



## En teknisk vurdering af Jan Beyea's rapport: A study of some of the consequences of hypothetical reactor accidents at Barsebäck

Gjørup, H.L.; Jensen, Per Hedemann; Jensen, N.O.; Pejtersen, V.; Lundtang Petersen, Erik; Petersen, T.; Thykier-Nielsen, S.; Heikel Vinther, F.

*Publication date:*  
1978

*Document Version*  
Også kaldet Forlagets PDF

[Link back to DTU Orbit](#)

*Citation (APA):*  
Gjørup, H. L., Jensen, P. H., Jensen, N. O., Pejtersen, V., Lundtang Petersen, E., Petersen, T., Thykier-Nielsen, S., & Heikel Vinther, F. (1978). *En teknisk vurdering af Jan Beyea's rapport: A study of some of the consequences of hypothetical reactor accidents at Barsebäck*. Risø National Laboratory. Risø-M, Nr. 1997

---

### General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

FORSØGSANLÆG RISØ  
DK-4000 Roskilde  
Danmark

Risø-M-1997  
April 1978

Risø-M-1997

En teknisk vurdering af Jan Beyea's rapport:

A STUDY OF SOME OF THE CONSEQUENCES OF  
HYPOTHETICAL REACTOR ACCIDENTS AT BARSEBÄCK

af

H.L. Gjørup, Per Hedemann Jensen, Niels Otto  
Jensen, Vagn Pejtersen, Erik Lundtang Petersen,  
Torben Petersen, Søren Thykier-Nielsen og  
Fritz Heikel Vinther

FORSØGSANLÆG RISØ  
DK-4000 Roskilde  
Danmark

Risø-M-1997  
April 1978

Risø-M-1997

En teknisk vurdering af Jan Beyea's rapport:

A STUDY OF SOME OF THE CONSEQUENCES OF  
HYPOTHETICAL REACTOR ACCIDENTS AT BARSEBÄCK

af

H.L. Gjørup, Per Hedemann Jensen, Niels Otto  
Jensen, Vagn Pejtersen, Erik Lundtang Petersen,  
Torben Petersen, Søren Thykier-Nielsen og  
Fritz Heikel Vinther

Risø

Risø - M - [ ]

Risø - M - [ ]

Title and author(s)	Date April 1978
En teknisk vurdering af Jan Beyea's rapport: A STUDY OF SOME OF THE CONSEQUENCES OF HYPOTHETICAL REACTOR ACCIDENTS AT BARSBÄCK af H.L. Gjørup, Per Hedemann Jensen, Niels Otto Jensen, Vagn Pejtersen, Erik Lundtang Petersen, Torben Petersen, Søren Thykier-Nielsen og Fritz Heikel Vinther	Department or group  Group's own registration number(s)
pages +      tables +      illustrations	
Abstract  This report contains a critical review of Jan Beyea's report: A Study of Some of the Consequences of Hypothetical Reactor Accidents at Barsebäck (Princeton University, January 1978).  Unreasonable assumptions concerning dry deposition, plume rise, meteorological con- siderations, dose-response relationship and probability distributions were found in the report.  Risø find that the conclusions of the Beyea report are results of a mathematical exercise rather than results of a realistic risk evaluation for Barsebäck.	Copies to

22304

Available on request from Risø Library, Risø National  
 Laboratory (Risø Bibliotek, Postboks 49, Risø),  
 DK-4000 Roskilde, Denmark  
 Telephone: (00) 32 31 01, ext. 324, telex: 43146

## INDLEDNING

I februar 1978 offentliggjorde den svenske energikommission en rapport med titlen "A Study of Some of the Consequences of Hypothetical Reactor Accidents at Barsebäck". Denne rapport er udarbejdet for kommissionen af Jan Beyea, Center of Environmental Studies, Princeton University, som en kritisk "kontrolberegning" til de officielle svenske beregninger. Kommissionen har i forbindelse med udsendelsen af denne og andre rapporter understreget, at ansvaret for synspunkter og resultater, der er indeholdt i rapporterne, udelukkende påhviler forfatterne. Samtidigt har den bedt om synspunkter og kommentarer, som disse rapporter kunne give anledning til.

Et udkast til rapporten blev på kommissionens opfordring kommenteret af Risø i oktober 1977. Kommentarerne blev tilsendt energikommissionen, som derefter videresendte dem til forfatteren. På lignende vis blev der fremsat kommentarer til rapportudkastet af AB Atomenergi, Sverige og af Sandia Laboratories, USA.

Disse kommentarer har foranlediget, at forfatteren på enkelte punkter har forbedret fremstillingen, hvorimod den foreløbige rapport's resultater trods den fremførte kritik er bevaret uændrede i den endelige rapport.

I det efterfølgende er der givet kommentarer til de punkter i rapporten, der har størst betydning for, at rapportens resultater afviger væsentlig fra resultaterne af andre lignende beregninger, herunder dem, som er beskrevet i Risø-M-1905: Beregning af Relevante Individ- og Befolkningsdoser på Dansk Territorium fra Hypotetiske Kernenedsmeltningsuheld på Barsebäck Reaktoren.

## METODIK

I Risø-M-1905 vælges de relevante parametre således, at de tilhørende doser bliver størst mulige i Københavnsregionen, idet der ved valget tages hensyn til sandsynligheden for parametrenes størrelse og indbyrdes afhængighed. Derefter beregnes doser som funktion af afstanden fra Barsebäck, idet det forudsættes, at koncentrationen i røgfanen er normalt fordelt såvel vertikalt som horisontalt i planet vinkelret på vindretningen.

Beyea vælger at beregne doserne i et antal afstande fra Barsebäck i vindretningen. Disse afstande er kun angivet for området indenfor 50 km fra Barsebäck, hvor han benytter afstandene 5, 10, 15, 20 --- op til 50 km. De beregnede doser betragter han som repræsentative for et område der ligger symmetrisk om beregningspunktet og har fanens bredde ( $3\sigma_y$ ) og længden 5 km (i vindretningen). Dette medfører, at han får et meget groft billede af dosernes geografiske fordeling. F.eks. er hans intervaller særligt uheldige i forbindelse med København. Som figur 1 viser, kommer et af hans beregningspunkter til at ligge ved Øresunds bred. Den dosis der beregnes i dette punkt vil ikke være nogen rimelig gennemsnitsdosis for den hårdest ramte del af København.

