

Marts 1981



Rasmussen-rapporten

Rasmussen-rapporten er resultatet af et meget omfattende arbejde, som den amerikanske atomenergi-kommission lod foretage fra 1972 til 1975. Rapporten har fået navn efter lederen af projektet, professor Norman C. Rasmussen fra Massachusetts Institute of Technology (M.I.T.).

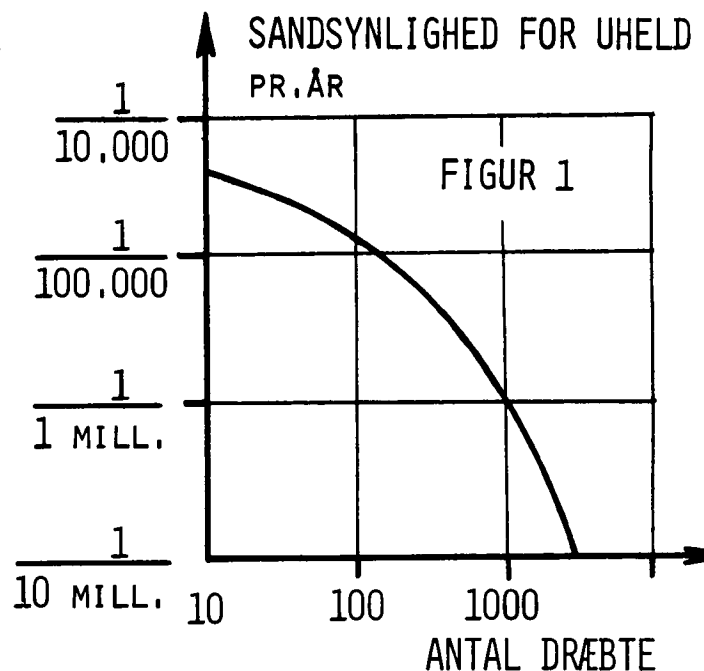
Formålet med undersøgelsen var at nå frem til en mere realistisk beskrivelse af konsekvenserne af større eller mindre uheld på kernekraftværker end man tidligere havde haft til rådighed. Om muligt skulle man også bestemme sandsynligheden for de forskellige typer uheld.

Siden fremkomsten har Rasmussen-rapporten været udsat for mange former for kritik og vurderinger. I den offentlige debat har man mest hørt rapporten kritiseret for at undervurdere risikoen. Men i den internationale tekniske debat har man især beskæftiget sig med rapportens overvurderinger. (Se nr. 502 og nr. 507).

Forud for Rasmussen-rapporten havde man kun en begrænset konkret viden om konsekvenserne af havarier på kernekraftværker. I 1950'erne og 60'erne havde man ganske vist i mange forskellige lande foretaget nogle teoretiske undersøgelser af spørgsmålet, men de var i vid udstrækning baseret på skøn. Og med hensyn til sandsynligheden for uheld var man næsten på bar bund. Blot var der blandt alverdens sagkyndige en udbredt enighed om, at meget store uheld var overmåde usandsynlige.

Rasmussen-rapporten har for USA's vedkommende beregnet, at risikoen for dødsfald som følge af uheld på hundrede kernekraftværker stort set svarer til risikoen fra nedstyrtende himmellegemer (meteoror og kometer). Denne sammenligning er siden blevet kraftigt kritiseret af især kernekraftmodstandere, men med visse forbehold gælder den stadig.

Mange af Rasmussen-rapportens resultater fremgår bedst af rapportens risiko-kurver. Figur 1 er et eksempel herpå. Den lodrette akse angiver den beregnede sandsynlighed for forskellige uheld, mens den vandrette



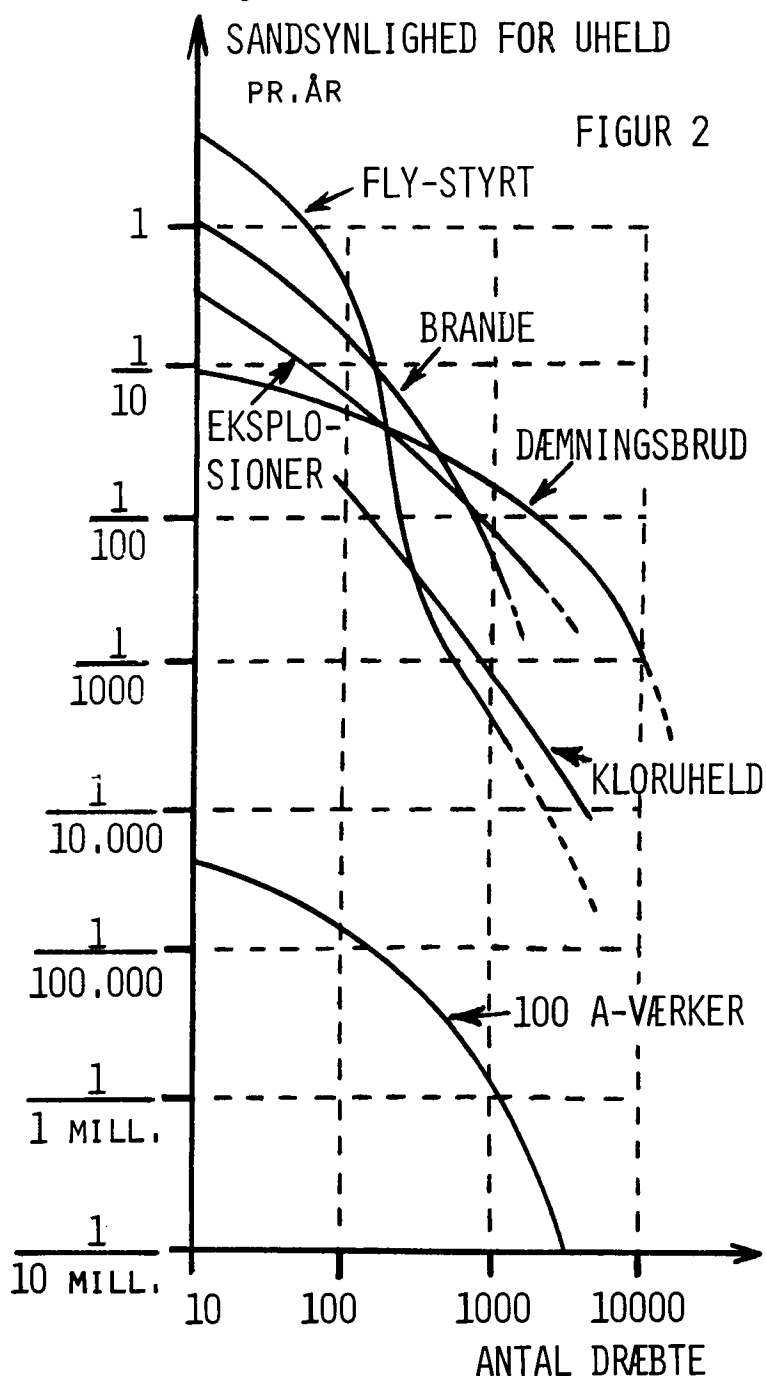
RISIKOEN SVARER TIL DRIFTEN AF 100 KERNEKRAFTVÆRKER I USA.

antallet af omkomne ved de forskellige typer uheld. Kurven på figur 1 svarer til risikoen ved hundrede kernekraftværker i drift i USA. Man kan af figuren f.eks. aflæse, at der er en sandsynlighed på 1/1.000.000 pr. år for en ulykke med mindst 1.000 dræbte som følge af strålings-syge. Det svarer til, at der i middel vil gå 1.000.000 år mellem kernekraft-havarier, som umiddelbart vil forvolde mindst 1.000 dødsfald.

Tilsvarende vil der i henhold til Rasmussen-rapporten gå i middel ca. 100.000 år mellem havarier på ét af de hundrede amerikanske kernekraftværker, der vil kræve mindst hundrede dødsopfre.

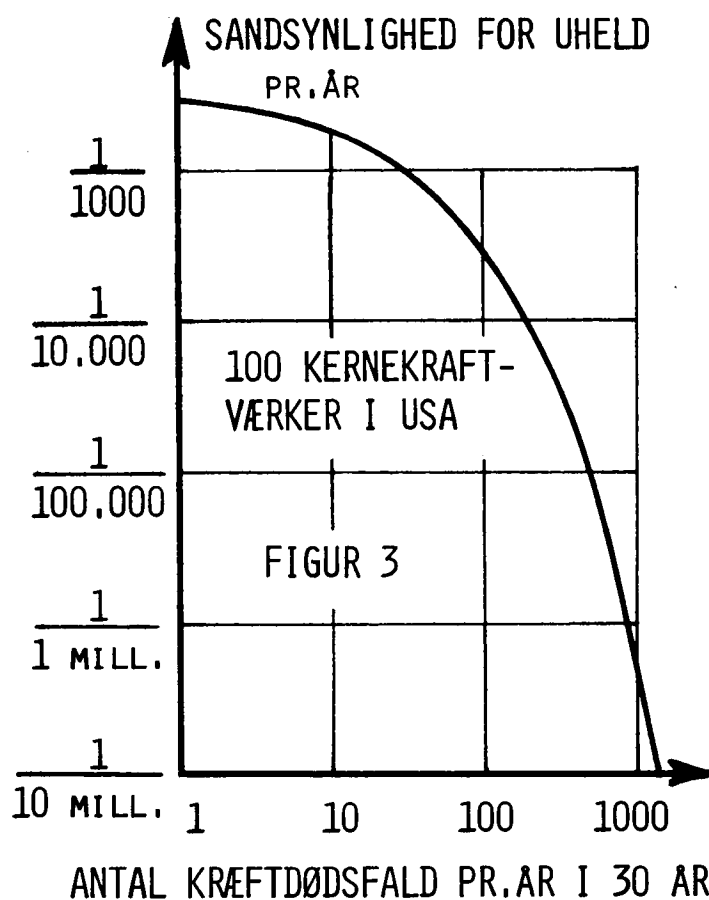
For at give en pædagogisk fremstilling af, hvor uendelig lille denne risiko er, beregnede forskerne bag Rasmussen-rapporten også tilsvarende risiko-kurver for andre uheld, som er kendt fra hverdagen i USA (figur 2). Det viser sig, at ser man på ulykker med et bestemt antal dødsopfre, er sandsynligheden for kernekraft-ulykker omkring 1.000 gange lavere end sandsynligheden for andre menneskeskabte ulykker - eksempelvis flyulykker og ildebrande.

De dødsfald, der svarer til kernekraftkurven på figur 1 og 2, er mennesker, der ved uheldet beregnes at få så store stråledoser, at de dør af strålings-syge indenfor otte uger efter uheldet. Herudover kan der opstå et endnu større antal kræftdødsfald blandt de mennesker, der ved uheldet antages bestrålet med små og mellemstore stråledoser. Figur 3 viser risikokurven for kræftdødsfald svarende til hundrede kernekraftværker i USA. Det drejer sig om kræftdødsfald, der typisk vil forekomme 10-40 år efter uheldet, og som typisk vil være fordelt i en befolkning på ca. 10 millioner personer. Betragter man igen et uheld med meget store konsekvenser, vil man



for et uheld med en sandsynlighed på ca. 1 gang pr. million år finde gennemsnitlig 26.000 kræftdødsfald fordelt over ovennævnte 30-årsperiode. I samme periode vil der af naturlige årsager forekomme 510.000 kræftdødsfald i denne befolkning, så kun ved omhyggelige statistiske undersøgelser vil man kunne registrere en forøgelse af antallet af kræftdødsfald efter et alvorligt kernekraftuheld.

For øvrigt: Skulle et sådant værst tænkeligt uheld nogensinde ske et eller andet sted i verden, er det endda tvivlsomt, at statistikken vil komme til at vise en forøgelse af kræftdødsfald. Efter en sådan ulykke vil man givet igangsætte en omfattende helbreds kontrol af den pågældende befolkning. Herved vil man formentlig opdage mange kræftsygdomme - både "naturlige" og "kunstige" - så tidligt, at man vil kunne standse dem. Hvis



man herved når at hindre blot 5% af de "naturlige" kræftsygdomme i at udvikle sig til dødsfald, har man fjernet den eventuelle virkning af strålingen fra uheldet.

Foruden kræftdødsfald og dødsfald som følge af strålings-syge, har Rasmussen-rapporten også undersøgt andre mulige følger af et kernekraft-havari. Her må især bemærkes den landforurening,

der kan opstå efter alvorlige havarier. Rasmussen-rapporten finder således, at meget store landområder kan blive forurenede med langlivet radioaktivitet. En del af området vil være så forurenede, at befolkningen må fraflytte det for en kortere periode, og eventuelt skal der ske en oprensning. Endelig kan et begrænset område være så forurenede, at det ikke kan betale sig at rense det, hvorfor det må fraflyttes for en længere årrække.

Da Rasmussen-rapporten blev udarbejdet, var der fortsat nogle uafklarede forhold med hensyn til et evt. uheldsforløb. I løbet af de følgende år er flere forhold blevet bedre afklaret, og i dag er det en udbredt opfattelse blandt reaktorteknikere, at Rasmussen-rapporten har overvurderet konsekvenserne af reaktoruheld - en opfattelse, som også professor Norman Rasmussen selv deler.

Se også nr. 502 og 507.

Marts 1981



Vurderinger og kritik af Rasmussen-rapporten

Da Rasmussen-rapporten kom frem, blev den hurtigt kritiseret for at sidestille uheldsrisikoen ved kernekraften med risikoen fra nedstyrtende himmellegemer. Sammenligningen holder imidlertid, når det gælder antallet af dødsopfre. Også med hensyn til økonomiske skader som ødelæggelser og radioaktiv forurening er der et rimeligt sammenligningsgrundlag. Derimod har de senere sundhedsskader af strålingen - kræft og eventuelle genetiske skader - ingen analogi med nedstyrtende himmellegemer.

Også i spørgsmålet om Rasmussen-rapportens sandsynlighedsberegninger rejste der sig hurtigt en voldsom debat. I mange tilfælde viste kritikken sig at være baseret på en misforståelse af rapporten, men i nogle tilfælde har kritikken siden vist sig at være berettiget.

