

Technical University of Denmark



Metode for konsekvensberegninger for store havarier. Transient-uheld med sikkerhedsventil på Ringhals I

Nielsen, F.; Thykier-Nielsen, Søren; Walmod-Larsen, Niels Ole

Publication date:
1986

Document Version
Også kaldet Forlagets PDF

[Link back to DTU Orbit](#)

Citation (APA):
Nielsen, F., Thykier-Nielsen, S., & Walmod-Larsen, N. O. (1986). Metode for konsekvensberegninger for store havarier. Transient-uheld med sikkerhedsventil på Ringhals I. (Risø-M; Nr. 2598).

DTU Library

Technical Information Center of Denmark

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.

DK 8600322

Ris. M. 1598

Metode for Konsekvensberegninger for store havværker

Udarbejdet med støtte af Forskningsrådet på Rindøvej 1

Henning Nielsen, S. Trojber Nielsen, Ole Waldmod-Larsen

Forlaget Teknisk Forlag, 2200 Roskilde, Danmark
1978

Risø-M-2598

METODE FOR KONSEKVENSBEREGNINGER FOR STORE HAVARIER
Transient-uheld med sikkerhedsventil på Ringhals 1

Flemming Nielsen, S. Thykier-Nielsen og Ole Walmod-Larsen

Resumé. Denne rapport er udarbejdet som kontraktrapport til Vattenfall, der ønskede en metode til beregning af stråledoser i omgivelserne forårsaget af alvorlige uheldssekvenser på Vattenfalls kernekraftværker. Beregningerne skulle foretages med Risøs sprednings- og dosisberegningsprogram PLUCON4.

Som eksempel på anvendelse af metoden er valgt uheldssekvensen TC-SV på Ringhals 1. En transient efterfulgt af manglende reaktornedlukning fører til kernenedsmeltning gennem reaktortanken. Indeslutningen trykaflastes gennem en sikkerhedsventil.

For at finde repræsentative vejr-situationer er 2 års meteorologidata fra Ringhalsmasten analyseret. Som typisk vejr-situation er valgt Pasquill D med en vindhastighed på 8 m/s og som ekstrem vejr-situation er valgt Pasquill F med en vindhastighed på 4,8 m/s.

August 1986

Forskningscenter Risø, DK 4000 Roskilde, Danmark

ISBN 87-550-1253-1

ISSN 0418-6435

Grafisk Service, Risø 1986

INDHOLDSFORTEGNELSE

	side
1. INDLEDNING	5
2. METEOROLOGIDATA.....	8
2.1. Indledning	8
2.2. Datamaterialet	8
2.3. Statistisk behandling af de meteo- rologiske parametre	8
2.4. Bygningers indflydelse på udslippet	13
2.5. Deponeringsparametre	14
2.6. Blandingslagets højde	16
3. ØVRIGE BEREGNINGSPORUDSÆTNINGER	17
3.1. Bygningsafskærmning og filtrering	17
3.2. Vejreffekt	19
3.3. Beregning af organdoser	19
3.4. Den effektive udbredelseshøjde	23
4. UDSLIPSSTØRRELSE OG TIDSPØRLØB	24
5. KONSEKVENSER EFTER TC-SV SEKVENSEN PÅ RINGHALS 1..	30
5.1. Individdoser	30
5.2. Kollektivdoser	39
6. REFERENCER	41
Bilag A: Meteorologistatistik	44
Bilag B: Dosisomregningsfaktorer	47
Bilag C: Beregningsresultater	50

1. INDLEDNING

Ved et møde hos Vattenfall i Vällingby 1985-03-20 fik Helsefysikafdelingen til opgave at foreslå en metode til beregning af stråledoser i omgivelserne forårsaget af alvorlige uheldssekvenser på Vattenfalls kernekraftværker. Beregningerne skulle foretages med Risøs sprednings- og dosisberegningsprogram PLUCON4 (Thykier-Nielsen, 1980).

Metoden skulle derefter anvendes på et eksempel: Uheldssekvensen TC-SV på Vattenfalls Ringhals 1-enhed: En transient, der efterfølges af en manglende reaktornedlukning, fører til kernenedsmeltning gennem reaktortanken. Trykaflastning af indslutningen sker styret gennem en sikkerhedsventil (Hägglom 1985). Uheldssekvensen er nærmere beskrevet i kapitel 4.

Det er først og fremmest de meteorologiske forhold, der hersker under uheldsforløbet, der er afgørende for konsekvenserne i omgivelserne. Forud for anvendelsen af PLUCON4 programmet skal f.eks. følgende spørgsmål besvares: I hvilken retning bærer vinden de radioaktive stoffer? Og med hvilken vindhastighed? Hvordan er stabilitetsforholdene, som bestemmer hvordan det radioaktive udslip vil blive fortyndet på sin vej bort fra stedet, hvor det slap ud? Regner det? Eksisterer der blandingslag, der spærrer af for yderligere spredning i højden?

PLUCON4 programmet kan ikke beregne kumulative sandsynligheder, dvs. f.eks., sandsynligheden for at dosis vil være mindre end x Sv i 50% af tiden.

Ud fra en passende god meteorologistatistik må man altså vælge en eller flere vejr-situationer, som er repræsentative for det pågældende sted på en ønsket måde, f.eks. en vejr-situation, der repræsenterer en 50% eller en 5% kumulativ frekvens.

Yderligere to faktorer som har indflydelse på konsekvenserne i omgivelserne skal nævnes her: De omgivende bygningsværkers indflydelse på hvirveldannelsen i vindretningen, og dermed på spredningen, samt valget af deponeringsparametre: De tal, der under såvel tørvejr som under regn beskriver, hvorledes radioaktivitetsindholdet i den forbigående luftmasse deponeres på jord- og bygningsoverflader.

I kapitel 2 er meteorologidata fra Ringhalsmasten fra perioden 1/7 1981 til 30/6 1983 analyseret og præsenteret til brug for konsekvensberegninger på grundlag af PLU JN4. Det er ligeledes beskrevet, hvordan der kan tages hensyn til de aktuelle bygningers indflydelse gennem deres hvirveldannelse, nemlig ved at antage, at udslipspunktet befinder sig et passende stykke bagved det reelle udslipssted. Endvidere er beskrevet, hvilke deponeringsparametre, der er valgt for tørvejr og regnvejr.

For at få et realistisk billede af konsekvenserne i omgivelserne af en større ulykke på en reaktorenhed er det yderligere nødvendigt at gøre en række antagelser om andre forhold, der har betydning for den resulterende stråledosis: Betydningen af at opholde sig indendørs, dels fordi husene afskærmer mod den udefra kommende stråling, dels fordi husene virker filtrerende mod radioaktivitetsindholdet i den passerende luft. Vejret udøver endvidere gennem tiden sin indflydelse på den radioaktivitet, der er blevet deponeret på jordoverfladen.

Yderligere skal beskrives, hvilke sæt af dosisomregningsfaktorer, der anvendes i modellen. Endelig skal beskrives den effektive højde, hvori det radioaktive udslip båret af vinden passerer henover omgivelserne.

I kapitel 3 er gjort rede for disse faktorer.

I kapitel 4 er beskrevet, hvorledes udslippet, der følger af den valgte uheldssekvens, er tilpasset PLUCON4 modellen for at give så realistisk et dosisbillede som muligt. Aktivitetsindholdet, der i indeslutningen er til rådighed for udslip, er delt op i tre mængder, der udslippes i en bestemt tidssekvens. Der er gjort rede for udslippenes varmeindhold og for deres effektive udbredelseshøjde.

I kapitel 5 er beskrevet de væsentligste resultater af beregningerne på TC-SV sekvensen. Det er valgt som grundeksempel at regne med indendørs ophold i 24 timer. Det er forudsat, at udslippet ske under de hyppigste stabilitetsforhold ved Ringhals: Stabilitetsklasse Pasquill D med den hyppigst forekommende vindhastighed: 8 m/s. Der er regnet med tørvejr. Da PLUCON4 modellen ikke kan beregne deponering af det store fugtindhold i det varme udslip som et fænomen, der aftager med afstanden, er der også regnet på situationen: 0,5 mm regn pr. time. Denne situation er forudsat at ville strække sig ud gennem hele beregningsafstanden, der ved beregninger af individdoser er sat til 50 km.

Nogle af beregningerne blev præsenteret på et RKS-seminar i Stockholm, 1985-11-14.

I bilag C, til rapporten er givet en detaljeret gennemgang af en række yderligere beregninger. Der er således også regnet på stabilitetsklassen Pasquill F med en vindhastighed på 4,8 m/s. Der er regnet med normal færden på stedet igennem et år for at få et maksimalt indtryk af doserne over længere tid efter udslippet. Der er endelig beregnet kollektivdoser i et antal udslipsretninger fra Ringhalsværket.

2. METEOROLOGIDATA

2.1. Indledning

Med henblik på beregning med PLUCON4 programmet af konsekvenserne af uheldsmæssige radioaktivitetsudslip fra kernekraftværket Ringhals er udført en undersøgelse af de meteorologiske forhold på denne plads. Undersøgelsen har været begrænset til at omfatte data fra perioden 1/7-1981 til 30/6-1983 målt ved anlæggets meteorologimast.

2.2. Datamaterialet

Fra meteorologimasten på Ringhals foreligger timeværdier for perioden 1/7-1981 til 30/6-1983. De data, der er målt for hver time, er:

Vindretning i højderne 24 m og 96 m.

Vindhastighed i højderne 24, 48 og 96 m.

Temperaturen i højden 2 m og temperaturdifferenserne:

$T(96m) - T(2m)$, $T(48m) - T(2m)$, $T(24m) - T(2m)$ samt $T(12m) - T(2m)$

2.3. Statistisk behandling af de meteorologiske parametre

2.3.1. Bestemmelse af stabilitet

Stabilitetsforholdene er beregnet ud fra temperaturgradienten.

Beregningen af temperaturgradienten kan foretages på følgende måder:

- 1) En simpel lineær temperaturgradient, hvor der kun tages hensyn til temperaturen i endepunkterne.
 - 2) En lineær regression, hvor der ved beregningen af temperaturgradienten tages hensyn til temperaturen i endepunkterne og alle mellemliggende temperaturmålinger.
-

- 3) En potensfunktion af formen $T(h)=a \cdot h^b$, hvor konstanterne a og b findes ud fra temperaturerne i endepunkterne.
- 4) Samme potensfunktion som i 3), men konstanterne a og b findes nu som bedste fit til kurven, idet der tages hensyn til temperaturen i endepunkterne og alle mellemliggende temperaturmålinger.

Da der ikke er den store forskel på de 4 metoder, er det efter aftale med Vattenfall besluttet at bruge metode 1).

Stabiliteten kan derefter findes ud fra tabel 2.1., som stammer fra USAEC, 1972.

Beskrivelse	Kategori	$T(100 \text{ m}) - T(0 \text{ m})$
meget ustabil	A	mindre end -1,9
ustabil	B	fra -1,9 til -1,7
let ustabil	C	fra -1,7 til -1,5
neutral	D	fra -1,5 til -0,5
let stabil	E	fra -0,5 til 1,5
meget stabil	F + G	større end 1,5

Tabel 2.1. Bestemmelse af stabilitetsklasser fra den vertikale temperaturgradient. (USAEC, 1972)

På fig. 2.1 er vist stabilitetens fordeling beregnet ud fra temperaturgradienten fra 2 til 96 m.