Beyea varierer de indgående parametre over et stort interval, idet han ialt foretager 1000 beregninger med parameter-værdier valgt ved Monte-Carlo metoden. Det billede af parametrenes betydning han derved opnår er dog ikke særlig godt, idet 1000 beregninger nok er i underkanten, når der er så mange parametre, der varieres uafhængigt af hinanden. Dertil kommer, at valget af parameterintervaller i flere tilfælde er urimeligt, hvilket vi skal vende tilbage til i det følgende.

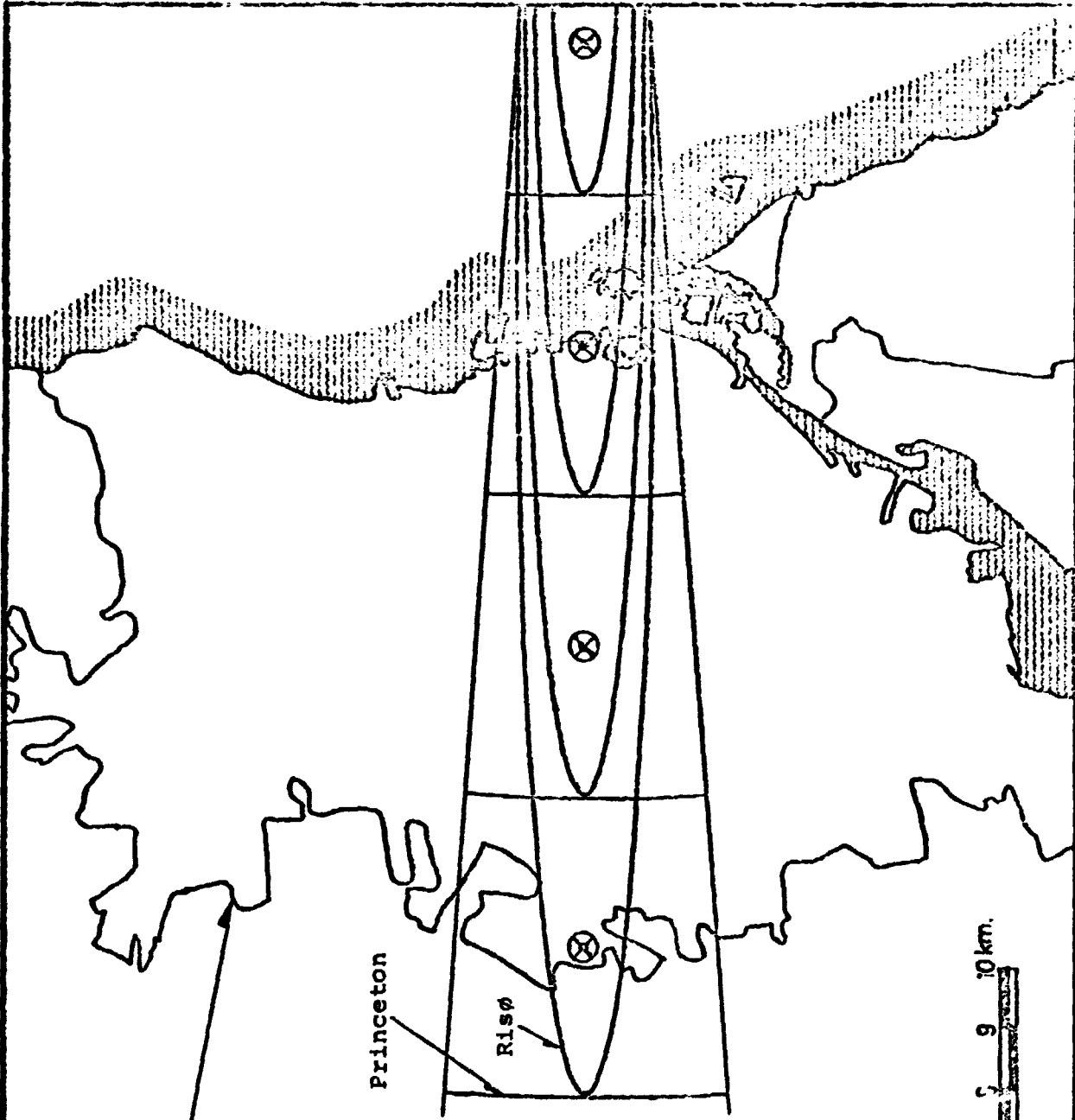
#### OPSTIGNING AF DEN VARME RADIOAKTIVE SKY

I Beyea's rapport foretages ikke nogen beregning af den højde, som den varme sky vil nå på grund af opdrift. Højden vælges tilfældigt i intervallet mellem 0 og en af Beyea defineret højde, og den tillægges samme sandsynlighed over hele intervallet. Resultaterne bliver hermed i helt urimelig grad påvirket af de store konsekvenser, der kan tænkes at fremkomme ved ekstreme værdier af opstigningshøjden kombineret med ekstreme værdier af tørdepositions-hastigheden.

Forfatteren forsvarer (side II-11) denne metode med en henvisning til en artikel af G.A. Briggs, en atmosfærefysiker, hvis arbejder med røgfaneløft er almindelig anerkendt. Citatet er hentet fra artiklens indledning, hvor Briggs harcelerer over de mange ofte ubrugelige formler til beregning af røgfaneløft, der er fremkommet i tidens løb. Samme artikel munder imidlertid ud i en udledning og eksperimentel underbygning af den formel,

## STOR KØBENHAVN

Figur 1. Antallet af personer der modtager doser mellem to givne værdier beregnes efter Risø's model som antallet mellem to på hinanden følgende "cigarformede" kurver. Efter Princeton's model beregnes antallet i en vinkelsektor mellem to radier med 5 km's afstand. Dosen i hele området antages ifølge Princeton's model at være den samme som i intervallets midtpunkt.



1: 100 000

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 km.

som i Risø-M-1905 er anvendt til beregning af røgfaneløftet. Briggs bemærker om denne formel, at den er "i vidt omfang underbygget af feltobservationer og af nogle model forsøg. Måske følger over 90% af alle feltobservationer af røgfaner med opdrift denne formel".

WASH-1400 (CRAC manualen) og Risø benytter begge den Briggske formel til beregning af røgfaneløft. I formlen indgår den endelige løfthøjde. For at undgå en iteration i beregningerne, vælges det som regel at regne konservativt, d.v.s. indsætte en højde der er passende lille, således at maksimalkoncentrationen ikke undervurderes. Risø har i alle beregninger sat denne højde til 25 m, hvilket er mindre end den mindst beregnede løfthøjde (43 m).