For at få en ny og helt uvildig vurdering af Rasmussen-rapportens metoder og resultater udpegede de amerikanske atom-myndigheder i 1977 syv forskere, der under professor Harold C. Lewis' ledelse skulle vurdere de kritikpunkter, der var rejst mod Rasmussen-rapporten.

Resultaterne fremkom den 7. september 1978 i form af den såkaldte Lewis-rapport, der indeholdt både ros og ris til Rasmussen-rapporten.

1. For lille usikkerhedsinterval

I Rasmussen-rapporten har man angivet en usikkerhed på sandsynlighedsberegningerne på en faktor 5 i opadgående og nedadgående retning. Det betyder f.eks., at hvis beregningerne har givet en sandsynlighed på én gang pr. million år, kan det "rigtige tal" være alle tal mellem én gang pr. 200.000 år og én gang pr. 5 millioner år. I Lewis-rapporten skriver man, at dette usikkerhedsinterval er for lille, men man vil ikke selv fremkomme med et andet. Man vil heller ikke i Lewis-rapporten fremkomme med et bedre tal for selve sandsynligheden - altså tallet én gang pr. million i eksemplet ovenfor. Professor Lewis har dog ved en høring den 22. maj 1979 bemærket, at efter hans opfattelse er kernekraften sikrere end anført i Rasmussen-rapporten. (Se også "Scientific American", marts 1980).

2. Uheldig populær pjece

Da rapporten udkom, blev der udarbejdet en populær pjece med de vigtigste resultater. Lewis-rapporten fandt, at denne pjece ikke på en rimelig måde dækkede indholdet af selve Rasmussen-rapporten. Specielt kunne man ved en hastig gennemlæsning af pjecen få det indtryk, at de eneste konsekvenser af et kernekraftuheld ville være de dødsfald, der fremkom som følge af strålings sygdom. Lewis-gruppen fandt også, at den populære pjece ikke i tilstrækkeligt omfang angav den usikkerhed, der var på beregningsmetoderne. Derfor anbefalede Lewis-rapporten, at den populære sammenfatning af Rasmussen-rapporten ikke blev benyttet som oplysnings-

materiale.

3. anbefaler beregningsmetoder

Rasmussen-rapporten havde udviklet et helt nyt system til at fastlægge mulighederne for uheld og sandsynlighederne for disse. Det fandt Lewis-gruppen meget værdifuldt. Så man anbefalede de amerikanske atommyndigheder, at de i arbejdet med at sikre kernekraftværkerne benyttede Rasmussen-rapportens metoder i større omfang end hidtil. Havde man gjort det, ville uheldet på Tremileøen kun være blevet til en mindre driftsforstyrrelse!

4. Risikoen ved andre energianlæg

Desuden anbefalede Lewis-rapporten, at man arbejdede videre med at forbedre Rasmussen-rapportens beregninger over konsekvenser, og den foreslog, at Rasmussen-rapportens principper for beregning blev benyttet til at vurdere risikoen ved andre energianlæg.

Det er værd at bemærke sig, at der blandt de syv medlemmer af Lewis-gruppen var en kernekræftmodstander ved navn Frank von Hippel. Han er også kendt i Danmark, idet han på anbefaling af professor Ove Nathan blev inviteret til at tale om reaktorsikkerhed ved en høring i radioens kulturafdeling i januar 1978.

Der var blandt de øvrige seks medlemmer tilslutning til hele Lewis-rapporten, hvorimod Frank von Hippel på tre områder tog afstand fra rapporten, nemlig i de punkter, hvor amerikanske kernekraftmodstanderes kritik mod Rasmussen-rapporten blev tilbagevist.

I januar 1979 tilsluttede de amerikanske atommyndigheder sig Lewis-rapportens anbefalinger.

Amerikansk litteratur:

"Risk assesment review group report to the US Nuclear Regulatory Commission" (Lewis-rapporten), NUREG/CR-0400, september 1978.

"The safety of fission reactors", Scientific American, marts 1980

Marts 1981



Redegørelse fra Miljøstyrelsen om det "værst tænkelige uheld" på Barsebäckværket.

I november 1978 offentliggjorde Miljøstyrelsen nogle beregninger og vurderinger af de værst mulige følger i Danmark af et meget alvorligt uheld på det svenske kernekraftværk Barsebäck, der ligger godt tyve kilometer fra København. Et uheld, der selv i følge amerikanske kernekraftmodstandere kun vil forekomme én gang pr. to millioner år!

Først og fremmest mente redegørelsen, at et "værst tænkeligt uheld" med de værst tænkelige vejrtilstande kunne tænkes at ville forårsage 20.000 senere kræftdødsfald i Københavnsområdet. Disse skulle i givet fald fremkomme fordelt over 30 år begyndende 10 år efter uheldet.

Derimod var de beregnede stråledoser som følge af det værst tænkelige uheld ikke så store, at der kunne forventes umiddelbare dødsfald som følge af stråling.

Herudover påpegede redegørelsen den landforurening, der kunne opstå efter et værst tænkeligt uheld. Men dengang var dette spørgsmål ikke fuldt afklaret endnu.

Som baggrund for det betragtede "værst tænkelige uheld" havde man benyttet det havari, der i Rasmussen-rapporten betegnes som et BWR-2 havari. Desuden havde man antaget meget uheldige vejrforhold for det betragtede uheld, der ville føre den udslupne radioaktivitet ind over de tættest befolkede dele af København.

Redegørelsen oplyste, at man på baggrund af Rasmussen-rapportens beregninger ville finde en sandsynlighed på én gang pr. 30 millioner år for det betragtede uheld - mens beregninger fra amerikanske kernekraftmodstandere altså giver en sandsynlighed på én gang pr. to millioner år.

Der var i redegørelsen anført flere forhold, der kunne bevirke, at de 20.000 kræftdødsfald ville være en overvurdering. (De samme overvurderinger er sammen med andre omtalt i to Risø-rapporter fra henholdsvis januar 1977 og sommeren 1978).

Blandt de forskellige forhold, der kunne være årsag til en overvurdering, skal især nævnes:

1. Tyske undersøgelser peger på, at der ved et reaktoruheld ikke kan slippe så store mængder radioaktivitet ud, som det er antaget i Miljøstyrelsens redegørelse.
2. Ved ophold inden døre vil man få langt mindre doser radioaktivitet end antaget i redegørelsen.
3. Strålingen har en betydeligt lavere virkning end antaget i Miljøstyrelsens redegørelse. Det gælder især for skjoldbruskkirtel-kraft, der var beregnet til at forårsage 12.000

af de 20.000 kræftdødsfald.

Miljøstyrelsen ønskede ikke i 1978 at fremkomme med noget tal for, hvor store overvurderinger der kunne være tale om. Fra Risøs side blev det anført, at der realistisk kun vil le indtræffe højst 1.000 kræftdødsfald ved den værst tænkelige ulykke på Barsebäck.

Et par uger efter fremkomsten af redegørelsen fremlagde REO nogle beregninger over konsekvenserne af den værst tænkelige ulykke. REO kunne med nogle mere realistiske antagelser end dem, Miljøstyrelsen var gået ud fra, vise, at det er mindst lige så realistisk at regne med 20 kræftdødsfald som at regne med Miljøstyrelsens 20.000. Miljøstyrelsen ville dog ikke anerkende REOs kritik af redegørelsen.

I løbet af de efterfølgende måneder blev punkt 2 ovenfor afklaret så meget, at Miljøstyrelsen i juni 1979 reducerede de 20.000 kræftdødsfald til ca. 3800 tilfælde. Ophold inden døre giver altså langt mindre doser radioaktivitet. Hertil kommer så, at flere andre reduktionsfaktorer, der indgik i REOs beregninger, kan forventes afklaret i løbet af de kommende år.

Men tilbage står det faktum, at sandsynligheden for dette "værst tænkelige uheld" kun er omkring én gang pr. 30 millioner år. Ja Barsebäck er endda blevet forsynet med nogle ekstra sikkerhedssystemer, der gør sandsynligheden endnu mindre. Og oven i købet: I november 1979 foreslog man fra svensk side at forsyne bl.a. Barsebäck med sikkerhedsventiler og store filtre, der i en uheldssituation skulle opsuge næsten al radioaktiviteten. Prisen for sikkerhedsventilerne og filtrene vil være 100-200 millioner kr. Spørgsmålet er under afklaring, og i løbet af 1981 tager svenskerne endelig stilling til, om der skal bygges sådanne filtre. I givet fald vil det betyde, at det værst tænkelige uheld, der lå til grund for Miljøstyrelsens redegørelse, slet ikke kan finde sted.

En anden alvorlig havari-type fremkommer ved en meget kraftig "damp-eksplosion" i forbindelse med en kernenedsmeltning (BWR-1-havari). Nyere undersøgelser peger på, at så kraftige dampekspllosioner ikke kan finde sted under de forhold, der vil herske under en kernenedsmeltning. I februar 1980 udsendte den svenske professor Kurt M. Becker en rapport herom og konkluderede, at man i fremtidige uheldsundersøgelser måtte se bort fra havarier, der var forårsaget af dampekspllosioner. Dette spørgsmål ventes også afklaret indenfor de nærmeste par år. En svensk ekspertgruppe, der blev nedsat af regeringen for at undersøge spørgsmålet, kunne i december 1980 tilslutte sig professor Beckers konklusion.

Også professor Norman Rasmussen, der ledede arbejdet med Rasmussen-rapporten, er nu enig i, at man kan se bort fra dampekspllosioner som årsag til kernekraft-uheld. Han

er også af den opfattelse, at man nu må regne med betydeligt mindre udslip af radioaktivitet ved de andre typer havarier.

Litteratur:

Miljøstyrelsens redegørelse om Barsebäck-uheld, offentliggjort 6/11 1978.

"Om urealistiske og realistiske vurderinger af hypotetiske nedsmeltningsuheld på Barsebäck-værket", Uffe Korsbech, Danmarks Tekniske Højskole, august 1978 (fås hos REO i særtryk)

"En bedømmelse af Barsebäck-uheld på grundlag af den nyeste viden", Uffe Korsbech, Danmarks Tekniske Højskole, januar 1981.

Marts 1981



Uheldet på Tremileøen

Her følger en detaljeret beskrivelse af uheldet på Tremileøen. Uheldet som sådan havde ingen følger for mennesker og det omgivende miljø, men den store medieinteresse gør det nødvendigt at se på, hvad der reelt skete. Man kan hele vejen følge med i figuren sidst i artiklen, hvor værket er skitseret.

Tidligt om morgenen onsdag den 28. marts 1979 stoppede den normale forsyning med vand til dampgeneratorerne på kernekraftværket Three Mile Island-2 i Pennsylvania, USA.

I dampgeneratorerne udnyttes varmen fra reaktoren til at fremstille damp, som herefter trækker kraftværkets turbiner. Forsynes dampgeneratorerne ikke hele tiden med nyt vand, kan de ikke køle vandet i reaktortanken, hvis temperatur og tryk derfor stiger.

En sådan hændelse er forudset som en mulighed ved alle kernekraftværker, og de er derfor forsynet med hjælpesystemer, der straks kan starte automatisk og pumpe reserve-vand ind i dampgeneratorerne. Disse hjælpesystemer startede også på Tremileøen, men vandet nåede ikke frem til dampgeneratorerne. Ved den sidste afprøvning af hjælpesystemerne havde man nemlig glemt at åbne for nogle ventiler, som efter reglerne altid skal være åbne, når reaktoren er i drift.

Også denne mulighed er imidlertid forudset i de sikkerhedsmæssige analyser af kernekraftværkerne, og den næste sikkerhedsforanstaltning er da, at nødkølesystemerne skal træde i funktion og pumpe koldt vand ind i reaktortanken. Det skete også planmæssigt, og hændelsen kunne være afsluttet her som en begrænset driftsforstyrrelse. Det skete imidlertid ikke.

Under et uheldsforløb som dette vil trykket i reaktortanken kortvarigt stige, og en overtryksventil vil åbne for at begrænse trykstigningen. Det skete planmæssigt på Tremileøen. Men ventilen lukkede ikke, da trykket var faldet igen.

Operatørerne i kontrolrummet troede imidlertid, at ventilen var blevet lukket, for kontrollampen viste nemlig fejlagtigt, at dette var tilfældet. Efter et stykke tid stoppede operatørerne for nødkølepumperne, idet de mente, at reaktortanken nu var fyldt med vand.

Men overtryksventilen stod fortsat åben, og dampen strømmede ud, så vandstanden i reaktortanken langsomt faldt. Efterhånden blev det øverste af brændselsstavene blottet, og temperaturen steg kraftigt. Det bevirkede, at indkapslingen om brændslet reagerede kemisk med vand under dannelsen af brint, der opsamledes som en brint-boble i toppen af reaktortanken. Endvidere blev der frigivet en del radioaktivitet fra det opvarmede brændsel.

Operatørerne bemærkede nu hurtigt, at der var noget galt, for flere og flere alarmer gik i gang, og meldte om radioaktivitet og andre unormale forhold. Man var imidlertid ikke klar over, hvad der skete, for man regnede fortsat med, at overtryksventilen var blevet lukket igen, så der ikke skulle slippe damp, vand eller radioaktivitet ud fra reaktor-tanken.

Der var nu gået et par timer efter uheldets start, og efterhånden var der kommet en del teknikere tilstede. Snart fik man mistanke til overtryksventilen, og man lukkede en anden ventil på samme rørledning. Herved standsedes udstrømningen af damp og radioaktivitet til den lufttætte bygning om reaktoren.

Først efter yderligere fjorten timers forløb havde man fuld kontrol over situationen ved at have sikret en effektiv køling af reaktorkernen. I mellemtiden var der sket en yderligere belastning af brændslet, og mere radioaktivitet var frigivet til vandet i reaktortanken.

