackar man ju inte nej till!"

Grön el

Detta begrepp har bl.a. lanserats av Svenska Naturskyddsföreningen men såvitt man kan se saknas såväl vetenskaplig som formell kompetens hos målsmännen för skapelsen i fråga. Att somliga kraftbolag tänt på denna affärsidé är betänkligt! Man kör bl.a. med paradoxen att en elkonsument kan bestämma från vilken leverantör hans el skall komma!! Seriösa miljöbedömningar visar att hela problematiken kring miljövänlig produktion av energi inte kan sammanfattas i slagord av typen "grön el". Men allmänheten får svälja allt och tror sig stödja miljön, särskilt som man får betala reformen genom kraftigt höjda eltaxor!

Farliga fenomen

I det allmänna medvetandet existerar en mängd substanser, läkemedel och metoder som är allmänt hälsosamma. För 60-70 år sedan var radioaktiva källor bland det finaste man kunde tänka sig. Man kan nog fatta det så att den gamla klassiska brunnsdrickningen behövde piffas upp med något nytt och spännande. Jag erinrar mig t.o.m. en "klok gubbe" i Hamneda i Småland som på 20 -30-talen botade allsköns sjukdomar med vatten ur en bäck som rann mot norr!

Sedan kom ju kriget och vände upp och ned på begreppen och efter atombomberna var atomer det hemskaste som fanns. Att radioaktiviteten var ett högst naturligt fenomen och att människan själv är radioaktiv vågade man knappast säga högt – det var som att svära i kyrkan. När sedan kärnkraftens fredliga användning startade var det inte många som kunde skilja mellan en atomreaktor och en atombomb. En känd miljöpolitiker uttalade t.ex. helt nyligen att explosionen vid Chernobylolyckan var nukleär fast det naturligtvis handlade om en helt vanlig vätgasexplosion vilken dock i detta fall var ytterst kraftig. Den f.n. största boven i radioaktiva sammanhang nämligen radonet som kommer från jorden nämner man knappast. Tätningen av bostäder som vidtogs för att minska värmeförlusterna har blivit den viktigaste orsaken till att radonet intar en ledande position som riskkälla för cancer.

Allmänheten har av naturliga skäl svårt att acceptera ny och svårbegriplig teknik. Ett exempel utgör det omfattande rymdprogrammet - vad skulle det tjäna till att åka till månen och hämta hem litet grus? Men nu, 30 -40 år senare kan vi se litet klarare: satellitövervakning, kontroll av miljön t.ex. i form av så vitala saker som ozonskiktet med livsviktig funktion, säkrare väderleksprognoser, automatiska system för navigering och astronomiska observationer av oöverträffad kvalitet för att nu bara nämna några av de mera spektakulära.

Sedan molekylärbiologien kom i gång har utvecklingen gått med rasande fart. Vi erinrar oss hur somliga personer med ringa kunskap genast började tala om missfoster med två huvuden, sex fingrar, andra rysligheter att förtiga. Förfalskade bilder publicerades i stor omfattning, särskilt i USA, inte sällan med referens till Chernobyl. Organisationen Greenpeace har tyvärr också varit mycket aktiv inom detta område och man distribuerade förskräckliga bilder av genetiska effekter som lögnaktigt angavs gälla offer från kärnkraftsolyckan.

I somras utbröt rentav en tidningsdebatt om den förskräckliga genmanipulationen som bl.a. frambringade jordgubbar dubbelt så stora som våra svenska och som höll sig i kylskåpet i 14 dar utan att ruttna! Tyvärr var det många som inte begrep att man i gentekniken fått ett fantastiskt hjälpmedel i samband med bekämpande av en rad sjukdomar, och faktiskt måste vi försiktigt medge att även vissa typer av strålning därvid visat sig nyttiga. Inte ens en så näraliggande åtgärd som fluoridiseringen av dricksvattnet undgick kritik. Lekmannasynpunkter är förvisso omistliga när de gäller problem som lekmän har förutsättningar att bedöma men de får aldrig slå igenom gentemot den verkliga sakkunskapen. Det är endast alltför tydligt att så har skett i fråga om energin där man skrämt okritiska och okunniga personer med orimliga påståenden.