I diskussionen om de af Risø beregnede løfthøjder (tabel II-1 side II-10 forudsætter Beyea, at varmeudslippet er proportionalt med reaktorens termiske effekt. Varmeindholdet i et uheldsudslip afhænger imidlertid af mange faktorer bl.a. reaktorens konstruktion (indhold af vandmængde i reaktortank og wet-well) og uheldets tidsforløb. Der er derfor ingen simpel sammenhæng mellem varmeudslip og reaktoreffekt, og af samme grund er der ikke foretaget en sådan nedproportionering i Risø-M-1905. Den foreslåede metode af Beyea synes dog ikke urimelig.

I Risøs foreløbige kommentarer påpegedes, at Beyea ikke tog hensyn til udslippets selvopvarmning, men dette forhold omtales ikke i den færdige rapport. I de betragtede aktivitetsudslip vil det radioaktive henfald udvikle en effekt på 2000-5000 kW, hvilket vil medføre et yderligere løft af skyen. Dette yderligere løft er ikke medtaget i Risø's beregninger, men det påpeges at doserne derved overvurderes. At undlade at omtale denne effekt er kritisabel i betragtning af, at Beyea selv (side II-11) understreger, at resultaterne er meget følsomme over for skyopstigningen.

#### TØRDEPOSITION AF RADIOAKTIVITET PÅ JORDOVERFLADEN

Beyea's metode til beregning af den radioaktivitet, som ved tørdeposition afsættes på jordoverfladen, afviger væsentligt fra Risø's beregningsmetode. Forskellen betyder, at for udslip ved jordoverfladen (disse tilfælde er medtaget i Beyea's be-



regninger) kombineret med store depositions-hastigheder (se afsnittet om depositions-hastighed) bliver den deponerede aktivitet mere end 1000 gange større end i Risø's beregninger. Dette gør sig i stabile vejr-situationer gældende for afstande ud til 50 km fra frigørelsespunktet.

Da de maksimale konsekvenser ifølge Beyea netop hidrører fra strålingen fra deponeret aktivitet i stabile vejr-situationer (side J-14) kan denne forskel føre til stærkt afvigende resultater. Beyea påstår selv (side F-11), at han ikke venter, at benyttelsen af Risø's metode vil betyde nogen væsentlig ændring af Monte Carlo beregningsresultaterne, men dette er i modstrid med hans udtalelser andet steds (side II-3) om, at beregningerne inkluderer de værste tilfælde, der er knyttet til de ukendte parametre.

Forskellen mellem Beyea's og Risø's beregningsmetoder kan kort beskrives som følger:

Beyea tager hensyn til bygningsturbulens (initialspredning) ved at beregne aktivitetsudbredelsen, som om den starter i et "fiktivt" kildepunkt beliggende bag det reelle kildepunkt. Beliggenheden af det fiktive kildepunkt er bestemt ved, at den vertikale udbredelsesparameter skal have en given værdi i det reelle kildepunkt. Denne værdi er fastlagt ud fra antagelser om bygningsdimensionerne og er dermed uafhængig af den atmosfæriske stabilitet. I sammenhæng hermed beregnes tørdepositionen, som om den starter i det reelle kildepunkt, således at der ingen deposition sker på strækningen mellem det fiktive og det reelle kildepunkt.

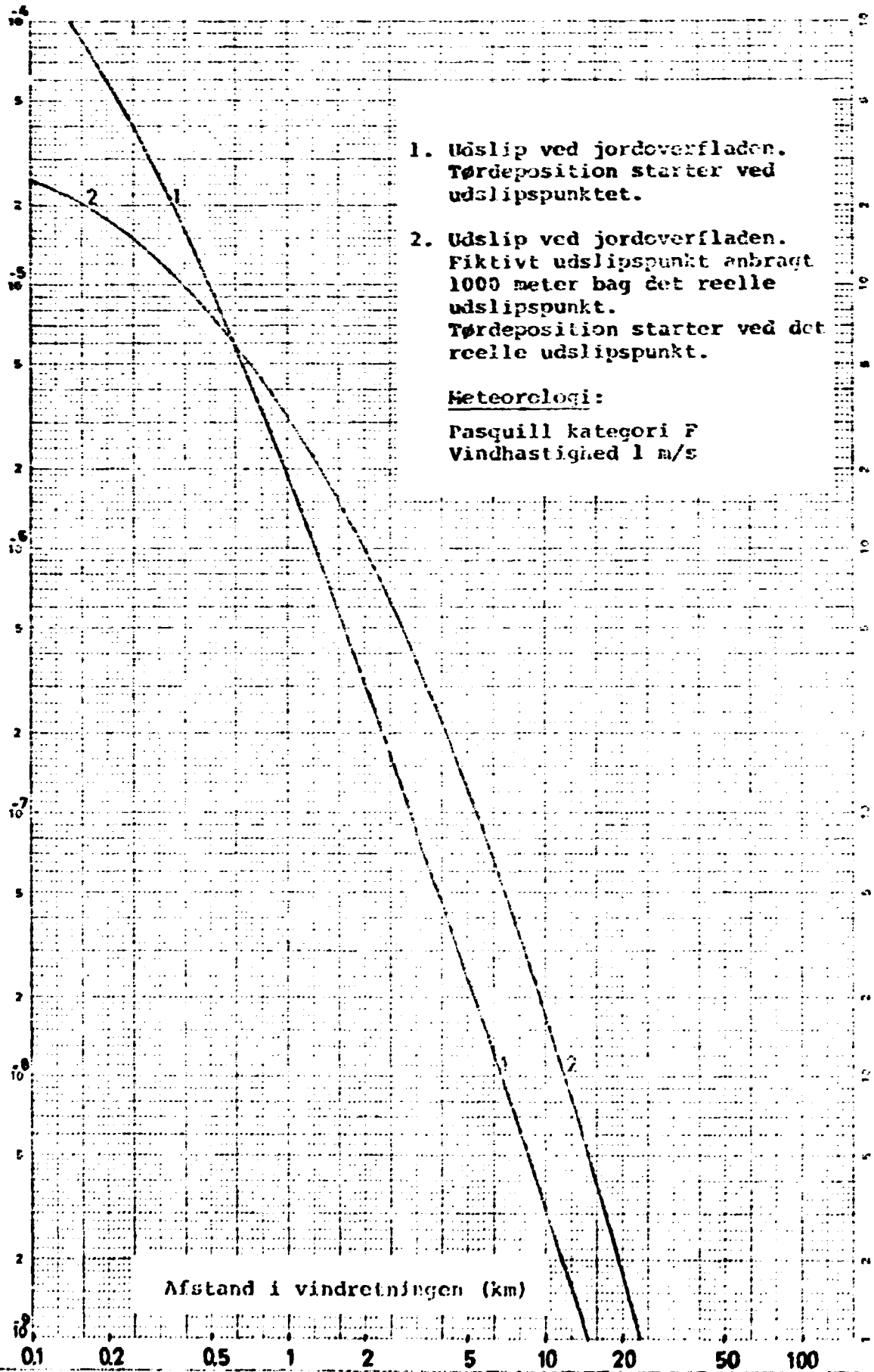
Figur 2 viser forskellen mellem resultaterne henholdsvis i en situation med og uden fiktivt kildepunkt i en stabil vejr-situation med lav vindhastighed (Pasquill F, vindhastighed  $u = 1$  m/s og depositions-hastighed  $v_g = 1$  cm/s).