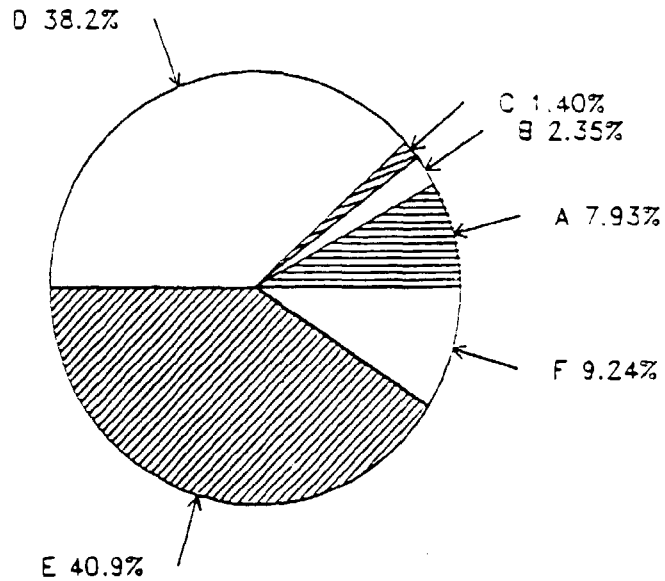


Fig. 2.1. Fordeling af atmosfærisk stabilitet for Ringhals i perioden 1/7-1981 til 30/6-1983. Temperaturgradient fra 2 til 96 m.

Svaggheden ved denne metode er, at ikke alle relevante stabilitetsparametre indgår i klassifikationen. For et marint tempereret klima vil det typisk gælde at en statistik på grundlag af temperaturgradienten "hælder" for meget til den stabile side. Dvs., at der er for stor andel af stabile, specielt let stabile, situationer og for få ustabile og neutrale situationer. I betragtning af, at det væsentligste formål med nærværende undersøgelse er at give en oversigt over de mulige udslipssituationer for Ringhalsværket, skønnes usikkerheden ved den betragtede metode dog at være acceptabel.

2.3.2. Udslipsretning

På fig. 2.2. er fordelingen af udslipsretning vist. Det ses, at udbredelsesretningen 90 grader er den mest sandsynlige med

knapt 15% af tiden. Vinden bærer altså et eventuelt udslip i knapt 15% af tiden ind i sektoren 90° , som omfatter 30° med $\pm 15^\circ$ omkring retningen 90° .

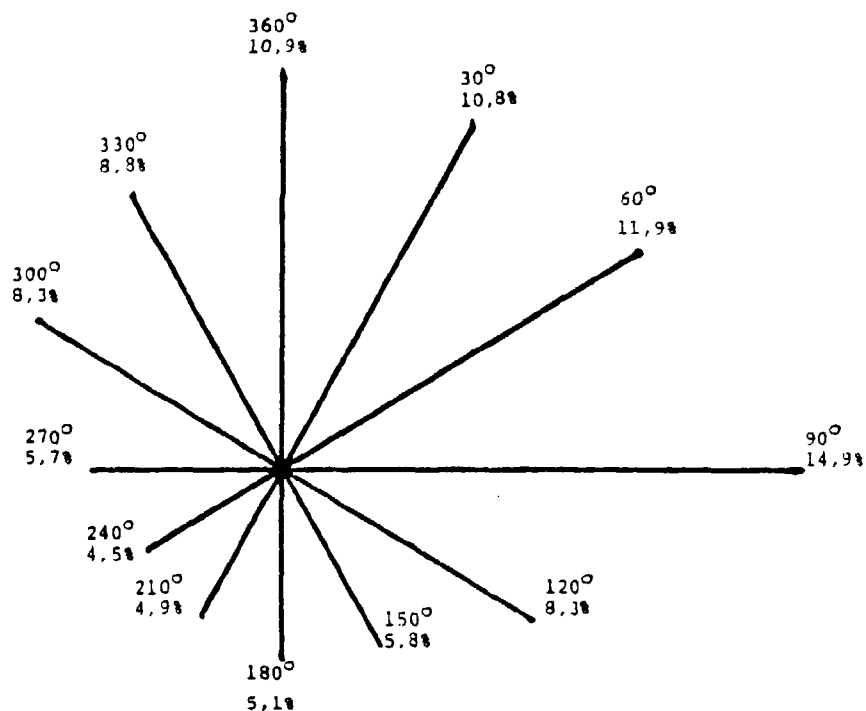


Fig. 2.2. Fordeling af udslipsretning for Ringhals i perioden 1/7-1981 til 30/6-1983. Der benyttes vindretning for højden 96 m.

I bilag A på tabel A1 er vist fordelingen af stabiliteterne i de enkelte udbredelsesretninger. Det ses her, at kombinationen af stabilitet D og udslipsretning 90° er den mest sandsynlige med 6,9% af tiden.

2.3.3. Valg af vindhastighed og udslipsretning

I bilag A på tabel A2 er vist vindhastighedens fordeling i de enkelte udslipsretninger. Det ses, at kombinationen af vindhastighed over 10 m/s og udslipsretning 90° er den mest sandsynlige med 5,7% af tiden. I øvrigt ses af figuren, at udslipsretning 180° (vind fra nord) giver vindhastigheder signifikant lavere end ved andre retninger. Forklaringen

er sandsynligvis, at nordenvind på det betragtede sted ofte er ledsaget af køligt vejr med stabil atmosfære.

I bilag A på tabel A3 ses fordelingen af stabilitet i de enkelte vindhastighedsintervaller for alle vindretninger under ét. Det fremgår her, at kombinationen af stabilitet E og vindhastighed imellem 6 og 10 m/s er den mest sandsynlige med 15,3% af tiden. Af totalerne nederst ses, at midde vindhastigheden er ca. 7 m/s ved stabilitet A, B og C, ca. 8 m/s ved stabilitet D og E og ca. 4,8 m/s ved stabilitet F.

2.3.4. Sammenfatning af vejr-situationer valgt til beregnings-eksemplet

På grundlag af den hermed beskrevne statistik er det valgt at gennemføre beregninger for følgende to kombinationer af vindhastighed og stabilitet:

1. Pasquill D (neutral) med vindhastigheden 8 m/s.
2. Pasquill F (meget stabil) med vindhastigheden 4,8 m/s.

Pasquill D er valgt som en typisk vejr-situation, og Pasquill F er valgt som en ekstrem vejr-situation, der giver relativt store doser i stor afstand fra værket. For begge stabiliteter er valgt middelvindhastigheden i henhold til tabel A3.

Efter beregningerne er gennemført, er der foretaget en fraktil beregning på vejrstatistikken fra 1982 fra Ringhalsmasten med CRAC2 (Ritchie, 1984). Der er her fundet, at de valgte vejr-situationer kommer tæt på 50% og 5% fraktilerne. Idet den bedste approksimation til 50% fraktilen er Pasquill D med en vindhastighed på 10,2 m/s, og den bedste approksimation til 5% fraktilen er Pasquill E med en vindhastighed på 2-3 m/s (Thykier-Nielsen, 1986).

Det er endelig valgt også at regne på situation 1 med 0,5 mm regn pr. time. Herved kan illustreres virkningen af, at det

store varme- og dampindhold i det afblæste udslip fra reaktorindeslutningen ved kondensation i den koldere, omgivende luft kan give anledning til udvaskning af en del af udslippets aktivitetsindhold. Det skal understreges, at denne effekt må antages at aftage, efterhånden som temperaturudligning sker mellem udslippet og de omgivende luftmasser. Det er ikke muligt med det eksisterende PLUCON4 program at illustrere denne aftagende effekt, hvorfor regnen antages at fortsætte i hele beregningsafstanden på de valgte 50 km. Den tilhørende våddæponeringsparameter er beskrevet nedenfor under 2.5.

2.4. Bygningers indflydelse på udslippet

Når den effektive udslipshøjde for en frigørelse er af samme størrelsesorden som dimensionerne på de bygninger, der omgiver udslipsstedet, vil udbredelsen af materialet i betydelig grad påvirkes af bygningernes tilstedeværelse. For et konkret bygningskompleks kan de nøjagtige udbredelsesforhold tæt på udslipsstedet kun findes ved forsøg med modeller i en vindtunnel. For større afstande fra udslipsstedet (typisk 5-10 gange bygningshøjden) kan man dog med rimelig nøjagtighed anvende en af de i litteraturen forekommende analytiske modeller til definerings af den såkaldte virtuelle kilde, hvorved en mere nøjagtig beregning kan foretages også for små afstande.

Her er det valgt at benytte Barker/Jones model (1982/83), som i en nylig udført undersøgelse nævnes som velegnet på større afstande (Foster, 1984). Modellen benyttes i NRPB's modelsystem MARC (Methodology for Assessing the Radiological Consequences of Accidental Releases, (Jones, 1982)). Modellen er som følger:

$$\sigma'_y(0) = \frac{b}{3}$$

$$\sigma'_z(0) = \frac{h}{3}$$

$$z_s = \frac{h}{3} \quad \text{hvis } h \text{ stak } < \sim h$$

hvor

- b = bygningsbredde (på tværs af vindretningen)
h = største bygningshøjde
 σ'_y = korrigeret horisontal spredningsparameter
 σ'_z = korrigeret vertikal spredningsparameter
 z_s = effektiv udslipshøjde
x = kildeafstand i vindretningen

I tilfældet TC-SV har man eksempelvis for Ringhals-bygningen

b = 50 m, h = 55 m og $h_{stak} = 40$ m. Heraf fås

$$\sigma'_y(0) = 16,667 \text{ m}$$

$$\sigma'_z(0) = 18,667 \text{ m}$$

$$z_s = 18,667 \text{ m}$$

Formlen gælder kun for $x > 5 \cdot h = 275$ m, hvilket er mindre end den minimumsgrænse på 500 m, som er valgt ved de foreliggende beregninger og som er mindre end afstanden til Ringhals-hegnet.

Disse værdier er herefter indsat i PLUCON4.

2.5. Deponeringsparametre

Materialer i atmosfæren, partikulære eller luftformige, kan afsættes på overfladen ved forskellige processer. Hele dette kompleks af processer kaldes bekvemt for deponering. Deponering afhænger af tre typer parametre. For det første parametre, der beskriver det materiale, der afsættes. For det andet meteorologiske parametre beskrivende temperatur, vindhastighed, fugtighedsprocent m.m. For det tredje parametre, der beskriver overfladen, f.eks. ruhedslængder, vegetationstype og -densitet m.m.

Når man skal diskutere deponeringsparametre, er det hensigtsmæssigt at opdele deponeringsprocesserne i forskellige grupper efter

- materialetyper (luftarter, partikler)
- meteorologiske forhold (tør- og våddeponering)
- overfladetyper (ru og glatte overflader).

Alle overflader betragtes som ru overflader (bevoksede overflader, græsmarker, kornmarker etc.), idet der her fås de største deponeringsparametre.

For tørdeponering af luftarter i forbindelse med et hypotetisk reaktoruheld er det kun nødvendigt at beskæftige sig med elementær jod og luftformige forbindelser indholdende jod, f.eks. methyljodid. På baggrund af mange eksperimentelle bestemmelser af tørdeponeringsparametre for jod kan det konkluderes, at en typisk værdi for jod kan sættes til 0,7 cm/s, og at det vil være meget usandsynligt, at værdien vil overstige 1 cm/s. For methyljodid er værdien ca. 100 gange mindre end for jod (Heinemann 1980 og Sehmel 1980).