Som allerede nævnt slap der en del radioaktivitet ud i indeslutningen, og her burde radioaktiviteten være blevet, for indeslutningen er lufttæt. Men et automatisk pumpesystem, der normalt pumper vand fra bunden af indeslutningen til behandling i nabobygningen, gik i gang, da vandstanden i bunden af indeslutningen nåede et vist niveau. Fra nabobygningen sivede der en del radioaktivitet ud i omgivelserne, især gennem behandlingsanlæggets skorsten.

Inden udblæsningen gennem skorstenen sendes luften gennem et filter, som tilbageholder de farligste radioaktive stoffer, bl.a. radioaktivt jod. Så alt i alt slap der under hele uheldet kun en helt minimal mængde radioaktivt jod ud (15 curie).

Af andre betydningsfulde radioaktive stoffer som cæsium og strontium kunne man ikke konstatere noget udslip overhovedet. Der slap en del radioaktive ædelgasser* ud, men de har ingen betydning for mennesker, dyr og planter, fordi de er biologisk inaktive.

Reelt var den mest risikofyldte fase af uheldet på Tremileøen overstået seksten timer efter uheldets start, da man havde fået genetableret en sikker køling af kernen. Men endnu to dage efter slap der en del radioaktivitet ud gennem behandlingsanlæggets skorsten, og en helikopter, der overvågede aktiviteten i omegnen af Tremileøen, registrerede et strålningsniveau på 1200 millirem i timen i luften over skorstenen. Dette strålningsniveau er ikke højt når man tager i betragtning, at det blev målt lige i nærheden af det punkt, hvor ædelgasserne blev sendt op gennem skorstenen. Men beklageligvis misforstod de amerikanske myndigheder for reaktorsikkerhed (NRC) i Washington oplysningen om de målte 1200 millirem i timen. De troede, at det var målt ved jordoverfladen, hvor der ikke burde være nogen radioaktivitet bortset fra den naturlige baggrundsstråling*.

Misforståelsen bidrog afgørende til den forvirring, der

herskede om tilstanden på Tremileøen, og satte gang i diskussionerne om evakuering af de nærmeste beboere omkring kraftværket. En af NRC's topfolk blev derfor sendt til Tremileøen for at rapportere hjem og direkte til præsident Carter. Han måtte efter et par timer erkende, at Washington-myndighederne havde taget fejl og rapporterede til NRC, at der kun var grund til at bevare roen på samme måde som på selve værket.

I løbet af fredagen begyndte man hos NRC at diskutere, om den omtalte brintboble kunne opsamle så store mængder ilt, at boblen kunne eksplodere. Når vand udsættes for bestråling, opspaltes en lille del af vandet i brint og ilt, og nogle af NRC's folk beregnede, at der i løbet af nogle døgn forløb kunne opsamles så store mængder ilt i brint-boblen, at den muligvis ville eksplodere.

Da nyhedsmedierne fik nys herom, løb historien naturligvis med lynets hast ud over det meste af verden. Selv om NRC kun havde angivet det som en teoretisk mulighed, der ikke var bekræftet.

Sagkyndige fra de nationale laboratorier i USA, fra kernekraftindustrien og fra NRC's egne afdelinger søgte straks at pointere overfor NRC's ledelse, at den var kommet på vildspor. En brint-boble kunne under de givne betingelser slet ikke blive eksplosiv. Under den normale drift af et kernekraftværk dannes der også ilt og brint ved bestrålingen af vandet i reaktorkernen, og for at fjerne ilten tilsætter man små mængder brint til reaktor-vandet, som så forbinder sig med ilten, og danner almindeligt vand (H_2O).

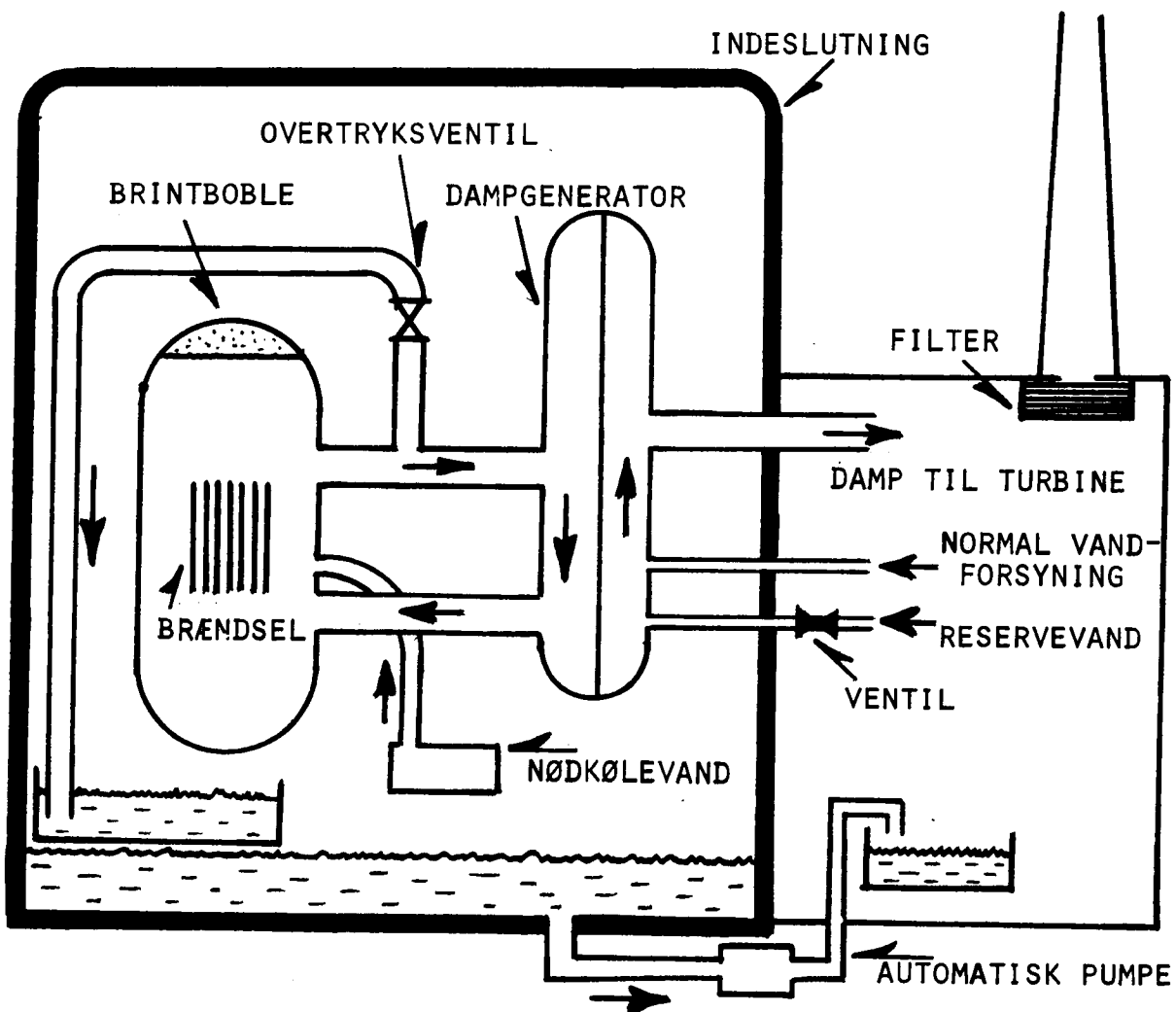
Ved uheldet på Tremileøen var der ufrivilligt blevet "tilsat" store mængder brint til vandet i reaktortanken. Så meget at der kunne dannes en brintboble i toppen af tanken! Enhver opsamling af ilt under de betingelser og den medfølgende teoretiske risiko for eksplosion ville derfor være en umulighed.

Uheldet på Tremileøen resulterede i en ødelagt reaktorkerne og et kernekraftværk, der indvendigt er stærkt forurenede med radioaktivitet, som det vil tage flere år at rense igen. Men udslippet af radioaktivitet til omgivelserne var meget begrænset og uden betydning for mennesker, dyr og planter. Naturligvis har modstanderne af kernekraften efter uheldet brugt hændelsen politisk ved at påstå, at mennesker og dyr er blevet skadet af strålingen fra uheldet. Men alle disse påstande er efter nærmere teknisk-videnskabelige undersøgelser blevet klart tilbagevist.

For det el-selskab, der ejer Tremileøen, har uheldet forøvrigt været en økonomisk katastrofe. Dels får selskabet ikke noget udbytte af de mange penge, der er investeret i værket, dels skal der betales for rensning af værket, og dels skal der betales for en dyrere elektricitet fra nogle kulfyrede kraftværker i nærheden.

Men set i perspektiv er kernekraften fortsat klart den mest rentable energiform. Uheldet havde ingen følger for omgivelserne, og vi har lært så meget af uheldet, at der i fremtiden er endnu mindre sandsynlighed for kernekraftuheld. (Se også nr. 505).

SKITSE AF KERNEKRAFTVÆRKET PÅ TREMILEØEN



Marts 1981



Kemeny-rapporten om uheldet på Tremileøen

Uheldet på Tremileøen gav anledning til nedsættelse af mange udvalg, der skulle undersøge uheldet. Det mest kendte er Kemeny-kommissionen, der blev nedsat af præsident Jimmy Carter. Den skulle foretage en gennemgribende undersøgelse af uheldet og fremkomme med forslag til forbedringer, så lignende uheld kunne undgås i fremtiden. Efter syv måneders arbejde offentliggjorde kommissionen Kemeny-rapporten, der beskrev årsagerne til uheldet, dets forløb samt en række forslag til forbedringer.

Fejl der må rettes

Som det fremgår af katalogets beskrivelse af uheldet i nr. 504, var der en række helt oplagte forhold, der burde ændres, og disse behandles alle i Kemeny-rapporten.

Den første fejl under uheldet var de lukkede ventiler, der forhindrede hjælpesystemerne i at sende vand til dampgeneratorerne. Man kan ikke helt udelukke sådanne fejl i fremtiden, men sandsynligheden kan reduceres ved at give personalet en bedre uddannelse og ved at anvende sikrere kontrolmetoder.

Den anden fejl var den overtryksventil, der ikke lukkede igen. Den fejl vil man heller ikke helt udelukke i fremtiden. Men man kan benytte et helt sikkert signalsystem, der direkte viser, om ventilen er lukket - og ikke som på Tremileøen blot viser, at ventilen har "fået besked" på at lukke.

På Tremileøen var der ingen direkte måling af vandstanden i reaktor-tanken, idet man normalt skal have tanken helt fyldt med vand. Havde man kendt den faldende vandstand i tanken, ville personalet hurtigt have startet nødkølesystemet igen. Nu indføres en direkte vandstandsmåler på alle reaktortanke.

Mere forenklede alarmsystemer

De mange alarmer, der gik igang i kontrolrummet, var med til at forøge personalets forvirring. På opfordring af bl.a. Kemeny-kommissionen indføres nu mere forenklede alarmsystemer, der ikke viser ubetydelige fejl, hvis der samtidig optræder en alvorlig fejl. Endvidere ændres mange kontrolrum, så de bliver mere overskuelige.

Brintboblen i toppen af reaktortanken kunne ikke på simpel måde fjernes fra Tremileø-tanken, da man ikke fra kontrolrummet kunne fjernbetjene den udluftningsventil, der fandtes øverst på tanken. Det kunne man allerede før uheldet på de fleste andre kernekraftværker, og nu kan ventilen fjernbetjenes på alle kernekraftværker.

Bedre uddannelse

Personalets uddannelse må gøres bedre, lød konklusionen fra de fleste udvalg, der undersøgte uheldet på Tremileøen. Der må lægges mere vægt på at træne operatørerne i at behandle unormale situationer på kraftværkerne. Nogle steder i verden var det allerede udbredt praksis før Tremile-uheldet. Nu lægges der overalt mere vægt på unormale situationer, når operatørerne uddannes.

Var uheldet forudset i Rasmussen-rapporten?

Rasmussen-rapporten (se nr. 501) beskæftiger sig med sandsynligheder for uheld af forskelligt omfang, og man kan derfor spørge, om Tremileø-uheldet så også var forudset af rapporten. Det var det. Kemeny-kommissionen konstaterede, at det faktisk lå indenfor Rasmussen-rapportens beregninger, at et uheld af Tremileø-uheldets omfang kunne ske i løbet af 1970'erne eller i løbet af 1980'erne. Rasmussen-rapporten havde også beskrevet et uheld med et forløb, der lignede Tremileø-uheldet. Der var dog ikke 100% overensstemmelse, for Tremileø-værket var af et andet fabrikat end de værker, som Rasmussen-rapporten havde analyseret. Nogle af de teknikere, der bistod Kemeny-kommissionen med arbejdet, gennemførte en analyse af Tremileø-værket ud fra Rasmussen-rapportens principper og konstaterede, at dette værks specielle konstruktion gjorde det mere udsat for visse typer uheld end andre værker. Var der i tide blevet foretaget en sådan analyse, ville man have foretaget nogle simple ændringer af værkets konstruktion. Ændringer, som efter al sandsynlighed ville have forhindret uheldet i at blive andet end en simpel driftsforstyrrelse. Nu er man gået i gang med at foretage en "Rasmussen-analyse" af alle amerikanske kernekraftværker.

Uheldet kunne ikke have udviklet sig

Endelig skal det nævnes, at Kemeny-kommissionens tekniske konsulenter nåede frem til, at uheldet ikke kunne have fået væsentligt større strålingsmæssig betydning, end det faktisk gjorde. Heller ikke selv om reaktorkernen var smeltet helt sammen. Man afviste også, at brint- eller dampekspllosioner kunne have beskadiget indeslutningen, så der var sluppet ekstra radioaktivitet ud i omgivelserne.

Kemeny-rapporten er blevet oversat til dansk og udgivet under titlen "Sådan gik det til".

De tekniske bilag til Kemeny-rapporten findes kun på engelsk som "Reports of the Technical Assessments Task Force".