Kurverne er beregnet på grundlag af en røgfanemodell, hvor koncentrationen antages at være jævnt fordelt. Bredden og højden af røgfanen er givet ved udtryk henholdsvis som  $\alpha \cdot X^p$  og  $\beta \cdot X^q$ , hvor  $X$  er afstanden fra udslipspunktet i vindretningen. Parametrene  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $p$  og  $q$  er tilpasset de sædvanlige Pasquill-Gifford spredningsparametre.

Kurve 1 viser den normerede depositionsrate på jordoverfladen (mængde pr. arealenhed pr. tidsenhed/frigivet mængde pr. tidsenhed) fra et udslip ved jordoverfladen. Kurve 2

Figur 2. Depositionsrater på jordoverfladen normaliseret med hensyn til udslipraten.

$w/Q_0 \text{ [Cl m}^{-2}\text{s}^{-1}/\text{Cl s}^{-1}\text{]}$



Nr. 2005

1. 1993  
2. 1993

Afstand i vindretningen (km)

viser det tilsvarende, men for et udslip fra et fiktivt udslipspunkt placeret 1000 meter bag det virkelige udslipspunkt, og under forudsætning af, at depositionen først starter i det aktuelle udslipspunkt. På afstande større end et par kilometer fra det aktuelle udslipspunkt bliver den afsatte mængde på jordoverfladen ca. 6 gange større for situationen med et virtuelt udslipspunkt. Med en vindhastighed på 2 m/s og en depositionshastighed på 10 cm/s bliver den afsatte mængde som nævnt mere end 1000 gange større. Tilsvarende resultater findes for en gaussisk spredningsmodel.

Det er primært Beyeas antagelse om, at tørdepositionen først starter i det reelle kildepunkt, der giver anledning til de nævnte store forskelle. Denne antagelse er i høj grad diskutabel. Man må normalt gå ud fra, at turbulens omkring bygningerne vil øge depositionen kraftigt, således at depositionen er betydeligt større her end i det åbne land. For at tage hensyn til dette bør man i det mindste regne depositionen, som om den starter i det fiktive kildepunkt.

#### VALG AF TØRDEPOSITIONSHASTIGHEDER

På samme måde som med opstigningshøjden  $\Delta H$  vælger Beyea depositionshastigheden  $v_g$  inden for et bredt interval (0.1 - 10 cm/s), og tillægger den samme sandsynlighed over hele intervallet. Han anslår (side III-7), at metoden med at udvælge  $\Delta H$  og  $v_g$  tilfældigt i et bredt interval medfører en 10-dobling af konsekvenserne i forhold til WASH-1400 metoden, hvor  $\Delta H$  beregnes og  $v_g$  tillægges en rimelig midterverdi. I rapporten anføres (side II-8), at metoden er anvendt, for at man kan være sikker på, at beregningsresultaterne kommer til at omfatte de værste kombinationer af de angivne parametre.

Fra et fagligt synspunkt må metoden betegnes som uacceptabel. Ifølge W.G.N. Slinn: "Some Comments on Parameterizations for Resuspension and for Wet and Dry Deposition of Particles and Gases for Use in Radiation Dose Calculations", maj 1977, findes der en række eksperimentelle resultater for  $v_g$ 's afhængighed af det betragtede stofs partikelstørrelse. I WASH-1400, appendiks VI (side K-1 og K-6) fremføres det, at den forventede partikelstørrelse i et udslip fra et kernenedsmeltningssuheld er af størrelsesorden nogle få micron i diameter og