Strålning

Detta är ett område som är minerat och där många personer har eller anser sig ha direkt erfarenhet. Vi har läst om att människor som arbetar vid bildskärmar råkat ut för obehagliga konsekvenser, men också om seriösa undersökningar som inte tycks ge helt otvetydiga resultat. Det har f.ö. antytts att psykiska fenomen kan vara aktuella i dessa sammanhang. En känd medicinprofessor skrev för några år sedan i en dagstidning en artikel med titeln "Den elektriska fältjägarkåren" där han ställde sig ytterst tveksam till sådana verkningar som angivits. För säkerhets skull får man väl t.v. förhålla sig avvaktande tills full bevisning i ena eller andra riktningen föreligger. Att vissa typer av strålning (t.ex. röntgenstrålning, gammastrålning, UV -strålning jämte flera typer av partikelstrålning) kan ha mycket kraftiga verkningar på biologiskt material är ett välkänt faktum som alltid måste behandlas med största respekt. Riskerna med strålning från solen tycks emellertid inte riktigt ha gått in i medvetandet.

Astrologi

Detta är kanske den mest spridda och lyckligtvis minst harmfulla varianten av vidskepelse, och vi skall inte spilla många ord på densamma. Att den helt godtyckliga indelningen av stjärnhimlen i lika godtyckliga stjärnbilder med helt godtyckliga benämningar, i vilka solen skenbart befinner sig en månad i taget, skulle kunna inverka på enskilda människors liv är naturligtvis rent nonsens. Tron på astrologien förefaller dock vara en tämligen oförarglig hobby som dessutom ger pengar åt de flesta veckotidningar. Det är annars förbluffande hur personer som borde veta bättre sväljer dessa läror helt okritiskt och man kan kanske befara att de är lika okritiska även i andra (t.ex. politiska) sammanhang. Vederhäftig information står tyvärr inte särskilt högt i kurs i åtskilliga publikationer eller etermedia!

Som en slutvinjett återger vi en sann historia från slutfasen i andra världskriget. I pressen refererades att man observerat att Hitler på de mest nytagna bilderna hade större öron än tidigare. Saken kommenterades givetvis i Grönköpings Veckoblad där man meddelade: "Även näsan nu längre!"

Miljöpris 1996

Föreningen Miljövänner För Kärnkraft instiftade 1996 ett miljöpris att utdelas årligen. Till första pristagare utsågs Fil. Dr Nils Dahbeck som emottog priset om 10 000 kr vid föreningens årsmöte i Göteborg den 15 mars 1997 med följande motivering:

Miljövänner För Kärnkraft vill hedra ***Dr Nils Dahlbeck*** *genom att tilldela honom sitt nyinstiftade miljöpris. Nils Dahlbeck har, framför allt genom sina mångåriga radio- och TV-program, varit en enastående folkbildare som gjort kunskap om vår natur och miljö tillgänglig för den stora allmänheten. I dag tillhör naturprogrammen varje kanals standardrepertoar och drar mycket höga tittarsiffror.*

Under åren 1936–51 fungerade Nils Dahlbeck som sekreterare och intendent i Svenska Naturskyddsföreningen vilken under denna tid var en aktad organisation som satte saklighet och vetenskapliga fakta i första rummet. Vi är alla Nils Dahlbeck stor tack skyldiga för hans insatser till fromma för energi och miljö.

Lund den 5 december 1996

Ragnar Hellborg
Ordförande

12 Reaktorer – 12 frågor och svar

Miljövänner För Kärnkraft har med stigande förvåning iakttagit hur kärnkraftdebatten i media och bland politiker fortfarande förs med politiska/taktiska slagordsargument utan någon som helst koppling till verkligheten och nyttan för Sverige.

Som en reaktion på denna "flum"-debatt sände vi ett brev med 12 frågor till regering och riksdag före riksdagens juluppehåll 1996.

Efter juluppehållet sände vi ett motsvarande brev med 12 svar på frågorna.

Breven återges nedan in extenso.

Hans Pedersen Dambo

Till:
Sveriges Statsminister
Den Svenska Regeringen
Sveriges Riksdagsledamöter

12 KÄRNREAKTORER - 12 FRÅGOR

Skall politisk prestige gå före Sveriges väl?

Sverige står inför ett mycket viktigt beslut om energiförsörjningen. En ingrediens att då ta ställning till är en avstängning av våra svenska kärnkraftverk. Inför ett miljömässigt och ekonomiskt så avgörande beslut är det viktigt att göra klart för sig vilka fördelar Sverige kommer att få vid en sådan avstängning. Nedan följer 12 frågor som Du bör tänka igenom och förvissa Dig om att Du kan besvara med vetenskapligt styrkta fakta, innan Du fattar beslut om Sveriges energiframtid.