Marts 1981



Vismændenes rapport om økonomien ved kernekraft

Den 13. juni 1980 offentliggjorde de danske økonomiske vismænd en rapport om kernekraftens økonomi i forhold til kulkraftens. Rapporten var resultatet af den undersøgelse, som regeringen et års tid tidligere havde bedt vismændene om at foretage. Det første kernekraftværk vil i følge disse beregninger spare landet for 235 millioner 1979-kroner pr. år i 25 år, og så tyder bl.a. kulprisernes udvikling endda på, at vismændene har vurderet den økonomiske fordel af kernekraften betydeligt.

Vismændene har set på perioden frem til år 2020. Med en gennemsnitlig vækst i elforbruget på 2,5% om året bliver der behov for syv kernekraftværker på 1300 megawatt hver eller fjorten kulfyrede værker på hver 650 megawatt.

Som forudsætning for beregningerne har vismændene antaget, at kulprisen vil stige med 2% om året op fra 1979-niveauet (målt i værdifaste kroner). Endvidere har man benyttet en beregningsrente (realrente, der stort set svarer til forskellen mellem markedsrenten og inflationen) på 7% p.a., og man har ikke medtaget omkostninger til en svovlrensning af røgen fra de kulfyrede værker. Herved har man for det første kernekraftværk med en tænkt start i 1992 fundet følgende produktionspris (omfatter også henlæggelse af et beløb til nedrivning af det udtjente værk efter 25-40 år). Den skal sammenlignes med det tilsvarende kulfyrede kraftværks produktionspris:

<u>Priser pr. kWh (kilowatt-time)</u>	<u>Kernekraft</u>	<u>Kulkraft</u>
Anlægsudgifter	6,8 øre	3,9 øre
Brændselsudgifter	4,6 øre	11,5 øre
Drifts- og vedligeholdelse	1,8 øre	1,0 øre
Ialt	13,2 øre	16,4 øre
	=====	=====

Priserne er gennemsnitspriser over kraftværkernes 25-årige levetid. Forskellen er altså 3,2 øre pr. kWh.

For det samlede kernekraftprogram har vismændene angivet, at fordelene svarer til ca. 500 millioner 1979-kroner årligt i hele perioden 1980 til 2020. Omregnes kernekraftfordelen - der jo først viser sig efterhånden som kernekraftværkerne går i drift - til en nuværdi, finder man en fordel på 6,5 milliarder 1979-kroner. Ved en nuværdiberegning tilbagediskonterer man den fremtidige fordel til nutiden med renter og renters rente. Hvis man undlader at tilbagediskontere fordelene til nuværdi, men summer fordelene op fra år til år, bliver kernekraftfordelen 44 milliarder 1979-kroner.

Den fremtidige kulpris udgør den største usikkerhed ved beregningerne. Der har været argumenteret for en hurtigere stigning i kulprisen end vismændenes 2% årligt. Da vismændenes rapport

fremkom i 1980, var kulprisen da også 20 til 25 procent højere end i 1979!

Som nævnt har vismændene ikke regnet med en svovlrensning af røgen fra de kulfyrede kraftværker. Af danske miljøhensyn og på baggrund af pres fra Norge og Sverige vil det være rimeligt at forvente, at kommende kulfyrede kraftværker skal forsynes med svovlrensning. Omtrent samtidigt med fremkomsten af vismændenes rapport oplyste miljøministeren overfor folketingets miljøudvalg, at man for en svovlrensning af røgen måtte regne med ekstraomkostninger på mellem 2 og 6,6 øre. Prisen ville bl.a. afhænge af den krævede rensningsgrad og den anvendte teknik.

Vismændenes beregningsrente på syv procent er højere end beregningsrenten i tidligere danske samfundsøkonomiske beregninger, der typisk har benyttet beregningsrenter på tre til fem procent.

Man kan derfor opstille andre og mere rimelige beregninger end vismændenes. Regner man med en fordobling af kulprisen fra ca. 1995, krav om svovlrensning på fremtidige kulkraftværker og benytter man en beregningsrente på fire procent årligt, finder man for hele kernekraftprogrammet en samlet fordel på over 100 milliarder kroner, det tilbagediskonteret til nuværdi svarer til over 30 milliarder 1979-kroner.

Betragter man det første kernekraftværk alene, finder man med vismændenes antagelser en fordel på ca. 235 millioner 1979-kroner hvert år i 25 år. Med de andre antagelser bliver den årlige fordel ved det første kernekraftværk næsten 1000 millioner kr.

Den nye danske energiplan - energiplan 81 - vil også indeholde nogle vurderinger af kernekraftens økonomiske fordel. I en foreløbig redegørelse for planen - der fremkom i december 1980 - regnede man det for tænkeligt, at kulprisen ville stige endnu hurtigere, så kernekraftfordelen vil blive over 1000 millioner kroner om året pr. kernekraftværk.

Der er andre usikkerheder i vismændenes beregninger. Det gælder f.eks. anlægsprisen for værkerne, disses udnyttelsesgrad* og uranprisen udvikling. Men disse usikkerheder har dog en meget mindre betydning for kernekraftfordelens størrelse end de ovenfor omtalte usikkerheder.

Vismændenes rapport benytter i øvrigt følgende antagelser:

Kernkraftens anlægspris: 3900 kr. pr. kW
Kulkraftens anlægspris: 2300 kr. pr. kW

Udnyttelsesgrad: 65% for begge kraftværker
Uranprisstigning: 2% årligt

Endelig skal det nævnes, at vismændene regner med en udbygning af kernekraften i andre lande, idet kulprisen ellers vil stige drastisk.

Se også nr. 423

Marts 1981



EPRI-rapporten - den vigtigste rapport om reaktorsikkerhed siden Rasmussen-rapporten.

Få dage efter uheldet på Tremileøen opdagede teknikerne, at der var noget "galt" med den radioaktive jod i reaktorindeslutningen (= den lufttætte bygning om reaktoren). Mindst 30% af den radioaktive jod i reaktorkernen var under uheldet blevet frigivet fra det overophedede brændsel.

I henhold til bl.a. Rasmussen-rapporten burde man da finde betydelige mængder radioaktivt jod i luften i indeslutningen. Det gjorde man ikke. Derimod fandt man joden i vandet i reaktortanken og på bunden af indeslutningen.

I Kemeny-rapporten (se nr. 505) skulle man afgive en redegørelse om uheldets forløb, og man måtte derfor også prøve at forklare jodens "mystiske" opførsel. Efter at have arbejdet med sagen i nogle måneder fandt nogle af USAs bedste sagkyn- dige på området forklaringen. Den lå i kemien.

Når radioaktivt jod frigives fra overophedet uranbrændsel, der er omgivet af vanddamp eller brint, vil joden optræde på en kemisk form, der let opsuges i vand - eller som sætter sig på den nærmeste faste overflade sammen med cæsium - dvs. som cæsium-jodid (CsI).

Det var man ikke opmærksom på, da Rasmussen-rapporten blev udarbejdet, og i denne rapport er det antaget, at joden befinder sig på en kemisk form, der ikke så let optages i vand, og som ikke sætter sig på faste overflader. Derfor regner Rasmussen-rapporten med, at der ved de alvorligste uheld kan slippe betydelige mængder radioaktivt jod ud i omgivelserne.

Grunden til denne overvurdering i Rasmussen-rapporten finder vi helt tilbage i 1957. Da skete der et uheld på en af reaktorerne på det engelske plutonium-anlæg ved Windscale, hvor brændslet blev overophedet og betydelige mængder radioaktivt jod slap ud i omgivelserne. (20.000 curie*).

Da Rasmussen-rapporten blev udarbejdet, kunne man støtte sig til erfaringerne fra en del uheld med forsøgsreaktorer og til uheldet på Windscale. Ved nogle af disse uheld var der sluppet betydelige mængder radioaktivt jod ud i omgivelserne - ved andre var der næsten intet jod sluppet ud. Og for at være på den sikre side, gik man i Rasmussen-rapporten ud fra de erfaringer, der havde givet de største udslip.

I dag ved vi, at denne antagelse er forkert for alle de reaktorer, der er vandkølede, og det er alle nyere reaktorer på kernekraftværker. Ved uheld på sådanne reaktorer vil der altid være vand, damp eller brint i nærheden af brændslet. Ved uheldet på Windscale var der derimod knastørt, og der var almindelig luft om brændslet.

Tre af forskerne bag Kemeny-rapporten henvendte sig den 14. august 1980 til de amerikanske atom-myndigheder NCR med en anmodning om, at man nu igangsatte en undersøgelse med hen-

blik på at finde frem til mere realistiske tal for udslip af radioaktivt jod til brug ved vurderinger af uheld på kernekraftværker. Man kunne nu ikke længere sige, at de benyttede vurderinger var udtryk for en forsigtig vurdering. De var simpelthen forkerte.

I løbet af efteråret 1980 blev der afholdt flere møder og høringer om dette spørgsmål hos NCR, og det må forventes, at der indenfor et overskueligt tidsrum vil fremkomme mere realistiske tal for mulige udslip af radioaktivt jod ved reaktorhavarier.

Tremileø-uheldet satte også ekstra skub i undersøgelserne af andre radioaktive stoffers opførsel under et reaktorhavari. For disse andre stoffer var teknikerne allerede før Tremileø-uheldet opmærksomme på, at Rasmussen-rapporten havde overvurderet de mulige udslip. Det havde bl.a. nogle vesttyske eksperimenter og beregninger vist.

De amerikanske el-selskabers forskningscenter EPRI startede i april 1980 en omhyggelig gennemgang af erfaringerne fra de uheld, man havde haft med forsøgsreaktorer i tidens løb - planlagte såvel som ikke-planlagte. Herved opdagede man, at ved uheld med vandkølede reaktorer var der aldrig sluppet større mængder radioaktivitet ud i omgivelserne. Den eneste undtagelse var de radioaktive ædelgasser* (xenon og krypton), som imidlertid heller ikke har større sikkerhedsmæssig betydning.

Vand og vanddamp havde fået de radioaktive stoffer til at samle sig i små partikler, der var faldet ned hurtigt efter frigivelsen fra det overopledede brændsel.

Forskere fra EPRI prøvede at efterberegne et af de stedfundne uheld med Rasmussen-rapportens beregningsmodeller. Den overvurderede udslippet af radioaktivitet meget betydeligt.

Efter at have bearbejdet alle de foreliggende oplysninger nåede EPRI-forskerne frem til, at Rasmussen-rapporten havde beregnet 10-100 gange for store udslip af de vigtigste radioaktive stoffer.

Med dette resultat henvendte man sig i november 1980 til NCR og bad om, at NCR ville tage udslippene af alle radioaktive stoffer ved uheld op til nyvurdering. Det sker nu, men der kan godt gå år, før NCR har fået fastlagt mere realistiske tal.

Men da ingen af de foreliggende erfaringer støtter de antagelser, der benyttes i Rasmussen-rapporten, må resultatet blive en betragtelig nedvurdering af udslippene.

Marts 1981



Blandt de mange rapporter, der har sammenlignet risiciene ved forskellige energikilder, er Inhaber-rapporten den, der har vakt størst opsigt og "forargelse". Inhaber, der er canadier, udarbejdede i 1977 sin første rapport med en sammenligning mellem risiciene ved næsten alle tænkelige energikilder. Fra kul- og kernekraft til vindmøller, solkraftværker og "energi-skove" til fremstilling af methanol (træsprit).

I beregningerne medtager Inhaber alle de skader på mennesker, der hidrører fra bygningen og driften af de forskellige energianlæg. Regnskabet for hver enkelt energikilde begynder derfor i de miner, hvor man udvinder jern eller andre materialer, der skal benyttes til bygningen af det pågældende energianlæg. Derefter ser Inhaber på de ulykker og skader, der sker under bearbejdningen og transporten af materialerne og under opførelsen af anlægget.

For driftsperioden registreres bl.a. omfanget af arbejdsulykker i kul- og uranminer samt arbejdsulykkerne på de anlæg, hvor olie og naturgas udvindes og behandles. Tilsvarende medregnes skaderne ved at "høste" energi-skovene eller andre afgrøder, der skal udnyttes som brændsel. Endvidere medregnes for driftsperioden skaderne af den luftforurening, der opstår ved forbrænding af de forskellige brændsler.

Som grundlag for beregningerne har Inhaber især benyttet sig af amerikanske og canadiske data. Risikoen ved at fremskaffe og bearbejde materialerne til bygningen af energianlæggene finder han ved at se på statistikken for arbejdsulykker i minerne, i fabrikkerne og i transportsektoren. Ved at se på hvor store materialemængder og hvor stor en arbejdsindsats, der medgår til bygningen af de forskellige energi-anlæg, finder Inhaber herved en gennemsnitlig risiko ved at bygge hver af de forskellige typer.

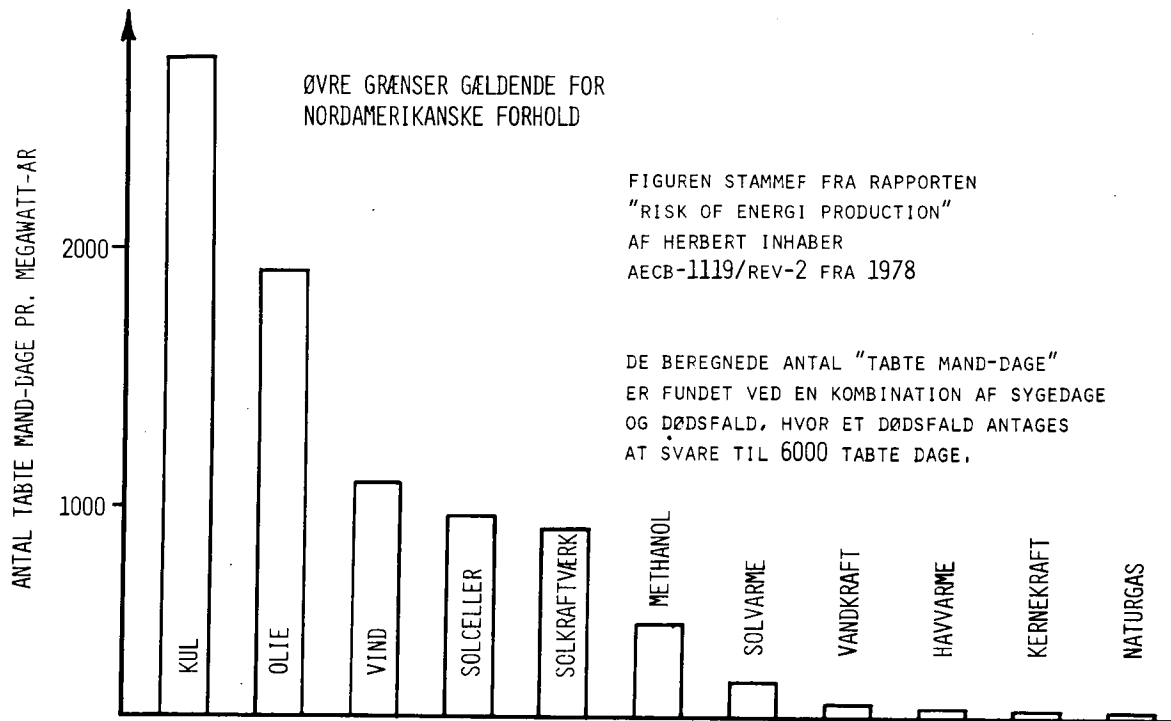
For driftsfasen benytter Inhaber de statistiske erfaringer for ulykker i kul- og uranminer, ved olie- og gasudvinding samt ved transporten af disse brændsler. Endvidere benytter han de statistiske erfaringer for arbejdsulykker på kraftværkerne.