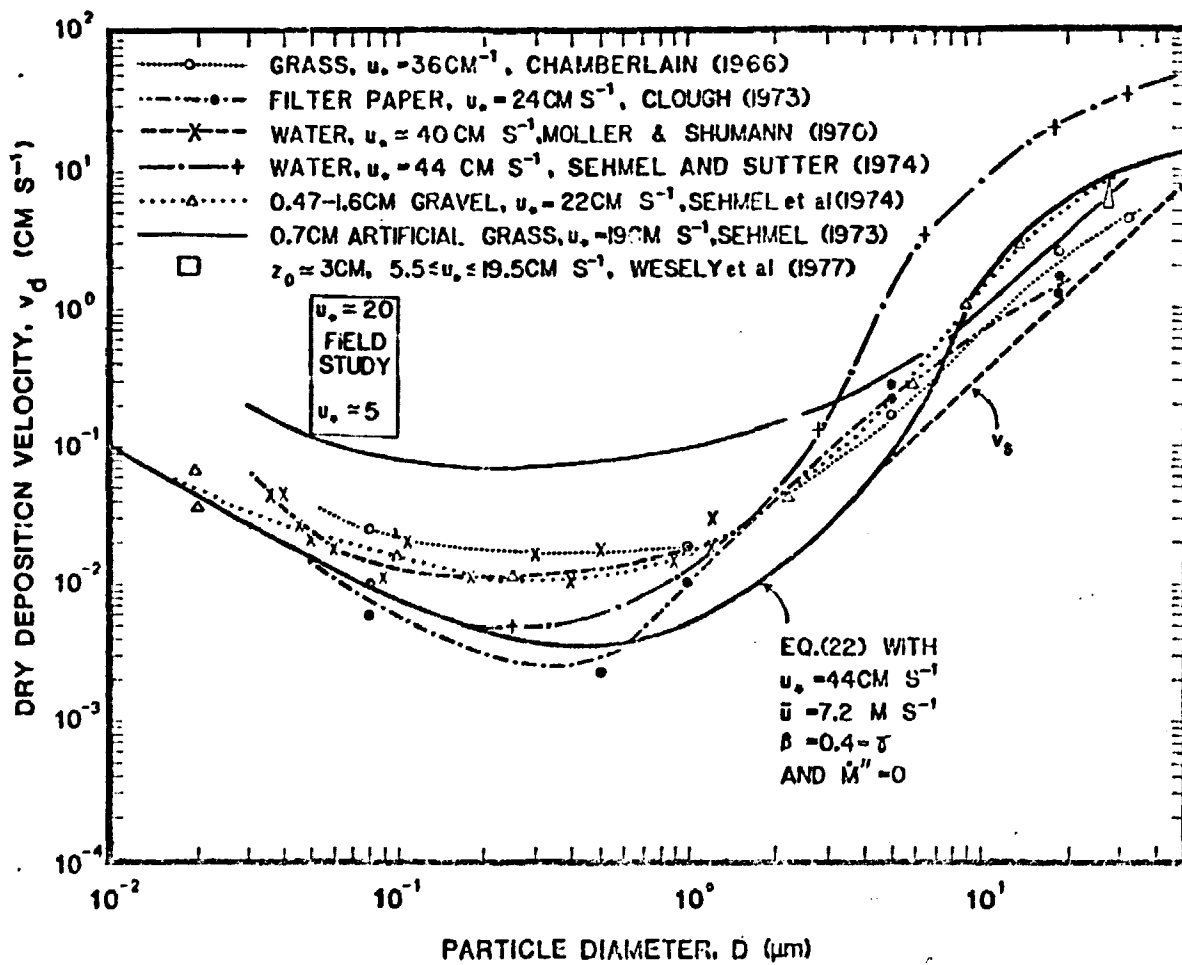
næppe større end 10 micron.

Denne antagelse bekræftes af Karlsruhe rapporterene: Nukleare Aerosole im geschlossenen System (KFK 1985), PARADISEKO III - A Computer Code for Determining the Behavior of Contained Nuclear Aerosols (KFK 2151) og Projekt Nukleare Sicherheit (KFK 2130, side 276-299), hvori beskrives problemstillingen omkring de radioaktive aerosoler, som dannes inden for reaktorindeslutningen under brændselssmelting. I rapporterene angives resultater af modelberegninger, som er baseret på eksperimentelle undersøgelser, hvor  $UO_2$  fordampes. Størrelsesfordelingen for de nukleare aerosoler angives som log-normal fordelinger med en geometrisk middeldiameter på 0.1 - 0.3 micron.

Antages det i overensstemmelse med disse to referencer, at den forventede partikelstørrelse i et kernenedsmeltningsudslip ligger i området fra 0.1 - 10 micron, kan man ud fra F.G.N. Slinn's rapport finde, at depositions-hastigheden vil ligge i området 0.005 - 1 cm/s for landområder (jvfr. fig. 3).

Endvidere viser målinger på dansk område af depositions-hastigheden for kortlevede fissionsprodukter (bl.a. jod) fra en kinesisk kernevåbensprængning, at depositions-hastigheden for disse stoffer ligger i området 0.1 - 1 cm/s (A. Aarkrog og J. Lippert: Environmental Radioactivity in Denmark in 1976). Selvom reaktoruheld og kernevåbensprængninger ikke umiddelbart kan sammenlignes, må de pågældende partikler forventes at have nogenlunde samme størrelse som det fordampede materiale i et uheldsudslip. Dette bekræfter derfor antagelsen om, at depositions-hastighederne er mindre end 1 cm/s. Beyea's valg af depositions-hastigheder på helt op til 10 cm/s er derfor helt urimelig.

Indflydelsen af depositions-hastighed/skyopstigning er vist i Beyea's rapport side II-20. På en kopi af figur II-8 (figur 4) er indtegnet det område, der omfatter de realistiske værdier af depositions-hastighed og skyopstigning. Der er anvendt samme værdi af skyopstigning som i Risø-M-1905 (175 meter) med en spredning på 25 meter. Selvom den frigivne varmemængde forudsættes halveret (som angivet af Beyea) vil bidraget fra henfaldsværmen være tilstrækkelig til at få skyen til at stige til omkring 175-200 meter i den angivne afstand (jvfr. P.A. Gifford: The Rise of Strongly Radioactive Plumes, Journal of Applied Meteorology 6, 644, August 1967).



Figur 3. Tørdepositions hastighedens afhængighed af partikelstørrelsen. For landområder ligger depositions hastigheden i området 0.005 - 1 cm/s for partikelstørrelser mellem 0.1  $\mu$  og 10  $\mu$ .

Kilde: W.G.N. Slinn, Some Comments on Parameterizations for Resuspension and for Wet and Dry Deposition of Particles and Gases for Use in Radiation Dose Calculations.