Ovenstående tørdeponeringsparameter på 1 cm/s for jod kan kun bruges ved stabilitet A, B, C og D for vindhastigheder større end 3 m/s. Ved mindre vindhastigheder og ved stabilitet E og F overstiger denne deponeringsparameter det maksimalt mulige (Thykier-Nielsen 1982). Tørdeponeringsparametre for det øvrige udslip fås fra Roed 1981. De ved beregningerne brugte tørdeponeringsparametre ses på tabel 2.2.

Stabilitet	Vindhastighed	Tørdeponeringsparameter	
		Jod	Øvrigt udslip
D	8 m/s	1 cm/s	0,2 cm/s
F	4,8 m/s	0,4 cm/s	0,2 cm/s

Tabel 2.2. De valgte tørdeponeringsparametre som funktion af Pasquill stabilitet og vindhastighed. (Øvrigt udslip omfatter ikke ædelgasser, der ikke deponeres).

Ved TC-SV udslippet kommer kun 1/3 af den deponerede jod fra jod udslippet, medens 2/3 dannes ved henfald af Tellur. D.v.s. den effektive tørdeponeringsparameter for jod ved stabilitet F bliver ca. 0,3 cm/s.

I regnvejrssituationen med intensiteten på 0,5 mm/time er våd-deponeringsparameteren l_g sat til $3 \cdot 10^{-5}/s$ (Engelmann, 1968).

2.6. Blandingslagets højde

For stabilitet D er antaget et blandingslag i højden 500 m og for stabilitet F i højden 200 m (Thykier-Nielsen, 1980). Dette blandingslag kan ikke gennemtrænges af udslippet, hvis udbredelse dermed begrænses til området mellem blandingslaget og jordoverfladen.

3. ØVRIGE BEREGNINGSFORUDSÆTNINGER

3.1. Bygningsafskærmning og filtrering

Afskærmningsfaktorer under skypassage (indendørs)

I beregninger af dosis fra deponeret aktivitet på overflader anvendes dosis i én meters afstand over en plan flade af uendelig udstrækning og med jævnt fordelt overfladeaktivitet som referencedosis. Den reelle dosis vil altid være mindre end referencedosis på grund af forskellige reduktionsfaktorer, såsom afskærmning fra omkringliggende bygninger og de bygninger eller transportmidler, man opholder sig i.

Den afskærmende virkning af en bygning kan udtrykkes ved en afskærmningsfaktor, som er forholdet mellem dosis, der modtages henholdsvis inde i og udenfor bygningen.

For indendørs ophold fås følgende afskærmningsfaktorer fordelt på hustyper ved Ringhals:

	Indendørs	
	Skypassage	Deposition
10% d) flerfamiliehuse	0,3 ^{b)}	0,03 ^{a)}
20% d) parcelhuse, mursten	0,6 ^{c)}	0,1 ^{a)}
70% d) træhuse	0,9 ^{b)}	0,3 ^{b)}
Gennemsnitlige afskærmningsfaktorer	0,78	0,233

Tabel 3.1. Afskærmningsfaktorer ved indendørs ophold. Der er brugt følgende referencer a) Hedemann, 1984 tabel 5 og 6 traditionelt, b) Statens Strålskyddsinstitut, 1979, Vol. 5, tabel 4.3, c) NASH-1400 og d) personlig kommunikation med länsstyrelsen i Halland 17/4-1985.

Filterfaktor

Huse virker som filter mod den forurenele luft udendørs, idet partikler hænger fast i dør- og vindueskarme i stedet for at trænge med luftskiftet ind i huset. Den herved opnåede reduktion i inhalationsdoserne kaldes filterfaktoren.

Filterfaktoren for indendørs ophold sættes til 0,33, som nævnt i Miljøstyrelsen 1984.

Opholdstider

For at kunne tage hensyn til at personer opholder sig såvel udendørs som indendørs efter skypassage er det nødvendigt at anvende en tidsmidlet afskærmningsfaktor for deponeret aktivitet.

I mangel af svenske tal anvendes amerikanske (Aldrich, 1978), her opgives følgende midlede opholdstider:

Udendørs:	6% af tiden
Transport:	5% af tiden
Bolig, arbejde og skole:	89% af tiden

Ved transport indregnes en faktor 0,5 som følge af transportmidlets egen afskærmende virkning (Lauridsen 1981).

Afskærmningsfaktor efter skypassage (normal færd)

Herefter kan den tidsmidlede afskærmningsfaktor for deponeret aktivitet beregnes:

Udendørs:	$0,06 \cdot 1$	= 0,06
Transport:	$0,05 \cdot 0,5$	= 0,025
Bolig, arbejde og skole:	$0,89 \cdot 0,233$	= 0,207
Ialt		0,292

3.2. Vejreffekt

Aktivitet, der er deponeret udendørs, vil som følge af vejrlig og specielt regn forsvinde hurtigere, end den fysiske halveringstid betinger. Der er tale om en korttidseffekt som følge af nedbør, der falder samtidig med eller i de første par dage efter deponeringen, samt om en langtidseffekt.

Der er på Risø gjort en række forsøg på at måle disse effekter med rubidium, der reagerer kemisk som cæsium (Warming, 1981). I gennemsnit fås, at vejret i begyndelsesperioden giver en halveringstid på 27 dage på asfalterede veje.

H.J. Gale angiver en halveringstid på ca. 100 år for langtids-effekten (Gale, 1963).

Herefter bliver reduktionsfaktoren, hvor t angives i år:

$$0,6 \cdot \exp(-9,5t) + 0,4 \cdot \exp(-0,0075t),$$

3.3. Beregning af organdoser

Dosis til de enkelte organer beregnes som summen af de 3 dosiskomponenter gammadosis fra skypassage og deponeret aktivitet og indåndingsdosen.

3.3.1. Knoglemarv

Det antages almindeligvis (WASH-1400), at skade på knoglemarven er den vigtigste årsag til tidlig død på grund af store strålingsdoser til hele kroppen. Det vil sige, at strålingsskade af lunger og mavetarmkanal sandsynligvis ikke vil

være dødbringende, medmindre knoglemarven også beskadiges. For knoglemarvsdoser er tærskelværdien, hvorunder der ikke kan ske tidlige dødsfald ved minimal behandling 1 Sv. Den akutte knoglemarvsdosis beregnes som summen af gammadosis fra skypassage, gammadosis fra deponeret aktivitet integreret over opholdstiden, og indåndingsdosen integreret til den 30. dag. Størstedelen af dosis til knoglemarven modtages indenfor den første måned.

3.3.2. Lunger

Radioaktive stoffer, som tilhører aktiniderne (som inkorporeres i lymfeknuderne), lanthangruppen og i mindre grad rutheniumgruppen giver det største bidrag til lungedosis. Mellem 50% og 80% af den inhalerede dosis vil være absorberet indenfor et år. Dosis til lungerne beregnes derfor som summen af gammadosis fra skypassage, gammadosis fra deponeret aktivitet integreret over opholdstiden og den interne dosis til lungerne fra inhalation integreret over et år.

For lungedoser er der i WASH-1400 (fig. VI 9-3) vist sammenhængen mellem sandsynligheden for dødsfald indenfor et år og den modtagne lungedosis. En lungedosis på 50 Sv giver en dødsrisiko på 2%, og en lungedosis på 40 Sv giver en dødsrisiko på 1%.

Da risikoen for akut skade afhænger af hastigheden, hvormed lungedosis akkumuleres, vil denne beregningsmetode overvurdere dosis.

3.3.3. Skjoldbruskkirtel

J-131 vil bidrage med ca. 2/3 af dosis til skoldbruskkirtelen. Da J-131 har en halveringstid på 8 dage, og de andre radioaktive jodisotoper, der kommer i betragtning, har en halveringstid på

mindre end en dag, vil størstedelen af inhalationsdosis til skjoldbruskkirtelen være absorberet i løbet af en måned. Ifølge WASH-1400 er tærskelværdien for akutte skader som følge af skjoldbruskkirteldoser 250 Sv.

Dosis beregnes som summen af gammadosis fra skypassage, gammadosis fra deponeret aktivitet integreret over opholdstiden, og den interne dosis til skjoldbruskkirtelen fra indåndet aktivitet integreret over 1 uge.

Dosis fra inhalation er beregnet for børn, der er den kritiske gruppe, ved at gange dosisfaktorerne for voksne med 2 (Cedervall, 1985).

3.3.4. Hele kroppen

For at opgøre de mulige langtidskonsekvenser af bestråling af hele kroppen beregnes det såkaldte committede effektive dosisækvivalent. Dette beregnes som summen af gammadosis fra skypassage, gammadosis fra deponeret aktivitet integreret over opholdstiden, og det committede effektive dosisækvivalent fra inhalation. Det committede effektive dosisækvivalent fra inhalation (H_{50}) er defineret som:

$$H_{50} \equiv \sum_i W_{T,i} \cdot O_{50,i}$$

hvor

$O_{50,i}$ = 50 års committed dosisækvivalent for organ i .

$W_{T,i}$ = Vægtfaktor for organ i .

Summationen foretages for gonader, bryst, knoglemarv, lunger, skjoldbruskkirtel, skelet og 5 andre organer.

Data for, O_{50} og W_T er taget fra ICRP 1979.

3.3.5. Dosisomregningsfaktorer

I bilag B på tabel B1 er vist de i beregningerne brugte omregningsfaktorer fra inhalation til henholdsvis knoglemarvs-, lunge-, skjoldbruskkirtel- og helkropsdosis.

For de med V mærkede isotoper har Vattenfall (Cedervall, 1985) opgivet nye tal, som er indsat i programmet.

For de med W mærkede isotoper bruges faktorer fra WASH-1400, Appendix VI, tabel D-2 til beregning af knoglemarvs-, lunge-, og skjoldbruskkirteldosis. Data til faktorerne til beregning af helkropsdosis er for de med W mærkede isotoper fra Hedemann, 1980, ICRP, 1979 og NRPB 1978. Efter beregningerne er foretaget, er der fundet anledning til at revidere disse omregningsfaktorer. De vil derfor ikke blive brugt ved fremtidige beregninger.

PLUCON4 indeholder ingen tilsvarende dosisomregningsfaktorer til beregning af gammadoser fra skypassage og deponeret aktivitet. I stedet indeholder programmet en tabel med gammaudbytter opdelt på 8 energigrupper for hver enkelt isotop. Ved hjælp af disse udbyttetal kan gammadoser i luft beregnes. For at få doser i organer er det nødvendigt at tage hensyn til selvafskærmningen i kroppen. Her er brugt de selvafskærningsfaktorer, som er vist i bilag B på tabel B2.

Ved at beregne koncentration af deponeret aktivitet og dosis for hver enkelt isotop kan dosisomregningsfaktorerne i bilag B på tabel B3 for deponeret aktivitet beregnes.

Gammadosis fra skypassage beregnes ved at integrere dosisbidragene fra hele den radioaktive sky. Dosis afhænger således ikke kun af luftkoncentrationen det pågældende sted. Der eksisterer derfor ikke simple omregningsfaktorer mellem luftkoncentrationen et givet sted og gammadosis fra skypassage.