Store ulykker som kernekraftuhaverier og storbrande og eksplosioner ved olie- og gasanlæg medregnes som en gennemsnitsrisiko ud fra teoretiske beregninger af disses sandsynlighed og omfang.

Herved får Inhaber medregnet alle de risici, der er forbundet med egentlige ulykker. Herudover medtager han også de arbejds sygdomme, der fører til dødsfald eller invaliditet. Her er det især kulminearbejdernes "sorte lunger", der frembyder en risiko. Hertil kommer så sygdomme og dødsfald forårsaget af den luftforurening, der fremkommer ved forbrænding af kul, olie, gas og methanol - samt følgerne af den radioaktive forurening fra kernekraftværkerne. Endelig medregner Inhaber følgerne af den luftforurening, der opstår ved driften af de anlæg og fabrikker, der udvinder og bearbejder de materialer, der indgår

i bygningen af energianlæggene. Den herved beregnede risiko sætter Inhaber til sidst i relation til den energimængde, hver af de betragtede energianlæg kan producere.

Nedenstående figur viser nogle af resultaterne:



For de ustabile energikilder som vindmøller og solenergi-anlæg er figurens tal baseret på, at de suppleres med almindelige kraftværker og/eller med energilagere.

Det var ikke overraskende, at Inhaber kunne beregne de største risici ved kul og olie. Men for mange mennesker var det en overraskelse, at vindmøller, solkraftanlæg og methanol lå så langt over kernekraften og naturgassen.

Da Inhaber-rapporten kom frem, vakte den stor fortørnelse blandt amerikanske kernekraftmodstandere. Disse mente dels, at man ikke kunne tillade sig at opstille beregningerne på den måde, Inhaber havde gjort, og dels at der var fejl i hans talmateriale og vurderingsgrundlag.

Nogle af de benyttede tal kunne godt diskuteres, og man kunne også gå ud fra andre antagelser i sammenligningen. I en revideret rapport, som Inhaber udsendte i 1978, har han suppleret rapporten med nye beregninger, men det har ikke haft større indflydelse på slutresultatet. Og akcepterer man det princip, at man skal medtage alle de risici, der er i forbindelse med de enkelte energikilders opbygning og drift, må man regne med, at rækkefølgen af energikilder stort set altid vil svare til den, Inhaber fandt i sin første rapport.

(Se også nr. 509, der specielt behandler den arbejdsrisiko, der findes ved de forskellige energikilder).

Marts 1981



I perioden 1976-78 blev der i Sverige udarbejdet et stort antal rapporter til belysning af forskellige forhold ved fremstilling og udnyttelse af energi. Blandt andet lod man overingeniør Yngve Hagerman fra det svenske arbejdstilsyn - arbejdsrisikostyrelsen - udarbejde en rapport om arbejdsrisiciene ved forskellig energikilder.

I videst muligt omfang søgte Hagerman at medregne alle de risici, som arbejderne ved de forskellige energikilder blev udsat for. For kernekraftens vedkommende betragtede han således hele brændselskredsløbet fra udvindingen af uranmalmen til deponeringen af det højaktive affald. For kullene gælder noget tilsvarende, idet dog behandlingen og deponeringen af kulasken ikke blev medregnet i beregningerne.

I modsætning til Inhaber (se nr. 508) medtog Hagerman normalt ikke de arbejdsrisici, der er forbundet med opførelsen af de forskellige energianlæg. Kun for vandkraft og vindkraft medregnes disse risici, idet der her er tale om langt større bygningskonstruktioner end ved de øvrige energikilder.

Resultatet af Hagermans undersøgelser er vist på figuren på næste side. For hver energikilde er der beregnet tre risikotal. Dels er der angivet antallet af dødsfald, dels er der angivet antallet af arbejdsulykker, der ikke fører til dødsfald, og dels er der angivet et kombineret risikotal, hvor hvert dødsfald er registreret som 7500 tabte arbejdsdage og hvor hver arbejdsulykke registreres som 25 tabte arbejdsdage.

Den største risiko findes ved udnyttelsen af træ og kul som brændsel; den mindste risiko findes ved naturgas, kernekraft og vandkraft. Mellem disse yderværdier findes tørv og olie.

De anførte tal er alle omregnet, så de svarer til den gennemsnitlige risiko ved et års drift af et stort kraftværk på 1000 MW_e *. (Der er midlet over 30 år).

Til de enkelte energikilder skal der knyttes følgende bemærkninger:

Træ: Den store arbejdsrisiko skyldes her fældningen og transporten af de enorme mængder træ, der vil være behov for ved driften af et store kraftværk.

Kul: Der er her regnet med underjordiske kulminer. Ved overfladebrydning af kul vil der være en betydeligt mindre risiko.

Tørv: Tallene er her især baseret på finske erfaringer.

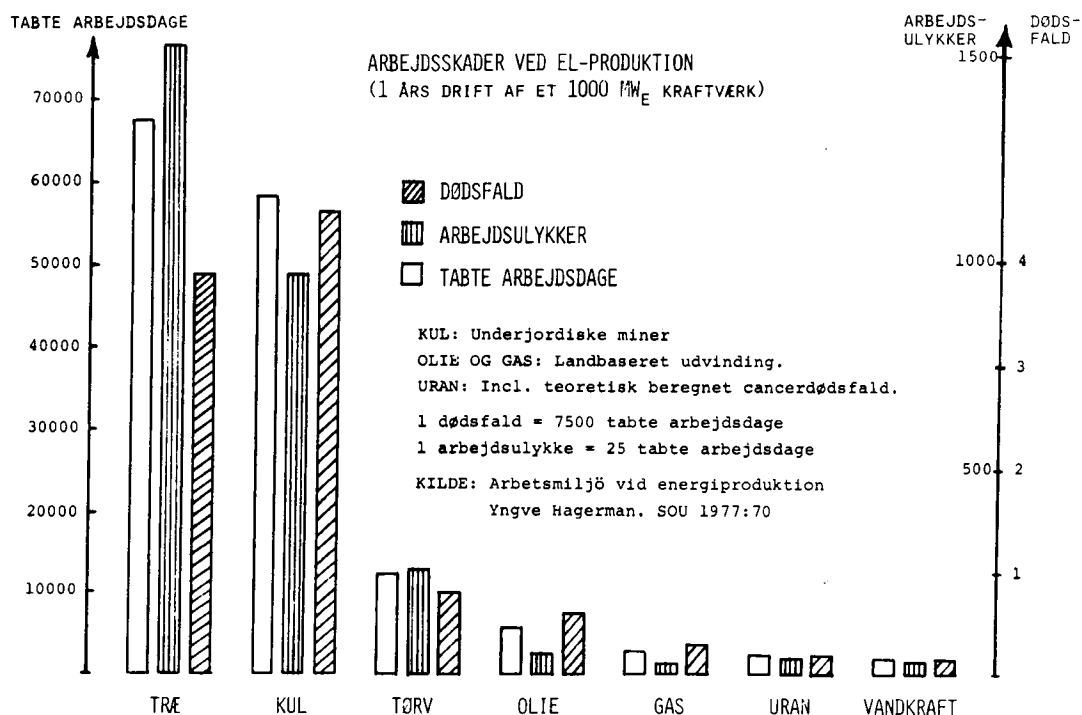
Olie: Her er der regnet med landbaseret olieudvinding. Med olieudvinding til havs (Nordsøen) vil der blive tale om betydeligt større risikotal.

Naturgas: Tallene er her især baseret på amerikanske erfaringer for naturgasudvinding på land. Ved naturgasudvinding til havs vil tallene blive noget højere.

Uran: Her er tallene især baseret på svenske erfaringer og beregninger. I tallene er medtaget de mulige skader af stråling. For de øvrige energikilder er der ikke taget hensyn til de mulige virkninger af den forurening, de er årsag til.

Vandkraft: Tallene er baseret på svenske erfaringer. For andre lande kan tallene afvige noget.

Vindkraft: Her foretager Hagerman ikke nogen egentlig beregning men skønner blot, at risikoen ved vindkraft vil være noget større end ved vandkraft.



Marts 1981



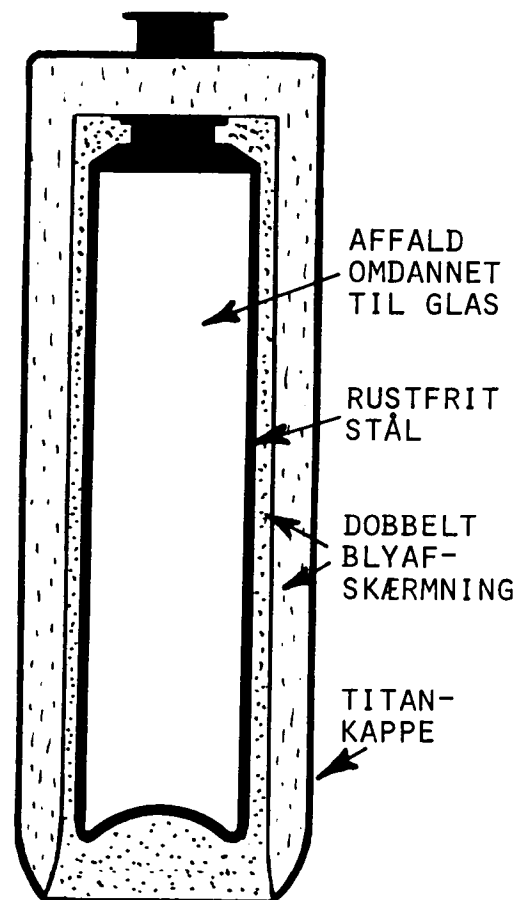
I april 1977 vedtog den svenske rigsdag en lov om, at der ikke måtte igangsættes nye kernekraftværker i Sverige, før el-selskaberne havde vist, hvordan det højaktive affald kunne behandles og deponeres på en helt sikker måde. Loven fik navnet "Vilkårsloven", idet den indeholdt vilkårene for, at kernekraftværkerne Ringhals III og Forsmark I kunne tages i brug.

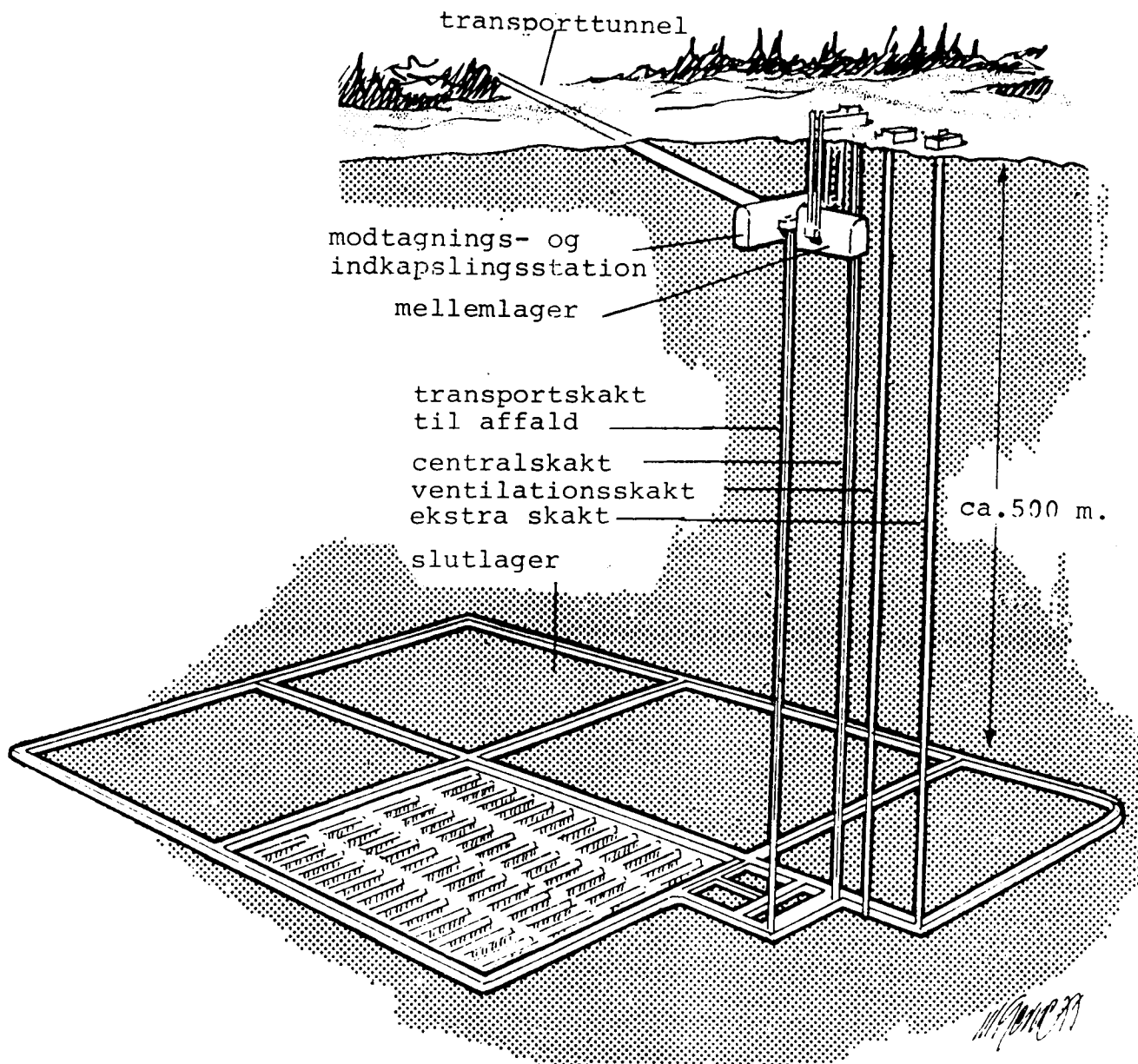
For at kunne opfylde disse vilkår igangsatte el-selskaberne det såkaldte KBS-projekt. KBS står for kerne-brændsel-sikkerhed. Allerede før vilkårslovens vedtagelse havde man i Sverige arbejdet med forskellige metoder for behandling og deponering af det højaktive affald, men i KBS-projektet samlede man nu alle kræfterne om at dokumentere, at Sverige havde en helt sikker løsning.