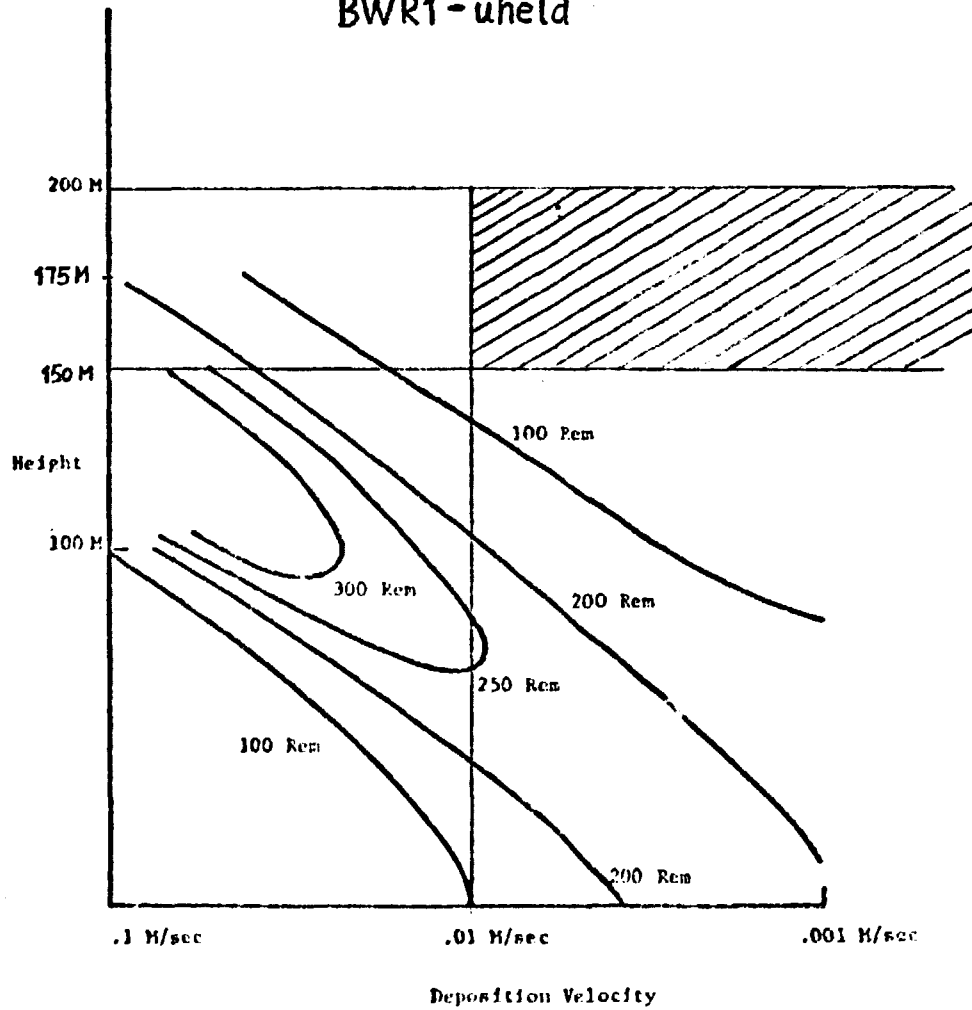
11-20

Figure 11-8

Sample Dose Contours

at 17 miles; 2m/sec wind, stability class F, 24 hr. ground dose

BWR1-uheld



Figur 4. For partikelstørrelser mellem 0.1 $\mu$  og 10 $\mu$  vil tørdepositionshastigheden ligge mellem 0.005 cm/s og 1 cm/s (se fig. 3). Strålingsdoserne vil ligge i det skraverede område med den beregnede højde af skyen fra Risø-M-1905.

Ud fra en forudsætning om, at de to parametre er lige sandsynlige over hele intervallet finder Beyea således doser på op til 400 rem, hvor det må forventes, at de i virkeligheden ligger betydeligt under 100 rem.

#### VALG AF VÅDDEPOSITIONSHASTIGHEDER

I beregningen af den aktivitet, som udvaskes på jordoverfladen under nedbør, vælger Beyea kun én værdi af udvaskningskoefficienten, som ifølge WASH-1400 gælder for regnintensiteter på mellem 2 og 5 mm regn pr. time. Det havde været mere korrekt og i overensstemmelse med behandlingen af f.eks. tørdepositions-hastigheden, om der havde været anvendt en fordeling af udvaskningskoefficienten svarende til regnintensitetsfordelingen i Øresundsområdet.

Beyea fremhæver (side J-12), at det ikke er regnvejrssituationerne, som giver de store konsekvenser i hans beregningsresultater, derimod situationerne med de værste kombinationer af  $\Delta H$  og  $v_g$ .

Som nævnt i det foregående afsnit er Beyea's værste kombinationer af  $\Delta H$  og  $v_g$  urealistiske. Ved mere realistiske valg af disse parametre vil regnvejrssituationerne blive bestemmende for de store konsekvenser (jvf. Risø-M-1905), og derved får udvaskningskoefficienten afgørende betydning. I en regnvejrssituation er strålingsdoserne til knoglemarven stort set proportionale med udvaskningskoefficienten.

#### BEFOLKNINGSTÆTHED OG AFSKÆRMNINGSAFKØRER

Metoden med at lade afskærmningsfaktorerne være afhængige af befolkningstætheden (afskærmningsfaktorer for træhuse anvendes ved befolkningstætheder  $< 80$  personer/km<sup>2</sup>) er forkert og fører til en overvurdering af doserne i Danmark, England og på Nordeuropas fastland. I disse områder er kun ganske få procent af husene bygget af træ, uanset befolkningstætheden.

Det er desuden en alt for grov metode, der benyttes ved bestemmelsen af befolkningstætheden i området mellem 50 km og 1000 km. De i tabel II-9 side II-36 angivne befolkningstætheder er vægtede middelværdier, der dækker over store lokale variationer i befolkningstætheder. Der er beregnet middelværdier for

sektorudsnit, der dækker såvel store vandområder (Nordsøen, Østersøen etc.) som storbyer (Hamburg, Amsterdam etc.). Benyttelsen af de angivne middelbefolkningstætheder i beregningen af befolkningsdoser og de deraf afledede konsekvenser vil give anledning til fejl, dels på grund af de nævnte store variationer i befolkningstæthederne, dels fordi selv relativt tætbefolkede områder ved denne midling kan komme under den fiktive grænse for træhusbebyggelse.

Også Beyea's metode til at beregne persondoser fra skypassagen må betegnes som forkert. Statistisk opholder i dagtimerne 20% af befolkningen sig udendørs og 80% indendørs. Beyea benytter imidlertid den tilnærmelse, at han for hvert geografisk område betragter hele befolkningen som værende enten udendørs eller indendørs, idet han ved statistiske metoder sikrer sig, at den totale befolkning i den betragtede sektor får den rette statistiske fordeling på indendørs- og udendørs ophold. Denne metode kan give rimelige resultater, hvis de betragtede områder er små i forhold til skyens karakteristiske dimensioner. Beyea's områder, der har skyens bredde og 5 km's længde er imidlertid så grove, at f.eks. hele befolkningen i de mest udsatte kvarterer af København ved hans metode kan forudsættes at opholde sig udendørs under skypassagen. En væsentlig del af hans beregninger giver derfor for høje doser og derved for mange strålefremkaldte skader.

#### USIKKERHEDSBETRAGTNINGER

Når man ønsker at beregne hvilken indflydelse, usikkerhed i bestemmelsen af parametre har på de beregnede doser, forekommer det mest rimeligt at vælge en række parameterverdier inden for det interval, parametrene kan tænkes at antage. Man kan så eventuelt benytte Monte-Carlo metoden til at vælge vejr-situationen, og derefter bruge fordelingerne for de pågældende parametre til at beregne den endelige fordeling af konsekvenserne. Man reducerer på denne måde antallet af nødvendige Monte-Carlo simuleringer og opnår samtidig at være sikker på, at hele rækken af mulige konsekvenser bliver taget i betragtning (d.v.s. i den udstrækning parametrene bestemmer konsekvenserne).