3.4. Den effektive udbredelseshøjde

Den effektive udbredelseshøjde beregnes som summen af skorstenshøjden og varmeløftet. Løftet på grund af varmen i udslippet beregnes ved hjælp af Brigg's formel (WASH-1400). Der ses bort fra varmeafgivelsen ved radioaktive henfald og fra fortætningsvarmen fra den ledsagende damp. Ved stabilitet D er formlen:

$$H = h + 104 \cdot p^{0,6}/u$$

og ved stabilitet F er formlen:

$$H = h + 55,76 \cdot \sqrt[3]{p/u}$$

hvor: H er den effektive udbredelseshøjde i m.

h er udslipshøjden i m.

p er energifrigørelses hastigheden i MW.

u er vindhastigheden i m/s.

Idet h er 40 m og p tages fra kapitel 4, fås de effektive udbredelseshøjder, der er brugt ved disse beregninger, som vist i tabel 3.2.

Stabilitet	Vindhastighed	1. periode p = 70 MW	2. periode p = 35 MW	3. periode p = 24 MW
D	8 m/s	206 m	150 m	128 m
F	4,8 m/s	176 m	148 m	135 m

Tabel 3.2. Den effektive udbredelseshøjde som funktion af Pasquill stabilitet og vindhastighed.

4. UDSLIPSSTØRRELSE OG TIDSFØRLØB

Der betragtes et TC-SV-uheld på Ringhals reaktor nr. 1. (Nærmere beskrevet i Hægblom, 1985). Uheldet starter med en transient efterfulgt af manglende reaktornedlukning. Kernen bliver hurtigt frilagt på grund af utilstrækkelig fødevandstilførsel og utilgængeligt nødkølesystem. Kernen overhedes og smelter igennem reaktortanken.

På grund af øget tryk i indeslutningen åbner en sikkerhedsventil samtidig med gennemsmeltningen. Efter 3 1/2 minut lukker sikkerhedsventilen igen og forbliver lukket de næste 5 timer. Herefter åbnes sikkerhedsventilen igen i ca. 2 1/2 time.

Reaktoreffekten er 100% frem til uheldets start, 50% de første 1450 s af uheldsforløbet og herefter resteffekt. Dette forenkles til 100% effekt frem til 1450 s og herefter resteffekt. Udslippets forløb deles op i tre perioder med konstant udslip i de enkelte perioder, som vist på tabel 4.1.

	Tid fra uheldsstart s	Tid fra nedlukning s
Start 1. periode:	8.320	6.970
Varighed 205 sek (3 1/2 min)		
Start 2. periode:	8.525	7.075
Varighed 7.175 sek (2 timer)		
Ophør 2. periode:	15.700	14.250
Start 3. periode:	24.100	22.650
Varighed 12.500 sek (3 1/2 time)		
Ophør 3. periode:	36.600	35.150

Tabel 4.1. TC-SV-uheldet opdeles i 3 udslipsperioder.

Udslipsmængderne er som vist på tabel 4.2. På figuren er desuden vist inventaret i reaktoren på nedlukningstidspunktet.

Isotop-gruppe	1. periode kg	2. periode kg	3. periode kg	Ialt kg	Inventar kg
Ædelgas	77,5	229,5	75	382	467
Jod og Cs	0,363	1,05	0,62	2,03	226
Tellur	0,0614	0,707	0,39	1,16	41,6
Strontium	0,0014	0,837	0,006	0,844	71,5
Ruthenium	0,0014	0,834	0,006	0,841	161

Tabel 4.2. Udslipsmængder og samlet udslip ved TC-SV-uheld og inventar i reaktoren på nedlukningstidspunktet.

Idet Antimon antages at have samme udslipsprocent som Tellur, og Rhodium og Technetium antages at have samme udslipsprocent som Ruthenium, fås heraf udslipsprocenterne i tabel 4.3.

Isotopgruppe	1. periode %	2. periode %	3. periode %	Ialt %
Ædelgas	16,6	49,1	16,1	81,8
Jod og Cs	0,161	0,465	0,274	0,90
Te og Sb	0,148	1,700	0,938	2,79
Strontium	0,002	1,17	0,008	1,18
Ru, Rh og Tc	0,0009	0,518	0,0037	0,522

Tabel 4.3. Udslipsprocenter for TC-SV-uheld.

Ved hjælp af programmet HMP, der både kan beregne fissionsproduktindhold, som BAFIP og transuranindhold, beregnes inventaret i kernen ved start- og sluttidspunktet af de tre perioder. Herefter beregnes de 3 udslip ved hjælp af formlen:

$$p \cdot (M1 - M2) / \ln \left(\frac{M1}{M2} \right)$$

hvor

p er udslipsprocenten

M1 er aktiviteten ved starten af udslipsperioden

M2 er aktiviteten ved slutningen af udslipsperioden

Det således beregnede udslip ses i tabel 4.4. På figuren er desuden vist aktiviteten ved nedlukning og det samlede udslip i procent af nedlukningsaktiviteten. På grund af henfald før og under udslippet bliver disse udslipsprocenter mindre end procenterne i tabel 4.3. Eneste undtagelse er Xe-135, hvor det

samlede udslip udgør 116% af aktiviteten på nedlukningstidspunktet, idet inventaret af Xe-135 er stigende de første timer efter nedlukning på grund af henfald af J-135.

Ud over de på tabel 4.4 viste isotoper indgår Rb88, Rb89, Y90, Y91 og Rh106 i beregningerne, idet der regnes med følgende henfald til radioaktive datterprodukter:

Kr85m	→	Kr85	Tel29m	→	Tel29
Kr88	→	Rb88	Tel31m	→	Tel31
Kr89	→	Rb89	Tel31	→	J131
Sr90	→	Y90	Tel32	→	J132
Sr91	→	Y91	J131	→	Xel31m
Ru105	→	Rh105	J133	→	Xel33
Ru106	→	Rh106	J135	→	Xel35
Sb127	→	Tel127	Xel37	→	Cs137
Sb129	→	Tel129m	Xel38	→	Cs138

Alle andre henfald antages at ske til isotoper, der ikke har interesse for dosisberegningerne.

Energiindholdet i udslippet sættes konstant i de tre perioder. Der er valgt en lidt lavere værdi end middelværdien af start og slutværdien af den enkelte periode. Herved fås en lidt lavere højde på udslippets centerlinie, hvilket giver højere og dermed konservative individdoser.

1. periode 70 MWh/h (middelværdi 71)
2. - 35 - (- 36,5)
3. - 24 - (- $\frac{8400}{12500} \times 36,5$)

Energiindholdet er 36,5 MWh/h i 8400 s af 3. periodes 12500 s. Dette giver et middelenergiindhold på 24 MWh/h.

Isotop	Aktivitet ved nedlukning TBq	Udslip i 1. periode TBq	Udslip i 2. periode TBq	Udslip i 3. periode TBq	Samlet udslip i % af nedlukningsaktivitet
Kr83m	3,4E5	4,78E4	1,22E5	1,47E4	54,3
Kr85m	8,1E5	9,96E4	2,52E5	3,91E4	48,1
Kr85	2,7E4	4,48E3	1,33E4	4,35E3	82,0
Kr87	1,3E6	7,36E4	1,31E5	2,92E3	16,0
Kr88	1,8E6	1,85E5	4,28E5	4,09E4	36,3
Kr89	2,2E6	3,73E-6	2,85E-7	1,43E-32	1,83E-12
Sr89	2,9E6	5,79E1	3,39E4	2,31E2	1,18
Sr90	2,1E5	4,20E0	2,46E3	1,68E1	1,18
Sr91	3,6E6	6,25E1	3,40E4	1,61E2	0,951
Tc99m	4,2E6	3,77E1	2,16E4	1,51E2	0,519
Ru103	3,1E6	2,79E1	1,60E4	1,14E2	0,521
Ru105	2,0E6	1,33E1	6,55E3	2,14E1	0,329
Ru106	1,2E6	1,08E1	6,22E3	4,44E1	0,523
Rh105	1,8E6	1,61E1	9,22E3	6,25E1	0,517
Sb127	1,8E5	2,65E2	3,03E3	1,62E3	2,73
Sb129	9,0E5	9,77E2	9,57E3	2,37E3	1,44
Tel27m	2,8E4	4,14E1	4,76E2	2,63E2	2,79
Tel27	1,8E5	2,66E2	3,06E3	1,67E3	2,78
Tel29m	1,5E5	2,22E2	2,55E3	1,40E3	2,78
Tel29	8,8E5	1,12E3	1,17E4	3,64E3	1,87
Tel131m	3,3E5	4,69E2	5,26E3	2,58E3	2,52
Tel131	2,2E6	4,19E2	2,62E3	4,89E2	0,160
Tel132	3,7E6	5,38E3	6,13E4	3,23E4	2,68
Jl131	2,5E6	4,01E3	1,15E4	6,70E3	0,888
Jl132	3,5E6	5,57E3	1,60E4	9,06E3	0,875
Jl133	5,0E6	7,70E3	2,16E4	1,08E4	0,802
Jl134	6,0E6	3,65E3	5,93E3	1,12E2	0,162
Jl135	4,7E6	6,17E3	1,60E4	5,56E3	0,590
Xel131m	1,5E4	2,49E3	7,36E3	2,41E3	81,7
Xel133m	3,3E5	5,46E4	1,61E5	5,21E4	81,1
Xel133	5,2E6	8,63E5	2,55E6	9,33E5	81,7
Xel135m	1,4E6	1,46E5	3,90E5	7,61E4	43,7
Xel135	1,2E6	2,59E5	8,21E5	3,06E5	116
Xel137	4,5E6	5,28E-4	5,20E-5	3,42E-26	1,29E-10
Xel138	4,3E6	2,36E3	1,09E3	5,89E-4	0,0802
Cs134	2,6E5	4,19E2	1,21E3	7,12E2	0,900
Cs136	7,7E4	1,23E2	3,56E2	2,07E2	0,891
Cs137	2,8E5	4,51E2	1,30E3	7,67E2	0,899
Cs138	5,0E6	6,58E2	6,54E2	8,68E-1	0,0263

Tabel 4.4. Aktivitet ved nedlukning, udslip i de 3 perioder af TC-SV-uheldet og samlet udslip i procent af nedlukningsaktivitet.

På fig. 4.1. er vist tidsforløbet for skypassage som funktion af centerlinjeafstanden for vindhastigheden 8 m/s, der bruges ved stabilitet D. Fig. 4.2. viser tilsvarende tidsforløbet for vindhastigheden 4,8 m/s, der bruges ved stabilitet F.

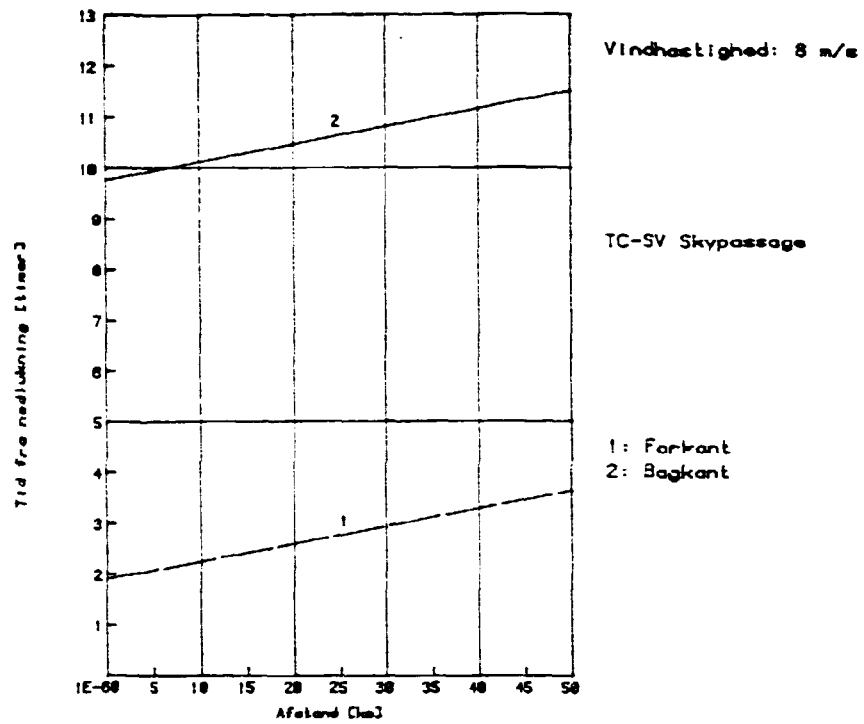


Fig. 4.1. Tidsforløb for skypassage med vindhastighed 8 m/s, som bruges ved stabilitet D.