Allerede i december 1977, kun 8 måneder efter vilkårslovens vedtagelse, kunne el-selskaberne fremlægge 130 rapporter med en nøje beskrivelse af, hvordan det højaktive affald kunne behandles og deponeres. El-selskaberne anviste en model, hvorefter de udbrændte brændselsstave behandles på et fransk oparbejdningsanlæg, hvor man udskiller det højaktive affald og omdanner det til glas. Glasset skal herefter indstøbes i nogle cylindriske beholdere af rustfrit stål, der yderligere omgives af en kappe af bly og titan. Disse affaldscylindre skal herefter opbevares i et mellem-lager, som i princippet er en stor underjordisk hule. Efter en årrækkes ophold i mellem-lagret finder den endelige deponering sted. Den svenske løsning går ud på, at affaldet deponeres i landets grundfjeld i 500 meters dybde. Deponeringen skal ske som vist på tegningen på næste side.

Gennem nogle lodrette elevator-skakte transporteres affaldet i cylinderform ned i grundfjeldet. Inden den endelige deponering omgives cylindrene med den førnævnte kappe af bly og titan. Herefter føres affaldet videre til nogle lodrette huller i grundfjeldet, hvor hver affaldscylinder placeres i sit eget hul.

Hullet udenom cylindrene pakkes tæt med en blanding af bentonit og sand. Denne blanding har den egenskab, at den udvider sig, når den bliver fugtig. Trænger der derfor som forventet grundvand ind til affaldscylindrene, vil blandingen af bentonit og sand udvide sig og danne en tæt "pakning", som standser enhver gennemstrømning af vand. Blandingens kan endvidere optage mange metaller, der er opløst i vand. Virkningen er den samme som i et ion-





bytte-filter, der benyttes til at "blødgøre" hårdt vand ved opfangningen af "kalken" i vandet.

Hvis der derfor rent hypotetisk skulle gå hul på en affalds-cylinder, så der sker en langsom nedbrydning af glasset og en frigørelse af radioaktivitet, vil blandingen af bentonit og sand dels sikre, at der kun kan ske en meget langsom gennemsivning af vand, og dels sikre, at næsten alle radioaktive stoffer opfanges på stedet. Skulle der endelig ske et eller andet uforudset og voldsomt med affalds-cylindrene, vil det næsten helt vandtætte grundfjeld sikre, at de radioaktive stoffer kun langsomt kan bevæge sig bort fra deponeringspladsen. Endvidere vil der ske en opfangning af radioaktiviteten på væggene i de sprækker,

som grundvandet siver igennem.

I KBS-projektet kunne man derfor beregne, at ingen mennesker kunne blive udsat for en bestråling fra affaldet på mere end en lille brøkdel af den naturlige baggrundsstråling* i Sverige - og det selv med meget pessimistiske beregninger. El-selskaberne mener derfor, at de med KBS-projektet har vist, at man på en helt sikker måde kan behandle og deponere højaktivt affald i Sverige.

Statsministeren krævede konkret sted udpeget til deponeringen

Men regeringen under kernekraftmodstanderen, statsminister Torbjörn Fälldin, kunne ikke i første omgang godkende de fremlagte planer, men krævede, at el-selskaberne endvidere skulle kunne pege på ét konkret sted, hvor deponeringen kunne ske. Stedet skulle være nøje analyseret, så man kunne se, at det overholdt de krav, der var opstillet i de hidtidige rapporter. Disse krav blev fremsat i oktober 1978.

El-selskaberne havde i forbindelse med KBS-projektets første del foretaget nogle undersøgelser af grundfjeldet forskellige steder i Sverige. På denne baggrund valgte de at gennemføre en serie prøveboringer på Sternø, som er en lille halvø på Skånes østkyst.

El-selskaberne satte store ressourcer ind på at få en hurtig afklaring af spørgsmålet, og få måneder senere forelå måleresultaterne sammen med flere geologiske rapporter om grundfjeldets egenskaber på Sternø. Der opstod en diskussion om fortolkningen af de gennemførte prøveboringer. Især var der uenighed om hvor stort et område af grundfjeldet, der kunne benyttes som affaldsdepot, og der var dermed tvivl om, hvorvidt man ved Sternø kunne deponere affaldet fra hele det svenske kernekraftprogram, der blev anslået til 13 reaktorer i 30 år.

De geologiske undersøgelser af Sternø-området blev forelagt de svenske myndigheder i begyndelsen af 1979, og efter tre måneder kunne kernekraft-inspektionen godkende de fremlagte planer. Herefter var det op til regeringen at tage den politiske beslutning om at godkende KBS-projektet, hvorved svenskerne ville få den endelige løsning med hensyn til både behandlingen og deponeringen af det højaktive affald. Allerede i efteråret 1978 var den borgerlige regering under statsminister Torbjörn Fälldin fra Center-partiet revnet på spørgsmålet om kernekraftens videre udvikling i Sverige. Fälldin trådte tilbage, og Ola Ullsten fra Folkepartiet blev statsminister. Herved slap Torbjörn Fälldin for at skulle godkende KBS-projektet som den svenske løsning på affalds-spørgsmålet. Det gjorde i stedet regeringen under Ola Ullsten i juni 1979.

KBS-II: Direkte deponering af de udbrændte brændselsstave

Arbejdet med KBS-projektet er blevet fortsat. Blandt andet

har man undersøgt mulighederne for en såkaldt "direkte deponering" af de udbrændte brændselsstave fra kernekraftværkerne. En sådan løsning kunne komme på tale, hvis man ikke ønskede at oparbejde de udbrændte brændselsstave for at udvinde den resterende uran og plutonium. Hertil kræves en anden form for deponering. Denne løsningsmåde er beskrevet i det såkaldte KBS-II projekt, der blev afleveret til regeringen i sommeren 1979. Den går ud på, at de udbrændte brændselsstave indkapsles i en kappe af bly og kobber. Dette skal ske 10 til 40 år efter, at brændselsstavene er taget ud af reaktoren.

Disse affaldsbeholdere skal herefter deponeres stort set på samme måde som de affaldscylindre, der indeholder affald på glas-form - dvs. i 500 meters dybde i et tæt grundfjeld. Endvidere skal affaldsbeholderne omgives af et lag af bentonit og sand, der dels sikrer en tæthed mod vandgennemstrømning og dels yder en ekstra sikkerhed for, at der ikke slipper radioaktive stoffer ud til omgivelserne. Deponeringen kan i givet fald ske i samme grundfjeld på Sternø som for KBS-I-projektets vedkommende.

Det amerikanske Videnskabernes Akademi: KBS-projektet blå-stemples

De mange KBS-rapporter er alle blevet vurderet og kontrolleret af forskere og teknikere fra uafhængige institutioner, universiteter osv. verden over.

Det amerikanske Videnskabernes Akademi (National Academy of Sciences, N.A.S.) har således nøje gennemgået KBS-II-projektet, og selskabets hovedkonklusion er, at de gennemførte svenske undersøgelser er tilstrækkelige til at understøtte KBS-II-projektets resultater.

N.A.S. har specielt undersøgt to vigtige spørgsmål: Kan man regne med, at bly- og kobberindkapslingen kan modstå påvirkningerne af grundvand i en meget lang periode? Og kan man regne med, at de geologiske forhold sammen med "pakningen" af bentonit og sand vil sikre, at de radioaktive stoffer kun langsomt og i små mængder slipper ud i omgivelserne, hvis indkapslingen skulle blive ødelagt en gang i fremtiden?

Hovedkonklusionen i rapporten fra N.A.S. er, at de gennemførte undersøgelser er tilstrækkelige til at understøtte KBS-II projektets resultat, nemlig at man kan sikre sig imod, at radioaktive stoffer frigives i uacceptable mængder fra et deponeringssted, der er konstrueret som anført i KBS-rapporten.

På engelsk lyder konklusionen direkte: "The Subcommittee agrees that the available technical data are adequate

to support the conclusion in the KBS-II Plan that radio-nucleides will not escape at unacceptable rates from a repository built as specified in the KBS-II report, provided that construction is well engineered and a proper site is used".

I rapporten fra N.A.S. præciseres det flere steder, at man ikke med godkendelsen af KBS-II løsningen har sagt, at denne løsning vil være den bedste og den billigste for Sverige. Man har alene fastslået, at løsningen er helt sikker - og nogle af forskerne bag rapporten fra N.A.S. er endda af den opfattelse, at KBS-II løsningen indeholder en sikkerhedsgrad, der langt overstiger det nødvendige. Blandt andet stiller man sig tvivlende over for kravet om, at indkapslingen behøver at kunne holde i flere hundrede tusinde år. Efter blot tusinde år vil langt det meste af radioaktiviteten være forsvundet ved henfald.

Da næppe nogen vil bestride, at N.A.S. råder over nogle af verdens bedste sagkyndige inden for fysik, kemi og geologi, og da næppe nogen vil hævde, at akademiets bedømmelser kan påvirkes af "politisk pression", har den svenske løsning på affalds-spørgsmålet hermed fået det blå stempel af en gruppe uafhængige forskere udvalgt blandt de bedst kvalificerede i verden.

I dag - marts 1981 - er status for den svenske affalds-løsning, at man arbejder videre med de metoder, der er beskrevet i KBS-planen. Herunder søger man at fremskaffe mere nøjagtige oplysninger om stabiliteten af indkapslingsmaterialer og om grundfjeldets egenskaber. Endvidere undersøges grundfjeldet flere andre steder i Sverige for at se, om man her kan benytte enklere løsninger end den løsning, der kan benyttes i Sternø-området.

1) "A Review of the Swedish KBS-II Plan for Disposal of Spent Nuclear Fuel". National Academy of Sciences. Washington, D.C. 1980.

Marts 1981



Mancuso-undersøgelsen

I de senere år har der været offentliggjort adskillige rapporter, der efter forfatterens mening har påvist en forøget kræfthyppighed blandt de personer, der gennem deres arbejde har været udsat for små stråledoser. Men disse rapporter har der ikke været noget videnskabeligt hold i.

Den undersøgelse, der vakte størst opsigt og tog længst tid at tilbagevise, er den såkaldte Mancuso-undersøgelse af kræftdødeligheden blandt arbejdere på det amerikanske atomanlæg Hanford.

Undersøgelsen begyndte i 1964, hvor den amerikanske atomenergi-kommission indgik en kontrakt med Dr. Thomas Mancuso. Han skulle undersøge de mulige helbredsskader af de tilladelige stråledoser, som nogle af arbejderne på Hanford-anlægget blev udsat for. I undersøgelsen deltog endvidere statistikeren B. Sanders og helsefysikeren A. Brodsky. Arbejdet fortsatte nu i elleve år. Hvert år udsendtes en statusrapport, der i ingen tilfælde antydede forøget kræftdødelighed blandt de ansatte. Da myndighederne trods flere ryk-kere ikke kunne få Mancuso til at afgive en endelig rapport, besluttede man i 1975 at afslutte kontrakten ved udgangen af 1977. På dette tidspunkt blev Mancuso 65 år, og man regnede med, at han ville gå på pension.

Brodsky havde på dette tidspunkt allerede forladt arbejdet, og Mancuso fyrede nu B. Sanders. I stedet allierede han sig med englænderne Alice Steward og Georg Kneale, der kom til USA i foråret 1976. I løbet af få måneder fik disse tre gjort undersøgelsen færdig og offentliggjorde deres resultater ved en konference for helsefysikere i oktober samme år. I november 1977 fremkom en ny version i tidsskriftet "Health Physics", og endnu en ny version fremkom i marts 1978.

I de første rapporter angav Mancuso, Steward og Kneale (MSK), at den internationale sagkundskab hidtil havde undervurderet risikoen for kræft ved lave stråledoser mindst tyve gange. I den følgende rapport angav de tre, at sagkundskaben kun havde undervurderet risikoen ca. ti gange.

Rapportens konklusioner og analysemetoder blev hurtigt kritiseret af andre forskere. I februar 1977 fremkom den første kraftige kritik fra Dr. Charles E. Land fra "National Cancer Institute", og flere og flere forskere har tilbagevist Mancusos arbejder. Den første gennemgribende analyse af hans påstande blev fremlagt i februar 1978 ved en høring i repræsentanternes hus udvalgt for sundhed og miljø af Dr. Ethel S. Gilbert fra Batelle-laboratorierne i Washington. Hun påpegede bl.a., at MSK-analysemetoden let kan føre til fejlslutninger, hvis man ikke er påpasselig (se eksemplet på svindel med statistik i nr. 512, som minder om den fejl, Mancuso først begik ved sammenligningen af dødsfaldene blandt bestrålede og ikke-bestrålede Hanford-arbejdere).