Hvis man derimod som Beyea også vælger parametrene ved



Monte-Carlo metoden, kan man ikke være sikker på, at alle konsekvenstyper er medregnet, således som han hævder (side II-8 øverst). Det er naturligvis uafhængigt af, om man antager ligelige fordelinger for parametrene. Det må fremhæves at alle parametre der vælges ved Monte-Carlo metoden skal være uafhængige, for at man kan opnå meningsfulde resultater.

Det er en svaghed, at der ikke er foretaget beregning over usikkerhederne på Monte-Carlo beregningerne. En sådan beregning er nødvendig, for at man kan bedømme kvaliteten af resultaterne.

Beyea hævder tilsyneladende, at man kan skønne over/fjerne usikkerhederne ved at tegne en udjævnet kurve (kommentarer til fig. II-10, side II-39). En jævn kurve giver imidlertid i sig selv ikke garanti for et godt resultat. Hvis man på forhånd havde regnet ud, hvordan kurveformen skulle være, og hvis resultaterne viste sig at passe med det forudsete, kunne man føle sig mere tryk ved resultaterne. Alternativt kunne man gennemføre flere simuleringer i blokke af 1000 og tegne disse. Hvis kurverne fra de enkelte blokke stemte overens, ville man igen have en bedre sikkerhed for resultaternes gyldighed.

Noget i retning af dette sidste er tilsyneladende gjort (se side II-38), men resultaterne er ikke vist. Det fremgår heller ikke, om man rent faktisk har taget flere blokke, og hvor store disse blokke da har været.

De i Beyeas rapport beregnede "sandsynlighedsfordelinger" er som nævnt ovenfor ikke sandsynlighedsfordelinger i normal forstand. Som anført tidligere, forekommer det ikke rimeligt at antage en næsten total uvidenhed om såvel plume-rise  $\Delta H$  som tørdepositionsparametren  $v_g$ . Rapportens "sandsynlighedsfordelinger" for doser må derfor snarere opfattes som en art stikprøve (sample) og giver blot udtryk for, hvor meget doserne kan variere, når man varierer nogle af de indgående parametre.

Betragtningerne om resultaternes følsomhed overfor de antagne sandsynlighedsfordelinger er kun rigtige, hvis man antager, at de postulerede fordelinger har samme middelværdi og varians som de reelle fordelinger. Range, der er et mål for variansen, varierer ganske vist ved de foretagne følsomhedsanalyser, men dette er ikke tilstrækkeligt. Middelværdierne, der er afgørende for omkring hvilket niveau variationen sker,

varieres tilsyneladende ikke.

Det undersøges ikke, hvilken betydning ændringer i våddepositionsparameteren  $l_g$  har. I en regnvejrssituation er den samlede knoglemarvsdosis stort set proportional med våddepositionsparameteren.

I betragtning af hvor følsomme doser og specielt konsekvenser er overfor ændringer i såvel plumehøjde som depositionsparametre, er det inkonsekvent ikke at variere middelværdien for disse parametre.

#### SAMMENHÆNG MELLEM DOSER OG KONSEKVENSER

Som grundlag for beregningen af akutte dødsfald anvender Beyea (ligesom Risø-M-1905) de sandsynligheder for akutte dødsfald, der er anført i WASH-1400. Han inddeler doserne i intervaller på 50 rem, men i stedet for at benytte middelsandsynligheden i dette interval, benytter han sandsynligheden svarende til den største dosis i intervallet.

Beyea indrømmer selv (side J-13), at dette er en fejl, men hævder, at det ingen betydning har. I realiteten medfører det imidlertid, at ved beregningen af antallet af akutte dødsfald er samtlige doser i gennemsnit forøget med mere end 25 rem (afhængigt af sandsynlighedskurvens krumning). En gennemregning af en række eksempler viser, at det beregnede antal akutte dødsfald bliver væsentligt større med Beyea's metode. Fejlen er dosisafhængig, og virkningen på beregningsresultaterne kan groft inddeles på følgende måde. Hvis det af Beyea beregnede antal dødsfald er større end 1000, overvurderer han antallet med omkring en faktor 2. Er det beregnede antal mellem 100 og 1000 overvurderes antallet med en faktor 5-6, og er det beregnede antal mindre end 100, overvurderes antallet mere end 10 gange, i nogle tilfælde med en faktor uendelig.

#### UHELDSSANDSYNLIGHED

Beyea hævder, at det eneste grundlag, man har for at beregne sandsynligheden for en reaktorkatastrofe, er den kendsgerning, at der ultimo 1976 var erfaringer fra 300 reaktor-års drift af store (over 500 MWe) nukleare anlæg, uden at en reaktorkatastrofe var indtrådt. På grundlag heraf beregner han den øvre

grænse for sandsynligheden for en reaktorkatastrofe i Barsebäck til at være 1 : 5 i løbet af de to reaktorerers driftstid (30 år).

En accept af denne argumentationsform ville naturligvis føre til standsning af al teknologisk udvikling, da sandsynligheden for en katastrofe med enhver teknisk innovation ville være 1.

Selvom man imidlertid skulle acceptere metoden, er der ingen argumentation for, at man kun skal se på reaktorer på mere end 500 MWe. For tiden er der i de vestlige lande akkumuleret erfaring fra ca. 1400 reaktorår, hvoraf 700 er letvandsreaktorår og 700 magnox-reaktorår. Hertil kommer ca. 1500 reaktorår med militære letvands-reaktorer. I disse mere end 2000 letvands-reaktorår har der været ét uheld (Browns Ferry), der i henhold til appendix C har en sandsynlighed på mellem 1:300 (Rasmussen) og 1:70 - 1:2 (Michael Grupp) for at føre til en kernenedsmeltning. Sandsynligheden for at et sådant kernenedsmeltningens uheld ville have katastrofekarakter (d.v.s. mere end ét akut dødsfald efter 24 timers eksponering og forudsat minimal medicinsk behandling efter bestråling) er ifølge fig. I-3, side I-17 mindre end 1:4. Hvis man accepterer Beyeas synsvinkel, finder man derfor, at sandsynligheden for et katastrofalt uheld i Barsebäck ligger mellem 1:40.000 og 1:1.000 i løbet af de to reaktorerers driftstid.