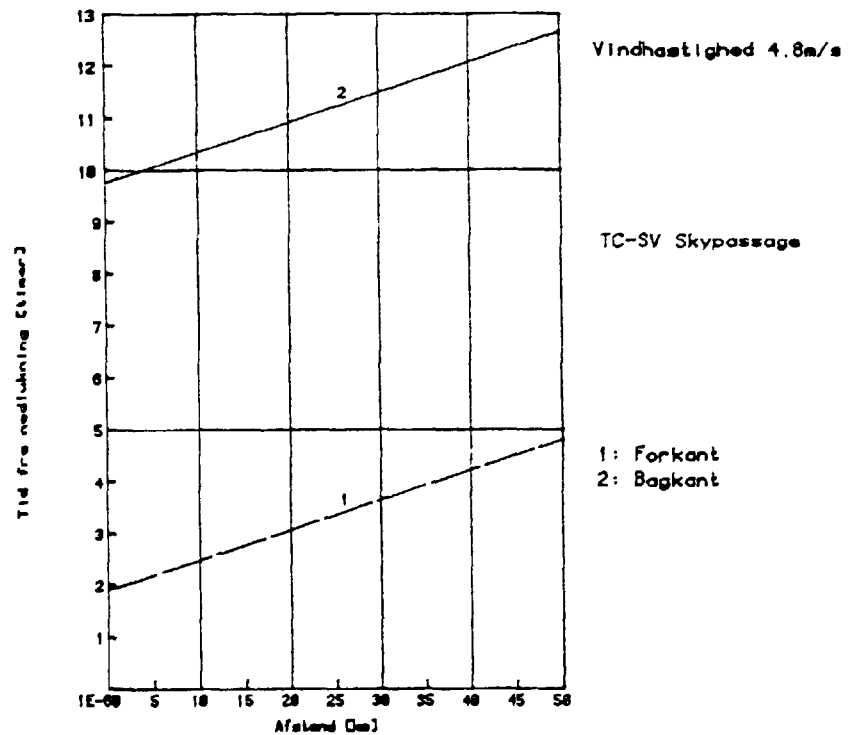


Fig. 4.2. Tidsforløb for skypassage med vindhastighed 4,8 m/s, som bruges ved stabilitet F.

5. KONSEKVENSER EFTER TC-SV SEKVENSEN PÅ RINGHALS 1

I dette kapitel er redegjort for konsekvenserne i form individdoser i omgivelserne ud til 50 km afstand såvel som for kollektivdoser ud til 62 km (for at tage befolkningskoncentrationen omkring Göteborg med i betragtning).

Det skal bemærkes, som det er diskuteret i Thøgers-Nielsen 1980, at modellen beregner doser med rimelig nøjagtighed ud til 20 - 30 km fra kilden, dvs. indenfor en faktor 2 - 3, men at man på længere afstande får en overvurdering af doserne, som på 50 km kan være op til en faktor 10 over den egentlige værdi.

For kollektivdosernes vedkommende skal det bemærkes, at nøjagtigheden også afhænger af det anvendte demografiske materiale. Store befolkningskoncentrationer beliggende på større afstande (Göteborg) kan således give urealistisk store bidrag til kollektivdosen, om uheldet sker i den pågældende retning.

5.1. Individdoser

5.1.1. Pasquill D, 8 m/s, ingen regn

På figurerne, der viser individdosis under skyens centerlinie, dvs. maksimaldosis i den pågældende afstand, er det valgt at bruge en logaritmisk inddeling af abcissen, der viser afstanden fra udslipspunktet. Herved lægges vægt på at illustrere forholdene nærmest værket, hvor doserne er størst, og som derfor har størst interesse.

De 24 timer er regnet fra nedlukningstidspunktet, dvs. 1450 sekunder inde i uheldsforløbet.

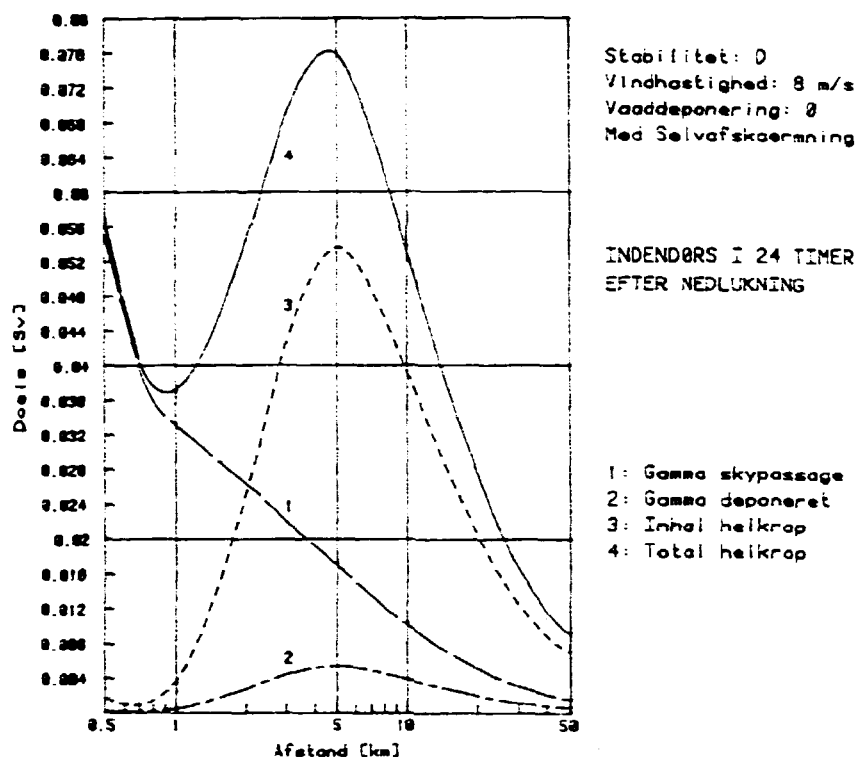


Fig. 5.1. Total helkropsdosis opdelt i dosiskomponenter.

På figur 5.1. er vist gammadosis fra skypassagen, gammadosis fra deponeret aktivitet, inhalationsbidraget til helkropsdosis, samt summen af de tre komponenter.

På grund af varmeindholdet i udslippet løftes dette så højt, at skyens indhold af radioaktivitet først når jordoverfladen i en afstand af ca. 700 m fra værket. Der er altså ingen aktivitet at indånde, og der sker kun en meget ringe deponering. Disse to dosiskomponenter vokser først op til maksimum på en afstand af ca. 5 km.

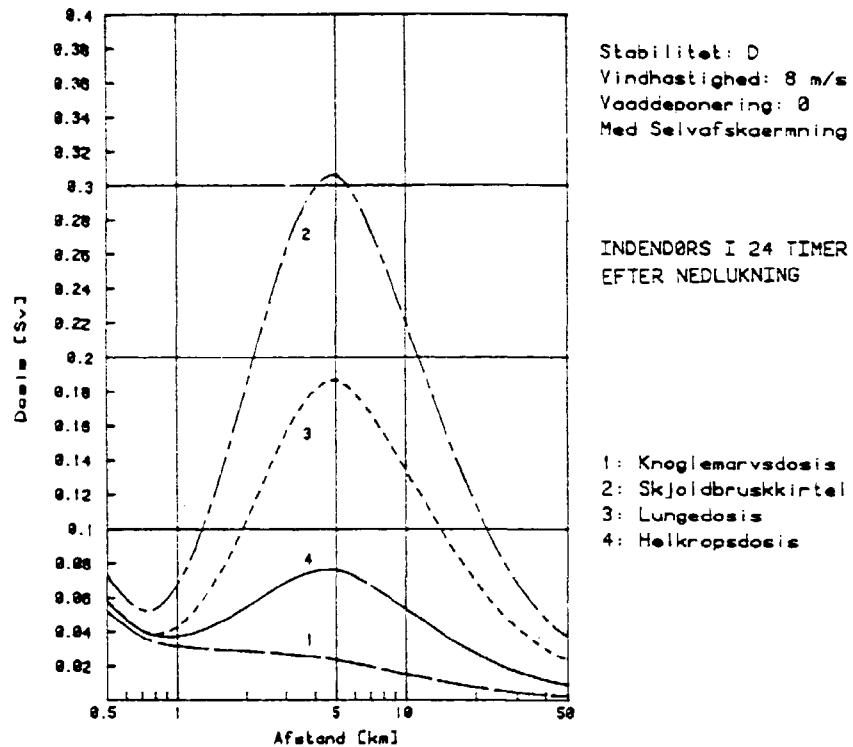


Fig. 5.2. Organdoser ved 24 timers indendørs ophold.

På figur 5.2. er vist organdoserne til knoglemarv, skjoldbrusk-kirtel, lunger samt helkropsdosis, der er identisk med sumkurven på fig. 5.1. Der skal gøres opmærksom på de forskellige ordinat-værdier på de forskellige figurer.

Doser i Sv	Gammadosis fra		Inhala- tion	Total dosis i maksimal- punktet	Tærskel- værdi
	skypas- sage	deponeret aktivitet			
Lunge	0,017	0,005	0,165	0,187	40
Knoglemarv	0,015	0,005	0,003	0,023	1
Skjoldbruskk.	0,019	0,006	0,281	0,306	250
Helkrop	0,017	0,005	0,054	0,076	-

Tabel 5.1. Organdoser 5 km fra værket ved Pasquill D, vindha-
 stighed 8 m/s og ingen regn.

I tabel 5.1. er vist maksimalværdier i afstanden 5 km fra værket, altså den afstand hvori der for denne vejr-situation er fundet de største dosisværdier. Der er vist dosiskomponenternes fordeling på de forskellige organer, og der er i sidste kolonne vist tærskelværdierne for akutte virkninger, der er nærmere beskrevet i kapitel 3.

Som det ses på fig. 5.2. kommer knoglemarvsdoserne højst op på 0,05 Sv ved værkets hegn. Der vil derfor ikke være risiko for tidlige dødsfald eller akutte sygdomstilfælde.

Af tabel 5.1. ses, at skjoldbruskkirteldosis i afstanden 5 km bliver godt 0,3 Sv, hvilket ikke vil medføre akutte skader.

Det ses yderligere, at lungedosis højst bliver 0,19 Sv, hvilket ikke giver risiko for lungesygdomme endsige tidlige dødsfald.

En mere detaljeret analyse med bl.a. dosisfordeling på isotop-grupper findes i bilag C.