Dr. Gilbert har naturligvis selv analyseret MSKs data ved en metode, der ikke indebærer mulighed for disse fejlslutninger. Hendes resultater viser oven i købet et lille underskud af kræfttilfælde hos bestrålede arbejdere i forhold til ikke-bestrålede!

Ser man på kræftformerne hver for sig, viser to meget sjældne kræftformer sig at forekomme i større antal hos de bestrålede arbejdere, mens der så er et tilsvarende lille underskud blandt de hyppigst forekommende kræftformer. Dette kan skyldes statistiske tilfældigheder. Specielt bemærker Dr. Gilbert, at der ikke er en forøget forekomst af leukæmi*- hvilket skulle være den sygdom, der først og fremmest skulle vise sig ved påvirkning af stråling.

Mange andre eksperter indenfor radiobiologi og medicinsk statistik har siden tilsluttet sig afvisningen af MSKs arbejder. De vigtigste er anført nedenfor. Det bør bemærkes, at også Mancusos tidligere medarbejdere, B. Sanders og A. Brodsky har taget afstand.

Amerikanske kernekraftmodstandere har ved flere lejligheder protesteret over, at myndighederne opsagde kontrakten med Mancuso. Spørgsmålet har været forelagt den amerikanske rigsrevision. Den erklærede den 1. februar 1979, at myndighederne var fuldt berettigede til at afbryde kontrakten med Dr. Mancuso, idet undersøgelsen tilsyneladende aldrig ville blive færdig.

Foruden de allerede nævnte har følgende taget afstand fra MSKs konklusioner:

Reissland og Dopphin fra det britiske "National Radiobiological Protection Board"

T. W. Anderson fra University of Toronto

S. Marks Fra Batelle-laboratorierne

G. B. Hutchison fra "National Cancer Institute", USA

L.A. Sagan fra Electric Power Research Institute, USA

Kenneth Rothman fra Harvard School of Public Health, USA

Den internationale kommission for strålingsbeskyttelse (ICRP)

Ekspertudvalg under det amerikanske videnskabernes selskab (BEIR)

Marts 1981



Er strålingen farlig eller gavnlig?

- Et eksempel på misbrug af statistik -

I Storbritannien har man undersøgt dødsårsagen hos 2730 atomarbejdere, der er døde siden 1956. Tallene er sammenfattet i nedenstående tabel. Ved hjælp af denne kan man vise, at stråling forøger sandsynligheden for kræft - men man kan også med de samme tal vise det stik modsatte; at stråling reducerer sandsynligheden for kræft.

NOGLE DØDSHYPPIGHEDER BLANDT BRITISKE ATOM-ARBEJDERE

Dødsårsag	Antal	Forventet antal	Antal:Forventet
Alle	2730	3652	0,75
Kræft	730	858	0,85
Kredsløbssygdom	1497	1651	0,91
Luftvejssygdom	173	437	0,40
Mavesygdom m.m.	65	90	0,72
Urinvejssygdom	26	47	0,55
Ulykke	153	197	0,78
Heraf trafik	71	68	1,04

Tabellen viser, at af de ialt 2730 dødsfald var de 730 forårsaget af kræft. Andelen af kræftdødsfald er da 26,7%.

Ser man imidlertid på en tilsvarende statistik for hele den britiske befolkning, udgør kræftdødsfaldene kun 23,5% af samtlige dødsfald. Blandt atomarbejderne er der de 3,2% flere, der dør af kræft end blandt den øvrige befolkning. Man kunne derfor slutte, at det måtte være bestrålingen af atomarbejderne, der var årsag til den større hyppighed. Den konklusion er bare forkert!

Når man skal vurdere forholdet mellem forskellige dødsårsager, må man i det mindste tage hensyn til den aldersfordeling, den pågældende befolkningsgruppe har. Gør man det for de britiske atomarbejdere, finder man et ganske andet resultat.

Ud fra aldersfordelingen af de britiske atomarbejdere burde man som anført i tabellen have forventet 858 kræftdødsfald siden 1956. Dette tal svarer nemlig til middeltallet for en tilsvarende aldersfordeling i den øvrige britiske befolkning. Så der er altså 128 kræftdødsfald "for lidt" blandt de britiske atomarbejdere ($858 - 730 = 128$).

Man kunne da konkludere, at arbejde med stråling reducerer sandsynligheden for kræft. Men også den konklusion er forkert.

Ser man på de andre dødsårsager, opdager man, at der af dem alle (pånær trafikdødsfald, der jo i hvert fald ingen sammenhæng kan have med strålingsarbejdet) er et underskud blandt atomarbejderne. Et tilsvarende forhold er kendt for andre grupper arbejdere, hvor der ved ansættelse er foregået en bevidst eller ubevidst udvælgelse, og hvor arbejderne undergår jævnlig lægeundersøgelser. Denne velkendte effekt kaldes "Healthy Workers"-effekten.

Dette eksempel viser, at det er en meget vanskelig sag at omgås statistik og finde ud af, om stråling har indvirkning på arbejdernes helbred. Den forventede effekt er så lille, at man selv med omhyggelige undersøgelser næppe vil kunne konstatere nogen statistisk effekt i noget land i dette århundrede.

Se også side 511 om Mancuso-undersøgelsen, der i modsætning til ovenstående tal er blevet brugt i den hjemlige debat om kernekraft, og hvor forfattere har begået en fejl, der svarer til den første fejl anført ovenfor.

Litteratur:

IAEA Bulletin, vol. 19 nr. 2. (Herfra stammer tabellens tal)

Marts 1981, tilføjelse Feb. 1983 og Jan. 1987.



Silkwood - historien

Laboratorietekniker Karen Silkwood var ansat på Kerr-McGee selskabets Cimarron anlæg i Oklahoma, hvor der blev fremstillet plutonium-uran brændselselementer til en forsøgs-formeringsreaktor ved det statslige anlæg HANFORD i Washington.

Hun omkom i 1975 ved en bilulykke på vej til et møde med en journalist og en fagforeningsrepræsentant. - Et møde, hvor hun ville dokumentere nogle tidligere fremsatte påstande om, at firmaet fuskede med kvalitetskontrollen af brændselselementerne, og at det ikke overholdt sikkerhedsforskrifterne. Hendes optegnelser herom, som hun efter sin fagforenings påstand skulle have haft med sig ved køreturens begyndelse, er ikke siden blevet fundet.

Vedrørende kvalitetskontrollen påstod Silkwood, at der blev rettet på røntgenbillederne af brændselselementernes svejsesømme. En medarbejder indrømmede over for en undersøgelseskommission fra Atomenergikommissionen, at han med en tuschpen havde rettet på røntgenbillederne, men kun i den hensigt at skjule ridser i filmene, der kunne tolkes som fejl i svejsesømmene. Dette var gjort af ham selv uden ledelsens viden. Firmaet Westinghouse, der står for driften af Hanford formeringsreaktoren, kontrollerede selv brændselselementerne omhyggeligt ved modtagelsen fra Kerr McGee og godtog 97% af dem. Af de 3% returnerede var de fleste kun lettere skrammede (hvad man ikke accepterede) eller også var de blevet snavsede under transporten.

Kort før sin død blev Karen Silkwood kontamineret (forurenede) med plutonium. Hendes urinprøver indeholdt plutonium og hendes hjem fandtes også at være plutoniumkontamineret. Hvordan dette er sket, er aldrig blevet opklaret. Da nogle af urinprøverne kunne påvises at være blevet tilsat plutonium, efter at urinen var ladet, er det muligt, at Karen Silkwood selv har gjort dette og også kontamineret sig selv og sit hjem, for at skaffe bevis for, at firmaet slødede med sikkerheden. At firmaet, som det er blevet påstået, skulle have forsøgt at ombringe Silkwood ved at forgive hende med plutonium, er vrøvl. Silkwood ville have kunnet leve i mange år, selv efter en alvorlig plutoniumforgiftning. En indgivelse af plutonium ville iøvrigt heller ikke kunne skjules. Det kan derimod slås fast, at firmaets sikkerhedskontrol åbenbart ikke var bedre end, at det faktisk var muligt for Silkwood at kontaminere sig selv og sit hjem. Eller for andre at gøre det!

Silkwood omkom som sagt ved en bilulykke. Hendes bil kørte af vejen og ramte en stenkiste. Der var ingen vidner til ulykken. Politiet konkluderede, at hun var faldet i søvn ved rattet, og det baseredes væsentligst på, at man ved obduktionen fandt, at hun havde indtaget "mere end en terapeutisk dosis" af sovemidler. Fagforeningen har påstået, at hun blev tvunget af vejen af et andet køretøj. Beviset herfor skulle være nogle skrammer bag

på hendes bil. Politiet mener derimod, at skrammerne er opstået, da Silkwoods bil blev slæbt væk af en krabvogn. Sagen er afsluttet fra politiets side.

Efter Silkwoods død indgav fagforeningen en klage over Ker McGee på ialt 39 punkter til atomenergikommissionen. Heraf fandtes de 2 af dem at være overtrædelser af gældende forskrifter og 12 at have "noget på sig" uden direkte at være overtrædelser af forskrifter. Herudover fandt kommissionen 3 overtrædelser, som fagforeningen ikke havde klaget over. Alle 5 overtrædelser blev karakteriseret som meget "små". Firmaet fik en påtale, men der blev ikke indgivet politianmeldelse.

I 1979 tilkendtes Silkwoods pårørende en erstatning fra Kerr McGee på 10,5 millioner \$ ved en nævningedomstol. Sagen beskæftigede sig ikke med Silkwoods død, men kun med firmaets ansvar for hendes kontaminering med plutonium. Nævningene fandt, at firmaet havde dette ansvar, selv om ingen overtrædelser af gældende regler var konstateret. Retssagen fandt sted kort tid efter Tre-Mile-Ø-uheldet, og det kan have påvirket nævningene. Erstatningssager af dette indhold og med afgørelser som i denne sag er ret almindelige i USA. Kerr McGee har appelleret sagen til en højere instans.

Det er vanskeligt at vurdere, hvad der er det korrekte i "Silkwood"-historien". Var der tale om en samvittighedsfuld laboratorietekniker, der ville "afsløre" et firma, der ikke levede op til den nødvendige standard - eller var der tale om et sindsforvirret menneske, der overreagerede på nogle mindre overtrædelser af de gældende forskrifter, og til sidst slog sig selv ihjel?

I december 1981 blev ovennævnte erstatning behandlet ved appelldomstolen i Denver, som omstødte nævningedomstolens kendelse om, at Kerr McGee skulle betale 10,5 millioner \$ i erstatning til Silkwoods pårørende. Appeldomstolen nedsatte erstatningen fra 10,5 millioner \$ til 5000 \$. Grunden til, at Kerr McGee ikke helt blev frikendt, var, at domstolen fandt, at firmaet havde en medskyld i forureningen af Karen Silkwoods lejlighed.

Silkwoods pårørende appellerede denne afgørelse til Højesteret, og i august 1986 indgik parterne et forlig, som gik ud på, at sagen afsluttedes ved, at Kerr McGee betalte 1,38 millioner \$ i erstatning. Sagen havde da varet i over 10 år.

Da nævningedomstolen dømte Kerr McGee til at betale 10,5 millioner \$ i erstatning, blev det omtalt i store dele af pressen - også her i Danmark. Men da appeldomstolen nedsatte erstatningen til 5000 \$, blev det ikke omtalt i nogen dansk avis eller i Danmarks Radio. Derimod blev forliget ved Højesteret med den store erstatning omtalt i både aviser, Danmarks Radio og TV.

Marts 1981



Kernekraftens økonomiske fordel i andre lande

I de danske undersøgelser af den økonomiske fordel ved kernekraften har man foretaget beregninger, der må baseres på en række antagelser om den fremtidige udvikling - herunder især kul- og olieprisernes vækst.

Andre lande har allerede kernekraftværker i drift, og her kan man derfor både se på de faktiske erfaringer og foretage beregninger for fremtiden.

I det følgende omtales nogle erfaringer og beregninger fra andre lande.

Frankrig.

Det franske statslige el-selskab har oplyst, at i begyndelsen af 1980 kostede det 13,5 c (18,0 øre) at producere en kWh* på kernekraftværkerne i Frankrig, mens det kostede 24,8 c (33,0 øre) på de kulfyrede værker. For oliefyrede værker var prisen helt oppe på 36,3 c (48,4 øre) pr. kWh.

I disse tal er ikke medregnet omkostninger ved en rensning af røgen for svovl (SO₂). El-selskabet skønner, at det ville koste 2,5 - 2,8 c (3,3² - 3,7 øre) ekstra pr. kWh for kul- og oliefyrede værker.

England.

I England har man i mange år bygget kraftværker med gas-kølede reaktorer, der er noget dyrere end de reaktortyper, der anvendes de fleste andre steder i verden.

I 1979 var produktionsprisen 1,30 p (17,3 øre) pr. kWh elektricitet, der blev fremstillet på de kernekraftværker, der var bygget i perioden 1965-1977. For kulfyrede værker, der var bygget i samme periode, var prisen 1,56 p (20,8 øre) pr. kWh, og for oliefyrede værker var prisen 1,93 p (23,3 øre) pr. kWh.

For helt nye kraftværker har det statslige engelske el-selskab oplyst en produktionspris på 1,35 p (18,0 øre) pr. kWh for kernekraft og 1,52 p (23,3 øre) pr. kWh for kulskraft. Også her har kernekraften en økonomisk fordel til trods for, at man havde haft mange indkøringsvanskeligheder. Da kulprisen er steget siden 1979, er kernekraftens fordel vokset.

Sverige.

Sydkraft oplyste i 1980, at man for et kernekraftværk regnede med en produktionspris på 13 sv.ø (17,3 øre) pr. kWh, mens man for et kulfyret værk regnede med 17 sv.ø (22,6 øre) pr. kWh.