1. På vilket sätt påverkas miljön i Sverige vid en avveckling av den svenska kärnkraften?
2. Vilket energislag orsakar idag flest cancerfall i Sverige, kärnkraft eller vedeldning?
3. Vilket har gett svenska folket störst stråldos, energibesparing genom tätning av våra bostadshus eller kärnkraften?
4. Finns det något kraftslag som är mindre hälsofarligt än kärnkraft? I så fall vilket?
5. Finns det något kraftslag som har lägre total kostnad (= samhällskostnad) än kärnkraften? I så fall vilket?
6. Finns det något kraftslag som tar större ansvar för allmänheten (= tredje man) än kärnkraften? I så fall vilket?
7. Finns det något kraftslag som har en miljömässigt mindre skadlig "bränsle"hantering än kärnkraften? I så fall vilket?
8. Finns det något kraftslag som tar hand om allt sitt avfall på ett bättre sätt än kärnkraften? I så fall vilket?
9. Hur stora är riskerna från kärnkraft i förhållande till andra risker i samhället?
10. Om man ändå vill minska riskerna från kärnkraften för svenska folket, hur får man störst riskminskning för pengarna? Genom att lägga ner svensk kärnkraft eller förbättra/ersätta kärnkraften på andra sidan Östersjön?
11. Vem är bäst lämpad att välja produktionsmetod, när samhället ställer upp miljö- och säkerhetsregler, kraftföretag eller politiker?
12. På vilket sätt är den s.k. Hjärntvättsparagrafen (=kärntekniklagens §6) till nytta för Sverige?

Om Du inte vet var Du skall söka svaren på dessa frågor så står naturligtvis Miljövänner För Kärnkraft gärna till tjänst med uppgifter och referenser där Du kan kontrollera riktigheten. Vi hoppas att Du kommer att fatta ett klokt beslut.

Med vänlig hälsning

Ragnar Hellborg
ordf. i Miljövänner För Kärnkraft
docent i tillämpad kärnfysik.

Till:
Sveriges Statsminister
Den Svenska Regeringen
Sveriges Riksdagsledamöter

12 KÄRNREAKTORER - 12 SVAR

Skall politisk prestige gå före Sveriges väl?

För ett tag sedan fick Du ett brev med 12 frågor, som vi bad Dig tänka igenom och förvissa Dig om att Du kan besvara med vetenskapligt styrkta fakta, innan Du fattar beslut om Sveriges energiframtid. Nedan följer våra svar på de 12 frågorna. Om Du av någon anledning har förlagt frågorna så hittar Du dem på nytt på baksidan av detta brev.

1. Oavsett energislag kommer en kärnkraftavveckling att försämra hälsa och miljö genom ökade utsläpp till atmosfären.
2. Vedeldning ger redan i dag lika många cancerfall om året i Sverige som Tjernobylolyckan beräknas ge på 50 år. a)
3. Energibesparing genom tätning av bostadshus har tredubblat svenska folkets stråldoser från radon inomhus.
4. Trots Tjernobylolyckan finns det inget kraftslag som är mindre hälsofarligt per kWh än kärnkraft.
5. Endast befintlig vattenkraft har lägre total kostnad (= samhällskostnad) än kärnkraften. b)
6. Strikt ansvar och försäkringstvång gör att kärnkraften har större ansvar för allmänheten (= tredje man) än andra kraftslag.
7. Endast befintlig vattenkraft och vindkraft kan ha en miljömässigt mindre skadlig "bränsle"-hantering än kärnkraften. b)
8. Inget annat kraftslag än kärnkraften tar hand om allt sitt avfall.
9. Kärnkraftens risker är mycket små jämfört med många andra "vanliga" och accepterade risker i samhället.
10. Genom att fortsätta det påbörjade säkerhetsarbetet med kärnkraften på andra sidan Östersjön minskar vi riskerna mer än om vi lägger ner den svenska kärnkraften.
11. När samhället ställer upp miljö- och säkerhetsregler genom politiska beslut bör kraftföretagen vara bäst lämpade att välja produktionsmetod.
12. Den s.k. Hjärntvättsparagrafen (=kärntekniklagens §6) förhindrar utveckling av ännu säkrare och miljövänligare teknik till nytta för Sverige.

a) Jfr. SSI:s och Naturvårdsverkets beräkningar;
b) Se "Bakgrund" 2/96 utgiven av KSU.

Miljövänner För Kärnkraft står givetvis gärna till tjänst med fler uppgifter och referenser där Du kan kontrollera riktigheten i våra svar. Vi hoppas att Du kommer att fatta ett klokt beslut.

Med vänlig hälsning

Ragnar Hellborg
ordf. i Miljövänner För Kärnkraft
docent i tillämpad kärnfysik.