5.1.2. Pasquill D. 8 m/s, 0,5 mm regn/time

På fig. 5.3 er vist den totale helkropsdosis ved 0,5 mm regn i timen og til sammenligning kurve 4 fra fig. 5.1 og 5.2. Kurven er beregnet med en våddeponeringsparameter på $3 \cdot 10^{-5}/s$. Der er i beregningen taget hensyn til udvaskningen af den radioaktive sky, og der regnes med, at 20% af det udvaskede materiale vil løbe bort med regnvandet. Det ses, at dosis ved værkets hegn er fordoblet; men fra 5 km er de 2 kurver næsten sammenfaldende.

På fig. 5.4 er vist koncentrationen af deponeret aktivitet ved 0,5 mm regn i timen sammenlignet med den tilsvarende kurve uden regn. Det ses, at den beskedne regnintensitet medfører en stærkt forøget koncentration især på kort afstand fra værket.

Inhalationsdosis har maksimum 5 km fra værket. I dette punkt er helkropsdosis opdelt i dosiskomponenter i tabel 5.2.

Doser i Sv	Gammadosis fra		Inhalation	Total dosis i maksimal- punktet
	skypassage	deponeret aktivitet		
Helkrop	0,017	0,011	0,053	0,081

Tabel 5.2. Doser 5 km fra værket ved Pasquill D, vindhastighed 8 m/s og 0,5 mm regn i timen.

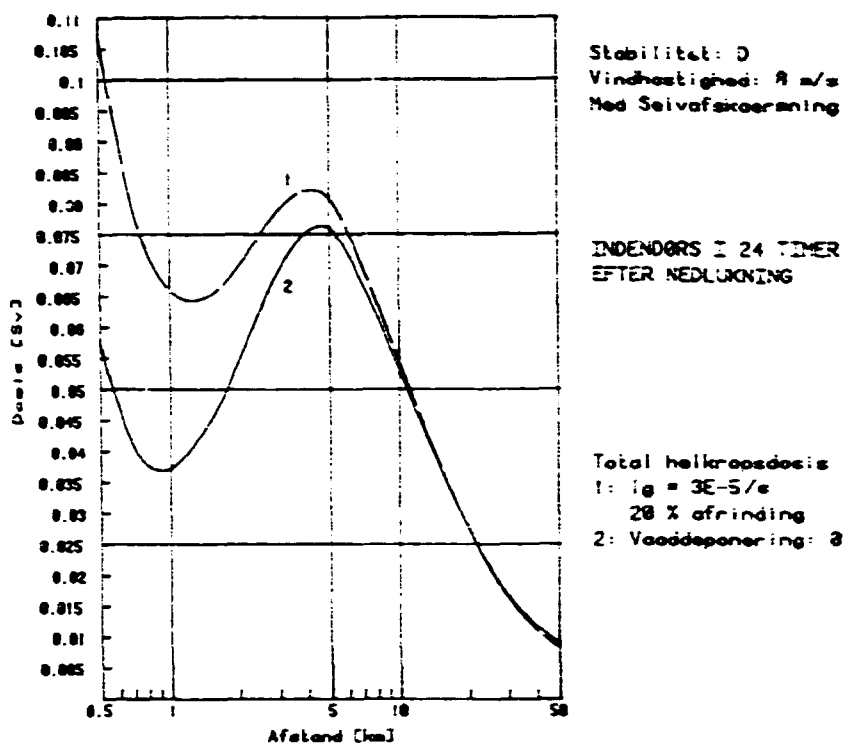


Fig. 5.3. Total helkropsdosis ved 0,5 mm regn i timen, sammenlignet med kurven uden regn.

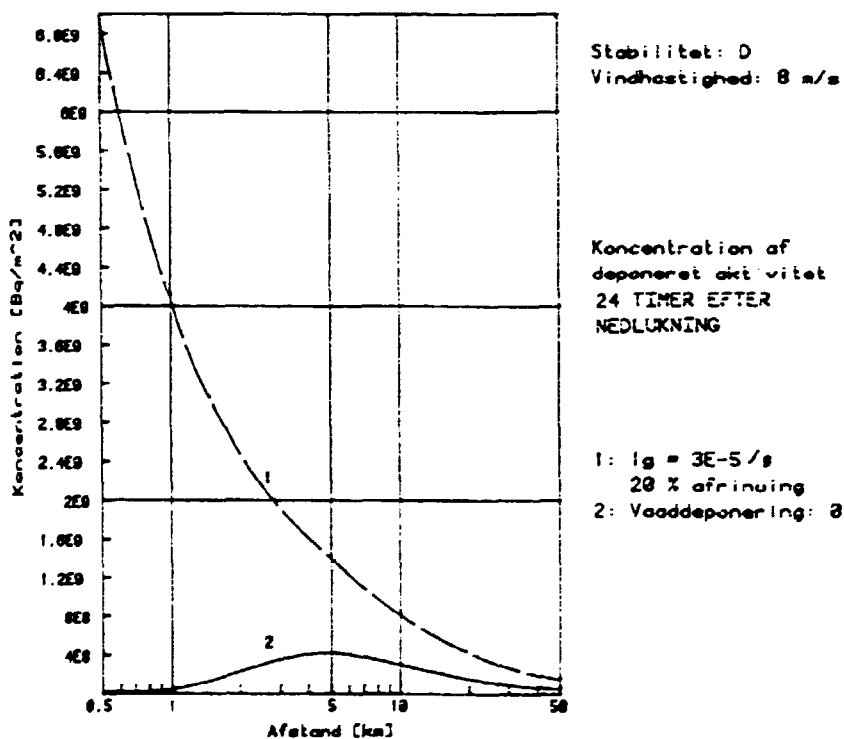


Fig. 5.4. Koncentration af deponeret aktivitet ved 0,5 mm regn i timen, sammenlignet med kurven uden regn.

På fig. 5.5. er den totale helkropps-dosis ved en regnintensitet på 0,5 mm i timen opdelt i dosiskomponenter. Ved sammenligning med fig. 5.1. ses, at gammadosis fra skypassage og inhalations-dosis er omtrent uforandret fra situationen uden regn. Gamma-dosis fra deponeret aktivitet er derimod steget voldsomt, og det medfører, at den totale dosis fordobles umiddelbart udenfor værket.

5.1.3. Pasquill F, 4,8 m/s, med og uden meandering

På fig. 5.6. er vist total helkropps-dosis ved stabilitet F med en vindhastighed på 4,8 m/s. Der er ikke beregnet meander faktorer på grundlag af vejrstatistikken, men som et regneeksempel er valgt en meanderfaktor på 4. Endelig er til sammenligning vist den totale helkropps-dosis ved stabilitet D, som går igen fra de foregående figurer.

Da stabilitet F har mindre horisontal spredning end stabilitet D, bliver skyen mere koncentreret, og det medfører, at gammadosis fra skypassage vokser. Da denne dosiskomponent er dominerende i starten, giver de to stabilitet F situationer større doser end stabilitet D de første 2 km fra værket.

Den vertikale spredning er også mindre ved stabilitet F end ved stabilitet D, dette medfører, at skyen når jordoverfladen i større afstand fra værket. Det dosisminimum, der ved stabilitet D er i en afstand på 700 m fra værket, rykker således ud til en afstand på 7 km fra værket.

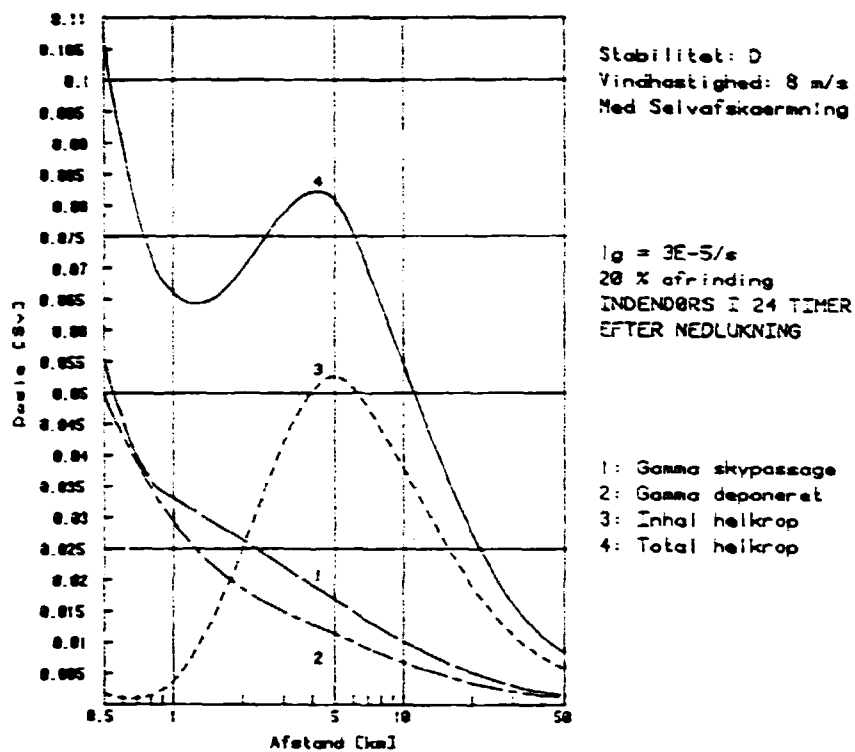


Fig. 5.5. Total helkropsdosis opdelt i dosiskomponenter ved 0,5 mm regn i timen.

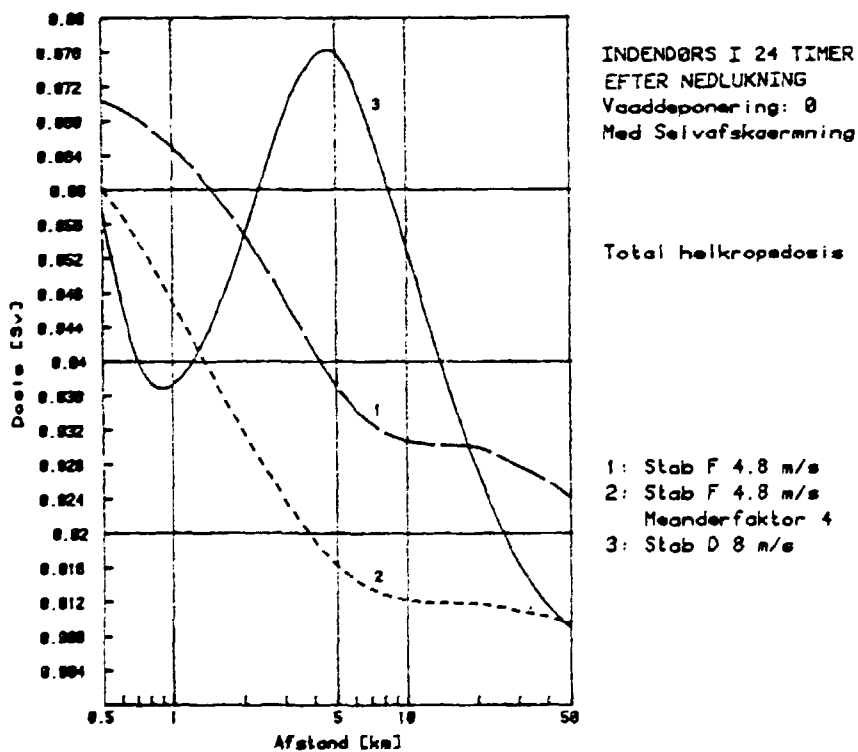


Fig. 5.6. Total helkropsdosis ved stabilitet F og D.

Inhalationsdosis har maksimum 40 km fra værket. I denne afstand er skjoldbruskkirtel- og helkropsdosis opdelt i dosis-komponenter for de to stabilitet F situationer i tabel 5.3.