Hvis Barsebäck havde været et kulfyret værk, havde det i 1980 kostet svenskerne 370 mill. kr. ekstra i udgifter. Med prisstigningen på kul må man forvente en endnu større fordel ved Barsebäck-værket i 1981.

Vesttyskland.

Det tyske forbundsministerium for forskning og teknik har beregnet, at for nye kraftværker, der er ved at være færdigbyggede, vil kernekraftværkerne i 1983 have en økonomisk fordel

på 11 øre pr. kWh i forhold til kulkraft. Et 1000 MWe kernekraftværk vil da årligt spare ca. 625 mill. kr.

USA.

For USA er billedet mere broget. I gennemsnit kostede det 1,9-2,1 cent (10,5-11,7 øre) at producere en kWh på de amerikanske kernekraftværker i 1979. For de kulfyrede værker var gennemsnitsprisen 2,2-2,3 cent (12,2-12,8 øre) pr. kWh.

Disse gennemsnitstal dækker imidlertid over store variationer for de forskellige dele af USA. Nogle steder er kulene meget billige, nemlig i de områder, hvor man på simpel måde kan hente kullene i et overflade-brud. Og enkelte steder har man placeret kraftværker direkte ved siden af en kulmine. Det giver naturligvis billige kul, og prisen for elektricitet fra disse kulfyrede værker er da også meget lavere end fra kulfyrede værker i Europa.

Men i de dele af USA, hvor der ikke er adgang til meget billige kul, er kernekraftens økonomiske fordel af samme størrelse som i Europa. Et af de største amerikanske el-selskaber "Commonwealth Edison Co" har både kernekraftværker og kulfyrede værker, og kernekraftens fordel er ca. 7 øre pr. kWh. El-selskabet regner også med, at kernekraften vil have en økonomisk fordel i fremtiden.

Ved økonomiske vurderinger af kernekraftens fordel må man være opmærksom på, at de årlige udgifter til forrentning af den investerede kapital kan beregnes på to forskellige måder. Dels kan man regne med en realrente (eller samfundsrente) på 4-7% p.a. - dels kan man regne med en markedsrente på 12-14%.

Når man skal foretage en samfundsøkonomisk analyse af kernekraftens fordel (se nr. 506) benytter man en realrente på 4-7% p.a. Herved undgår man at skulle tage hensyn til inflationen og finder en gennemsnitlig fordel over hele kernekraftværkets levetid.

Man kan også benytte en markedsrente i beregningerne, hvorved renteudgifterne bliver større. Da kernekraftværket er dyrere at bygge, bliver fordelene ved værket mindre de første år, men efterhånden som inflationen får brændselspriserne til at stige, vokser kernekraftens fordel.

Det svarer til den oplevelse, mange huskøbere har været ude for. Her betaler man markedsrente af lånene i huset, og det føles som en kraftig belastning de første år. Senere virker lånene mindre tyngende.

Både for husene og kraftværkerne er det inflationen (pengeforingelsen) og nedskrivningen af gælden, der betinger denne udvikling. Den fordel, man i dag kan registrere ved nybyggede kernekraftværker, vil derfor vokse i tidens løb.

Tager man gennemsnittet af fordelene over hele kernekraftværkets levetid, finder man (naturligvis) den samme fordel, hvad enten man benytter en markedsrente eller en realrente (samfundsrente) i beregningerne.

Februar 1983



Landforureningsrapporten om Barsebäck-uheld.

Den 13. november 1981 udsendte miljøstyrelsen en redegørelse om følgerne for Danmark af en radioaktiv forurening efter et såkaldt værst tænkeligt uheld på Barsebäck. Rapporten kaldet Landforureningsrapporten er siden december 1978 blevet udarbejdet af en arbejdsgruppe på 10 sagkyndige fra forskellige danske institutioner samt af professor Ove Nathan. Sidstnævnte har deltaget som personligt medlem i arbejdsgruppen.

Der findes to bilag til redegørelsen. Den ene er en rapport fra Risø med tekniske beregninger over, hvordan et radioaktivt udslip fra et meget alvorligt havari på Barsebäck kan tænkes at give en radioaktiv forurening, der med aftagende styrke strækker sig hen over Sjælland og som i "fortyndet" form også når hen over Fyn. Det andet bilag er en rapport om de økonomiske konsekvenser af den beregnede radioaktive forurening. De økonomiske beregninger er foretaget af professor S. Kjeldsen-Kragh og lektor P.E. Stryg fra Økonomisk Institut på Landbohøjskolen.

I rapporten fra miljøstyrelsens arbejdsgruppe er et af hovedresultaterne, at et værst tænkeligt uheld på Barsebäck (med vindretning ind over København og med uheldige vejrforhold i øvrigt) vil forårsage ca. 1500 senere kræftdødsfald, ca. 100 fosterskader og ca. 410 genetiske følger i den efterfølgende generation.

De beregnede 1500 ekstra kræftdødsfald vil fordele sig over de følgende 50 år efter uheldet og vil forekomme i en befolkning, hvor der i samme periode af andre årsager vil ske ca. 200.000 kræftdødsfald. Lignende forhold gør sig gældende for de ekstra tilfælde af fosterskader og genetiske følger - de vil udgøre en begrænset forøgelse i antallet af de "naturligt" forekommende tilfælde.

Foruden de sundhedsmæssige skader vil der i henhold til arbejdsgruppen kunne opstå økonomiske skader for godt 8 milliarder kr. Heraf vil de ca. 7 milliarder hidrøre fra skader inden for landbrugssektoren, hvor afgrøder må kasseres, og produktionen må omlægges i de forurenede områder.

Arbejdsgruppen har endvidere set på muligheden for, at det efter et værst tænkeligt uheld på Barsebäck vil være fornuftigt at lade befolkningen flytte fra de mest forurenede områder. Man ser herunder på tre grænser for tilladelig radioaktiv forurening; en højere, en "mellem" og en lavere.

Det viser sig ved beregningerne, at man ingen steder kommer op på strålingsdoser i nærheden af den højere grænse.

Ved den mellemste grænse skal ca. 105.000 personer flytte hjemmefra i ca. en måned, mens radioaktiviteten henfalder af sig selv, og der evt. foretages en oprensning. Ved den lavere grænse drejer det sig om, at ca. 630.000 personer skal flytte i 1-2 måneder*

Arbejdsgruppen finder, at det ikke vil være nødvendigt at standse produktionen noget sted i Storkøbenhavn - eller andre steder; heller ikke i de områder, der evt. tænkes fraflyttet. Det skyldes dels, at fabriksbygninger, kontorhuse, institutionsbygninger o.l. yder en bedre beskyttelse mod stråling end boliger, dels at man kun er på arbejde en brøkdel af den samlede tid. Der vil derfor ikke opstå noget økonomisk tab som følge af tabt produktion i det storkøbenhavnske produktionsliv.

*Man har også set på en endnu lavere grænse for tilladelig forurening. Men da den kun giver en meget begrænset formindskelse af bestrålingen - men store praktiske problemer - har man forkastet grænsen som uhensigtsmæssig.

REOs bemærkninger til hovedrapporten fra miljøstyrelsens arbejdsgruppe.

Det nævnes flere steder i rapporten, at forskellige forhold kan bevirke, at de beregnede konsekvenser indebærer en betydelig overvurdering. Man har overalt valgt at gå ud fra "pessimistiske" antagelser - dvs. vurderet "i overkanten". Beklageligvis gøres der ikke i rapporten noget forsøg på at beregne, hvad konsekvenserne af et værst tænkeligt uheld vil være, hvis man går ud fra mere realistiske antagelser. (Se også nr. 518).

Rapporten nævner, at nyere undersøgelser peger på, at der ved reaktor-havarier slet ikke kan slippe så store mængder radioaktivitet ud til omgivelserne som antaget i landforureningsrapporten. Det nævnes også, at virkningerne af de forholdsvis begrænsede strålingsdoser kan være overvurderet betydeligt.

Derimod gøres der hverken i hovedrapporten eller i bilaget fra Risø noget egentligt forsøg på at undersøge, om et værst tænkeligt havari på Barsebäck kan forløbe som antaget i beregningerne. Det kan det ikke. Først og fremmest vil et havari, som det betragtede forløbe langsommere - hvorfor man bl.a. ville have flere og bedre muligheder for at standse uheldsforløbet eller evt. blot at reducere konsekvenserne. Desuden er Barsebäck konstrueret således, at der ved et værst tænkeligt havari vil blive tilbageholdt en større del af radioaktiviteten på værket. Det vil resultere i et mindre udslip til omgivelserne.

En realistisk bedømmelse af de mulige udslip af radioaktivitet ved et værst tænkeligt uheld på Barsebäck vil derfor skønsmæssigt være 5-25 gange mindre end antaget i Landforureningsrapporten.

Det skal her nævnes, at man i en rapport fra Risø fra efteråret 1981 har undersøgt nogle af de uheld, der i tidens løb er sket med forskellige forsøgsreaktorer forskellige steder i verden. På grundlag heraf har man vurderet, at der ved et værst tænkeligt havari på et stort kernekraftværk vil ske udslip af radioaktivitet, der er 10-100 gange mindre end antaget i Landforureningsrapporten.

Hvis man i beregningerne går ud fra antagelser, der blot er lidt mere realistiske end de i Landforureningsrapporten benyttede - f.eks. 5 gange lavere udslip af radioaktivitet - vil de beregnede strålingsniveauer ligge under de grænser for evt. flytning af befolkningen, der er undersøgt i Landforureningsrapporten. Derimod vil man selv ved 5 gange lavere udslip af radioaktivitet beregne betydelige økonomiske skader inden for landbrugssektoren - i alt fald må man regne med, at de "stående afgrøder" kan blive forurenede og må kasseres.

I Landforureningsrapporten angives der ikke nogen sandsynlighed for et værst tænkeligt uheld på Barsebäck; blot anføres det, at sandsynligheden er overmåde ringe. I bilaget fra Risø har man imidlertid på baggrund af Rasmussen-rapporten beregnet en sandsynlighed på ca. én gang pr. 30 millioner driftsår. Tager man desuden hensyn til, at der på Barsebäck er særlige muligheder for at stoppe alvorlige havarier af den betragtede type, finder man en endnu lavere sandsynlighed.

Omvendt vil det ved en vurdering af Barsebäck-uheld være rimeligt også at medtage uheld, der ikke er af den værst tænkelige type. Et meget alvorligt havari, der sker under knap så uheldige vejrforhold som et værst tænkeligt uheld, kan også give store økonomiske skader inden for landbrugssektoren. Man finder da en samlet sandsynlighed for et meget alvorligt Barsebäck-uheld med betydelige økonomiske konsekvenser for Danmark på omkring én gang pr. 8-80 millioner år eller lavere.

Bilaget om de økonomiske konsekvenser

Som allerede nævnt finder Landforureningsrapporten, at der selv ved et værst tænkeligt uheld på Barsebäck ikke vil være nogen grund til at standse produktionen i nogen del af det storkøbenhavnske erhvervsliv på grund af forhøjede strålingsniveauer fra radioaktiv forurening. I de økonomiske beregninger indgår derfor ikke noget tab på grund af produktionsstandsninger i by-erhvervene. Men da bilagsrapporten (til Landforureningsrapporten) om de mulige økonomiske konsekvenser fremkom i slutningen af januar 1982, udtalte en af forfatterne til bilagsrapporten - professor Kjeldsen-Kragh fra

Landbohøjskolen - til massemedierne, at man kunne beregne økonomiske tab på 45-50 milliarder kr. som følge af et værst tænkeligt uheld på Barsebäck.

I modsætning til arbejdsgruppen bag Landforureningsrapporten regnede professor Kjeldsen-Kragh med, at det i tilfælde af et værst tænkeligt uheld på Barsebäck ville være nødvendigt at standse produktionen i en del af Storkøbenhavn. Herved skulle der opstå et produktionstab på omkring 30 milliarder kr. Desuden regnede han også på andre samfundsområder med tab, der var større end beregnet i Landforureningsrapporten.

REOs bemærkninger til bilaget om de økonomiske konsekvenser.

Professor Kjeldsen-Kragh finder i modsætning til Landforureningsrapporten store økonomiske tab på grund af produktionsstandsning, fordi han regner med en meget lav grænse for "til-ladelig" radioaktiv forurening. Ved strålingsniveauer på 500 millirem pr. måned eller derover regner han således med, at befolkningen må flytte bort, og produktionen standses.

For de beskæftigede i produktionen svarer et strålingsniveau på 500 millirem pr. måned til en effektiv bestråling på i alt 100 millirem i arbejdstiden + tiden for transport til og fra arbejde. Den teoretiske sundhedsrisiko, der kan beregnes for en bestråling på 100 millirem er overmåde lille - og den er ca. 20 gange mindre end den grænse, der i henhold til Landforureningsrapporten ikke kan begrunde en produktionsstandsning.

I Landforureningsrapporten har man sammenlignet den beregnede sundhedsrisiko ved bestråling med en tilsvarende risiko ved cigaretrykning - og ved ophold i København. Man kan på baggrund af disse tal beregne, at den af professor Kjeldsen-Kragh benyttede grænse for produktionsstop - 100 millirem pr. måned - svarer til rygningen af 10 cigaretter om måneden, altså en cigaret hver 3. dag. Man kan også beregne, at sundhedsrisikoen ved at bo i København eller på Frederiksberg som forholdene er nu, er 15-30 gange større end sundhedsrisikoen ved en bestråling på 100 millirem pr. måned. (Den danske dødsstatistik fortæller, at befolkningen i København og på Frederiksberg har en markant kortere levetid end en tilsvarende gruppe mennesker, der bor på landet eller i mindre byer. Man ved ikke, om årsagen er luftforurening, stress, støj eller andet. Men statistikken fortæller, at der er en væsentlig forskel). (Se også nr. 518 og 522).

Litteratur:

"Radioaktiv landforurening på dansk område efter et eventuelt stort havari på Barsebäckværket". Miljøstyrelsen. November 1981. Foruden hovedrapporten er der to bilagsrapporter.