#### SAMMENFATNING OG KONKLUSION

Hovedformålet med Beyeas beregninger har angiveligt været, at de skulle inkludere de matematisk set største konsekvenser uden på realistisk vis at tage hensyn til med hvilken sandsynlighed de anvendte kombinationer af de indgående parametre kan forekomme, eller om de overhovedet kan forekomme. Herved kommer rapportens resultater til at hvile på en række ikke fysiske situationer. Netop disse situationer ville give meget store doser, der på grund af den ulineære sammenhæng mellem doser og akutte skader ville medføre et stort antal akutte dødsfald.

Beyeas gør selv opmærksom på denne risiko, idet han (side I-16) skriver: "Relativt små fejltagelser eller tvivlsomme antagelser i uheldssimuleringerne kan have meget stor indfly-

delse på resultaterne".

Denne urealistiske beregning af store konsekvenser er absurd, specielt fordi - som Beyea selv anfører (side I-23) - "for nogle vil det ikke være afgørende, hvor lille sandsynligheden er for at få et stort antal akutte dødsfald, men blot hvor stort det maksimale antal akutte dødsfald vil være - uanset sandsynligheden".

I tabel I-7, side I-21 har Beyea samlet resultaterne af beregninger med vindretninger imod København. Der er forudsat 24 timers bestråling, minimal medicinsk behandling og ingen regn. Forudsat at et stort uheld er sket på Barsebäck, og at vindretningen er imod København anfører Beyea, at der er følgende sandsynligheder for akutte dødsfald i Danmark:

BWR 3 uheld:	< 1%	sandsynlighed	for	akutte	dødsfald
BWR 2 uheld:	< 1%	"	"	"	"
BWR 1 uheld:	50%	"	"	o	akutte dødsfald
	10%	"	"	>	100 akutte dødsfald
	1%	"	"	>	10.000 akutte dødsfald

Det må konstateres, at de i dagspressen nævnte 70.000 akutte dødsfald ikke er nævnt i Beyea's egen sammenfatning i den endelige rapport.

Til sammenligning tjener, at det i Risø-M-1905 udfra samme sammenhæng mellem doser og akutte dødsfald (nemlig den, der er anført i WASH-1400) findes usandsynligt, at der skulle forekomme et eneste akut dødsfald i Danmark efter 24 timers bestråling ved et uheld af disse kategorier i Barsebäck.

Hertil må bemærkes at alene Beyeas valg af  $AH$  og  $v_g$  gør en stor del af hans dosisregningsresultater helt unimeligt store (jvnf. figur 4) ved mindre Risø's antagelse om håde  $AH$  og  $v_g$  er forkerte.

Hertil kommer, at middeldosis for den hårest ramte del af den københavnske befolkning er for stor (på grund af områdernes uheldige placering i forhold til Øresund, jvnf. Fig. 1), og at den beregnede middeldosis yderligere er forhøjet til nærmeste multiplum af 50 rem ved vurderingen af konsekvenserne.

Vi mener kort sagt, at de 50% af BWR 1 simuleringerne, der efter Beyea's opfattelse kan medføre akutte dødsfald, kan afvises på baggrund af et urealistisk parametervalg og er

for grov beregningsmetode.

Dette er ikke i modstrid med rapporten, hvori Beyea selv siger, at hans metode næppe vil undervurdere antallet af akutte dødsfald med mere end højst en faktor 10, men derimod kan have overvurderet det "med en meget høj numerisk faktor (inkluderet uendelig)" (side II-81).

Beyea's analyser og konklusioner afhænger kritisk af typen af en række meteorologiske situationer og de deraf afhængige meteorologiske processer. Ved at betragte røgfanløft, deposition, vindhastighed, vindretning, stabilitet og nedbør til dels som uafhængige størrelser, opnår han at skabe et sæt af fysisk urealistiske atmosfæriske forhold. Den gaussiske spredningsmodel kan endvidere ikke med nogen fysisk rimelighed anvendes ud til afstande større end 50-100 km. Beyea's anvendelse af metoden ud til 1000 km er meningsløs.

Konklusionen af Risø's gennemgang af Beyea's rapport bliver, at dens resultater set fra et fagligt synspunkt må afvises med den begrundelse, at de er fremkommet som resultat af en matematisk øvelse og ikke som resultat af en realistisk vurdering.

I Beyea's rapport er der derimod ikke påvist fejl i Risø's resultater i Risø-M-1905, og den giver derfor ikke Risø anledning til at ændre sin hidtidige konklusion med hensyn til risikoen på dansk område fra Barsebäck - atomkraftværket.

## REFERENCER

1. Jan Beyea, A Study of Some of the Consequences of Hypothetical Reactor Accidents at Barsebäck, Report No. 61, Princeton University, Januar 1978.
2. Beregning af relevante individ- og befolkningsdoser på dansk territorium fra hypotetiske kernenedsmeltningsuheld på Barsebäck reaktoren, Risø-M-1905, Januar 1977.
3. W.G.N. Slinn, Some Comments on Parameterizations for Resuspension and for Wet and Dry Deposition of Particles and Gases for Use in Radiation Dose Calculations, Air Resources Center, Oregon State University, Corvallis, Oregon 97331, Maj 1977.
4. H. Jordan et. al., Nukleare Aerosole im Geschlossenen System, Kernforschungszentrum Karlsruhe, KFK 1989, Oktober 1974.
5. H. Jordan et. al., PARADISEKO III - A Computer Code for Determining the Behaviour of Contained Nuclear Aerosols, Kernforschungszentrum Karlsruhe, KFK 2151, Maj 1975.
6. Projekt Nukleare Sicherheit, 2. Halbjahresbericht 1974, Kernforschungszentrum Karlsruhe, KFK 2130, Maj 1975.
7. A. Årkrog and J. Lippert, Environmental Radioactivity in Denmark in 1976, Risø Report No. 361, 1977.
8. D.H. Slade, Meteorology and Atomic Energy, TLD-24190, 1968.
9. Reactor Safety Study, Calculation of Accident Consequences, WASH-1400 appendix VI, USNRC 1975.
10. Comments on Jan Beyea's report: A Study of Some of the Consequences of Hypothetical Reactor Accidents at Barsebäck (Draft, August 1977), Risø's kommentarer fra oktober 1977.