Doser i SV	Gammadosis fra		Inhalation	Total dosis i maksimal- punktet
	skypassage	deponeret aktivitet		
Skjoldbruskk. ingen meander	0,007	0,001	0,097	0,105
meander faktor 4	0,0027	0,0004	0,0394	0,0425
Helkrop ingen meander	0,006	0,001	0,019	0,026
meander faktor 4	0,0025	0,0003	0,0075	0,0103

Tabel 5.3. Doser 40 km fra værket ved Pasgill F, vindhastighed 4,8 m/s.

5.1.4. Normal færden i 1 år

Den totale helkropsdosis stiger som funktion af tiden det første år efter uheldet. Stigningen skyldes udelukkende gammadosis fra deponeret aktivitet, idet inhalationsdosis og gammadosis fra skypassage ikke vokser, når skypassagen er forbi.

Afstand	2 km	5 km	10 km	50 km
Efter 24 timer	5,2%	7,1%	7,2%	6,6%
Efter 365 døgn	45,3%	54,5%	55,1%	55,0%

Tabel 5.4. Gammadosis fra deponeret aktivitets andel af den totale helkropsdosis efter 24 timers indendørs ophold og efter yderligere 1 års normal færden.

I tabel 5.4. er vist andelen af dosis fra deponeret aktivitet efter hhv. 24 timer og et års normal færden på centerlinien i fire forskellige afstande fra uheldsstedet.

5.2. Kollektivdoser

På tabel 5.5 er vist befolkningsfordelingen omkring Ringhals ud til 94 km fra værket opdelt i 12 sektorer på hver 30° og 27 afstandsintervaller. 60% af befolkningen ud til 94 km bor i sektor 360° (mod nord), medens de øvrige 11 sektorer tilsammen kun indeholder 40% af befolkningen. 76% af befolkningen i sektor 360° bor i afstandsintervallet 42-58 km fra værket. Den således fundne største befolkningskoncentration er Göteborg.

For at finde de maksimale konsekvenser, er kollektivdoserne for 12 forskellige retninger (30°, 60° ...) beregnet. Der tages hensyn til et område på ± 20° omkring de valgte udslipsregninger.

En sådan beregning viser, at ud til en afstand af 2 km er det udslipsretningen 90 grader, der dominerer med 82 indbyggere. Ud til 8 km fra værket er det udslipsretningen 60 grader. Ud til 24 km er det retningen 150 grader med Varberg, og endelig kommer Göteborg med retninge 360 grader, når der regnes ud til 62 km.

Den maksimale dosis, der findes i retning 355 grader, bliver på 2900 manSievevert. Regner man konservativt med 100 dødsfald pr. 10 000 mandSv, betyder dette 29 ekstra dødsfald af cancer i løbet af de næste 30 år. I en sådan befolkning på ca. 600 000 vil der i løbet af 30 år være ca. 65 000 cancerdødsfald, idet ca. 1/4 dør af cancer, og der regnes med en gennemsnitslevialder på 70 år. Et TC-SV uheld med udslip i denne retning med den største befolkningskoncentration vil altså således forøge den naturlige cancerhyppighed med mindre end 1/2 promille.

Retning Afstand [km]	30°	60°	90°	120°	150°	180°	210°	240°	270°	300°	330°	360°
	0-2	0	6	82	44	0	0	0	0	0	0	0
2-4	0	445	365	169	599	0	0	0	0	0	0	0
4-6	5	297	247	300	199	0	0	0	0	0	0	0
6-8	270	503	306	380	40	0	0	0	0	0	0	0
8-10	1085	156	171	387	480	0	0	0	0	0	0	92
10-12	765	57	79	202	340	0	0	0	0	0	0	700
12-14	175	130	180	175	455	0	0	0	0	0	180	285
14-16	150	140	2025	625	720	0	0	0	0	0	450	425
16-18	165	121	388	410	825	0	0	0	0	0	550	1295
18-20	505	215	162	525	3574	0	0	0	0	0	245	1820
20-22	347	130	198	311	4840	0	0	0	0	0	950	2327
22-24	1260	180	205	466	1470	0	0	0	0	0	375	1020
24-26	255	805	110	1320	1807	0	0	0	0	0	900	7148
26-28	325	895	265	525	946	0	0	0	0	0	15	7497
28-30	501	425	693	155	745	0	0	0	0	0	50	1415
30-34	765	1320	420	265	2325	0	0	0	0	0	25	4325
34-38	864	924	575	475	1345	0	0	0	0	0	0	11810
38-42	2146	3260	725	1570	1997	0	0	0	0	0	620	14820
42-46	2000	8951	485	900	5882	0	0	0	0	0	1400	83685
46-50	1946	5862	1365	1095	13380	0	0	0	0	0	1300	121425
50-54	2617	1815	915	510	2320	0	0	0	0	0	1368	164724
54-58	4585	2265	775	770	1350	0	0	0	0	0	14450	94476
59-62	3000	2905	675	855	1470	0	0	0	700	0	1092	25050
62-70	10108	4515	1945	2821	3902	0	0	0	1250	0	700	32067
70-78	3610	78155	5795	6010	10141	0	0	0	750	0	1285	13798
78-86	23410	15035	10205	1654	49212	0	0	0	0	0	3257	5209
86-94	2540	3100	9994	2092	3566	0	0	0	0	11	3041	16063
0-94	63339	132612	39350	25011	113930	0	0	0	2700	11	32253	611476

Tabel 5.5. Befolkningsfordelingen omkring Ringhals opdelt i 12 sektorer på hver 30° og 27 afstandsinterval-
ler ifølge Bergqvist, 1980.

6. REFERENCER

- ALDRICH, D.C., m.fl., 1978, "Public protection strategies for potential nuclear reactor accidents: Sheltering concepts with existing public and private structures", SAND 77-1725.
- BERGOVIST, G. och FINCK, R., 1980, "Befolkningens geografiska fördelning kring svenska kärnkraftverk", FOA rapport C 40122-A3.
- CEDERVALL, B., 1985, "Dosomvandlingsfaktorer för beräkning av omgivningskonsekvenser vid missöde eller haveri vid kärnkraftverk", Vattenfall KS-60/84, Rev. 1.
- ENGELMANN, R.J., 1968, "The calculation of precipitation Scavenging. In Meteorology and Atomic Energy", edited by D.H. Slade, USAEC Technical Information Center, Oak Ridge, Tennessee, 208-221.
- FOSTER, P.M. and ROBINS, A.G., 1984, "The effects of buildings on low-level atmospheric discharges", FINAL REPORT: CEC Indirect Action Programme on the Safety of Thermal Water Reactors. Area C: Atmospheric Dispersion of Fission Products Following a Reactor Accident, Project 2C: Contract SR-012-UK, CEGB.
- GALE, H.J., m.fl., 1963, "The weathering of caesium 137 in soil", AERE-R-4241.
- HEDEMANN JENSEN, P., 1980, "Inhalationsdosisfaktorer til beregning af committed effektivt dosis ækvivalent fra indåndet aktivitet".
- HEDEMANN JENSEN, P., 1984, "Calculated Shielding Factors for Selected European Houses", Risø-M-2474.
- HEINEMANN, K. and VOGT, K.J., 1980, "Measurements of the Deposition of Iodine onto vegetation and of the biological half-life of iodine on vegetation", Health Physics 39, 463-502.

- HÄGGBLOM, H., 1985, "Transport of fission products for the hypothetical accident sequence TC-SV at the Ringhals 1 reactor". Studsvik NR-85/1.
- ICRP 79. "Limits for the Intake of Radionuclides by Workers". ICRP publication 30, part 1, 1979.
- JONES, J.A. and CHARLES, D., 1982, "AD-MARC: The atmospheric dispersion module in the methodology for assessing the radiological consequences of accidental releases", NRPB-M72.
- LAURIDSEN, B. and HEDEMANN JENSEN, P., 1981, "Shielding Factors for Vehicles to Gamma Radiation from Activity Deposited on Ground Surfaces", Risø-M-2339.
- MILJØSTYRELSEN, 1984, "Rapport om nedsættelsesfaktorer fra doser ved ophold inden døre".
- NRC, 1975, "Reactor Safety Study. An assessment of accident risks in U.S. commercial nuclear power plants", WASH-1400 (NUREG 75/014).
- NRPB, 1978, "Annual Limits of Intake of Radionuclides for Workers", NRPB-R82.
- O'BRIEN, K. and SANNA, R., 1976, "The distribution of absorbed dose-rates in humans from exposure to environmental gamma rays". Health Physics 30, 71-78.
- RITCHIE, L.T. et al., 1984, "CRAC2 Model Description". NUREG-CR-2552/SANDB2-0342.
- ROED, J., 1981, "Undersøgelse af overfladedeposering med henblik på beregning af deponeringen af luftbåret materiale frigjort ved kernenedsmeltning i kraftreaktorer", Risø-M-2274.

SEHMEL, G.A., 1980, "Model predictions and a summary of dry deposition velocity data", accepteret til Atmospheric environment i 1981.

STATENS STRÅLSKYDDSINSTITUT, 1979, "Effektivare Beredskap. Konsekvensbeskrivninger". Vol. 5.

THYKIER-NIELSEN, S., 1980, "The Risø model for calculating the consequences of the release of radioactive material to the atmosphere", Risø-M-2214.

THYKIER-NIELSEN, S. and LARSEN, S., 1982, "The Importance of Deposition for Individual and Collective Doses in Connection with Routine Releases from Nuclear Power Plants", Risø-M-2205.

THYKIER-NIELSEN, S., 1986, "Fraktilberegninger med CRAC2", (rapporten findes i 2 kopier: 1 hos Vattenfall og 1 på Risø).

USAEC, (U.S. Atomic Energy Commission), 1972, "Onsite meteorological Programs". Safety Guide 23, office of Standards Development (NRC Regulatory Guide 1.23).

WARMING, L., 1981, "Weathering and decontamination of radioactivity deposited on asphalt surfaces", Risø-M-2273.

Bilag A: Meteorologistatistik

Udslipsretning Grader	Stabilitet A		Stabilitet B		Stabilitet C		Stabilitet D		Stabilitet E		Stabilitet F	
	%	m/s	%	m/s	%	m/s	%	m/s	%	m/s	%	m/s
15-45	1,5	5,85	0,29	6,39	0,17	5,87	4,4	8,62	3,9	9,53	0,60	4,01
45-75	1,4	6,03	0,41	6,86	0,22	6,41	4,6	8,43	4,9	8,95	0,45	5,13
75-105	0,76	7,09	0,32	7,04	0,26	7,76	6,9	8,68	6,2	9,28	0,49	6,18
105-135	1,1	7,85	0,26	7,18	0,12	6,69	2,7	7,14	3,9	9,30	0,31	3,25
135-165	0,69	7,96	0,19	7,14	0,13	9,63	2,0	6,81	2,1	7,24	0,66	4,45
165-195	0,13	6,32	0,07	4,76	0,03	4,78	1,6	5,93	2,5	5,54	0,80	3,20
195-225	0,14	6,63	0,04	6,80	0,02	5,16	1,8	6,73	2,0	6,88	0,84	4,24
225-255	0,14	5,05	0,06	5,18	0,03	6,57	1,8	6,90	1,8	6,95	0,73	4,78
255-285	0,25	5,56	0,10	5,62	0,03	5,77	2,1	6,72	2,6	6,64	0,62	3,92
285-315	0,34	6,09	0,15	5,50	0,11	6,96	2,5	6,15	3,9	7,27	1,3	4,97
315-345	0,46	7,59	0,11	7,84	0,16	6,87	3,5	8,29	3,1	7,82	1,5	5,52
345-15	1,1	6,28	0,25	6,38	0,13	7,25	4,3	8,99	4,1	8,58	0,99	5,86

Tabel A1. Øverste tal angiver fordelingen af stabilitet i de enkelte udslipsretninger for Ringhals i % af perioden 1/7-1981 til 30/6-1983. Nederste tal angiver middelvindhastigheden for den pågældende kombination. Der benyttes vindretning for højden 96 m.

Udslipsretning Grader	Vindhastighed											
	under 1 m/s		1-3 m/s		3-6 m/s		6-10 m/s		over 10 m/s		TOTAL	
	%	m/s	%	m/s	%	m/s	%	m/s	%	m/s	%	m/s
15-45	0,06	0,65	0,87	2,01	2,80	4,36	3,3	7,70	3,7	13,1	10,8	8,21
45-75	0,06	0,69	0,93	2,01	2,9	4,37	4,1	7,96	4,0	12,6	11,9	8,15
75-105	0,07	0,69	1,0	1,97	2,9	4,3	5,2	7,81	5,7	13,0	14,9	8,71
105-135	0,14	0,66	0,89	1,98	2,2	4,30	2,2	7,58	2,9	13,5	8,3	8,10
135-165	0,05	0,70	0,64	2,00	1,8	4,38	2,0	7,61	1,2	12,5	5,8	6,90
165-195	0,79	0,52	0,56	2,00	1,7	4,34	1,5	7,60	0,57	11,8	5,1	5,30
195-225	0,06	0,66	0,46	1,82	1,7	4,60	2,1	7,43	0,56	12,0	4,9	6,35
225-255	0,07	0,63	0,51	2,03	1,4	4,40	2,0	7,65	0,59	11,6	4,5	6,45
255-285	0,06	0,76	0,45	1,87	2,0	4,39	2,6	7,55	0,53	11,8	5,7	6,30
285-315	0,05	0,72	0,68	2,04	2,7	4,47	4,0	7,67	0,86	11,3	8,3	6,50
315-345	0,06	0,64	0,59	1,81	2,1	4,43	4,1	7,84	2,0	12,3	8,8	7,59
345-15	0,07	0,74	0,66	2,21	2,6	4,38	3,9	7,69	3,6	12,7	10,9	8,14

Tabel A2. Øverste tal angiver fordelingen af vindhastigheder i de enkelte udslipsretninger for Ringhals i % af perioden 1/7-1981 til 30/6-1983. Nederste tal angiver middelvindhastigheden for den pågældende kombination. Der benyttes vindhastighed og retning for højden 96 m.

Vindhastighed	Stabilitet A		Stabilitet B		Stabilitet C		Stabilitet D		Stabilitet E		Stabilitet F	
	%	m/s	%	m/s	%	m/s	%	m/s	%	m/s	%	m/s
Under 1 m/s	0,01	0,75	0,01	0,50	0,01	0,50	0,45	0,63	0,67	0,56	0,39	0,62
1-3 m/s	0,32	2,16	0,18	2,31	0,11	2,14	3,0	1,98	2,8	1,96	1,9	1,98
3-6 m/s	3,2	4,40	0,91	4,49	0,44	4,39	8,8	4,39	9,4	4,42	4,1	4,28
6-10 m/s	3,3	7,45	0,91	7,59	0,57	7,58	14,6	7,75	15,3	7,81	2,5	7,26
over 10 m/s	1,1	11,9	0,34	12,3	0,27	12,2	11,4	12,5	12,7	13,1	0,36	12,4
Total	7,9	6,62	2,4	6,61	1,4	7,01	38,2	7,86	40,9	8,17	9,2	4,76

Tabel A3. Øverste tal angiver fordelingen af stabilitet i de enkelte vindhastighedsintervaller for Ringhals i % af perioden 1/7 1981 til 30/6 1983. Nederste tal angiver middelvindhastigheden for den pågældende kombination.

Bilag B: Dosisomregningsfaktorer

Isotop	Knoglemarv Sv/Bq	Lunger Sv/Bq	Skjoldbruskk. Sv/Bq	Helkrop Sv/Bq
Kr85m W	1,05E-13	5,68E-14	5,41E-14	0
Kr85 W	1,65E-13	4,86E-14	4,86E-14	0
Kr87 W	3,51E-13	2,59E-13	2,62E-13	0
Kr88 W	8,38E-13	5,41E-13	5,41E-13	0
Rb88 V	1,44E-12	1,03E-10	3,00E-12	2,20E-11
Rb89 V	3,10E-12	5,47E-11	3,62E-12	1,00E-11
Sr89 V	7,49E-10	1,76E-9	3,90E-10	1,00E-8
Sr90 V	1,79E-9	2,34E-9	5,20E-10	3,40E-7
Sr91 V	1,61E-10	1,09E-9	1,49E-10	4,00E-10
Y 90 W	1,38E-10	8,92E-9	4,59E-12	0
Y 91 W	6,22E-10	5,41E-8	6,76E-12	0
Tc99m W	2,97E-12	2,41E-11	1,24E-11	3,78E-12
Ru103 W	1,49E-10	1,46E-8	3,78E-11	8,11E-10
Ru105 W	6,49E-12	5,95E-10	4,05E-12	1,11E-10
Ru106 W	1,78E-10	6,76E-7	4,59E-11	1,51E-8
Rh105 W	6,22E-12	9,73E-10	2,59E-12	1,19E-10
Sb127 W	8,92E-11	6,76E-9	4,86E-11	7,30E-10
Sb129 W	1,24E-11	8,65E-10	1,00E-11	1,59E-10
Te127mW	7,30E-11	3,24E-8	1,70E-11	2,51E-9
Te127 W	1,05E-12	4,32E-10	8,11E-13	6,22E-11
Te129mW	1,43E-10	4,05E-8	3,78E-11	2,51E-9
Te129 W	2,97E-13	1,51E-10	2,19E-13	2,51E-11
Te131mW	8,38E-11	2,97E-9	9,19E-9	8,38E-10
Te131 W	0	0	0	1,00E-10
Te132 W	2,70E-10	8,11E-9	2,38E-8	2,51E-9
J131 V	7,77E-11	6,76E-10	1,49E-7	8,80E-9
J132 V	2,12E-11	2,86E-10	3,58E-9	9,10E-11
J133 V	3,75E-11	8,27E-10	9,70E-8	1,50E-9
J134 V	9,04E-12	1,54E-10	6,06E-10	3,00E-11
J135 V	4,91E-11	5,28E-10	1,88E-8	3,00E-10
Xe133 W	4,32E-13	1,11E-13	1,08E-13	0
Xe135 W	5,68E-13	2,54E-13	2,46E-13	0
Cs134 V	4,53E-9	1,81E-8	2,36E-9	1,30E-8
Cs136 V	3,00E-9	3,61E-9	2,34E-9	2,00E-9
Cs137 V	3,74E-9	1,48E-8	2,08E-9	8,70E-9
Cs138 V	8,08E-12	1,51E-10	1,22E-11	2,40E-11

Tabel B1. De i beregningerne brugte dosisomregningsfaktorer for inhalationsdosis. De benyttede integrationstider er for knoglemarv 30 dage, for lunger 1 år, for skjoldbruskkirtel 1 uge og for hele kroppen 50 år. For de med V mærkede isotoper er faktorerne opgivet af Vattenfall, medens der for de med W mærkede isotoper bruges faktorer fra WASH-1400, Appendix VI, Tabel D-2. De med W mærkede isotoper er under revision.

Energigruppe	Knoglemarv	Lunger	Skjoldbruskk.	Helkrop.
under 0,08 MeV	0,4700	0,4500	0,5300	0,4500
0,08 MeV - 0,15 MeV	0,5100	0,5400	0,5717	0,5400
0,15 MeV - 0,25 MeV	0,4500	0,4600	0,5756	0,4900
0,25 MeV - 0,51 MeV	0,4800	0,4900	0,5691	0,5200
0,51 MeV - 0,85 MeV	0,5000	0,5100	0,6400	0,5400
0,85 MeV - 1,33 MeV	0,5271	0,5311	0,7373	0,5644
1,33 MeV - 2,03 MeV	0,5600	0,6100	0,6400	0,6200
over 2,03 MeV	0,6000	0,6200	0,6900	0,6400

Tabel B2. Selvfaskærmningsfaktorer brugt ved beregning af gamma-doser fra skypassage og deponeret aktivitet til henholdsvis knoglemarv, lunger, skjoldbruskkirtel og helkrop. (Fra O'Brien, 1976).

Isotop	Dosisomregningsfaktorer (Sv/h)/(Bq/m ²)			
	Knoglemarv	Lunger	Skjoldbruskk.	Helkrop.
Rb88	1,55E-12	1,65E-12	1,88E-12	1,70E-12
Rb89	5,27E-12	5,38E-12	6,88E-12	5,65E-12
Sr89	0	0	0	0
Sr90	0	0	0	0
Sr91	2,82E-12	2,87E-12	3,73E-12	3,04E-12
Y 90	0	0	0	0
Y 91	0	0	0	0
Tc99m	4,87E-13	4,95E-13	5,47E-13	4,95E-13
Ru103	1,04E-12	1,06E-12	1,24E-12	1,13E-12
Ru105	2,01E-12	2,05E-12	2,54E-12	2,17E-12
Ru106	0	0	0	0
Rh105	2,50E-13	2,56E-13	2,97E-13	2,71E-13
Rh106	7,66E-12	7,89E-12	9,76E-12	9,29E-12
Sb127	1,73E-12	1,76E-12	2,17E-12	1,87E-12
Sb129	3,46E-12	3,54E-12	4,51E-12	3,74E-12
Tel27m	0	0	0	0
Tel27	0	0	0	0
Tel29m	6,98E-14	7,12E-14	8,92E-14	7,54E-14
Tel29	1,53E-13	1,54E-13	1,84E-13	1,62E-13
Tel31m	3,50E-12	3,57E-12	4,61E-12	3,78E-12
Tel31	1,01E-12	1,03E-12	1,27E-12	1,06E-12
Tel32	4,76E-13	4,85E-13	6,03E-13	5,14E-13
J131	1,07E-12	1,09E-12	1,28E-12	1,16E-12
J132	5,83E-12	5,98E-12	7,48E-12	6,31E-12
J133	1,91E-12	1,94E-12	2,47E-12	2,06E-12
J134	6,78E-12	6,94E-12	8,92E-12	7,32E-12
J135	3,85E-12	4,00E-12	4,92E-12	4,17E-12
Cs134	4,02E-12	4,11E-12	5,14E-12	4,34E-12
Cs136	5,33E-12	5,40E-12	7,08E-12	5,73E-12
Cs137	1,50E-12	1,53E-12	1,92E-12	1,62E-12
Cs138	6,51E-12	6,88E-12	7,76E-12	7,09E-12

Tabel B3. De i beregningerne brugte dosisomregningsfaktorer for deponeret aktivitet. For at beregne gammadosis fra deponeret aktivitet skal koncentrationen af deponeret aktivitet integreres over det betragtede tidsrum, ganges med ovenstående faktorer, med afskærmningsfaktorer for indendørs eller normalt ophold og med en faktor 0,7 for jordafskærmning (ruhed).

Bilag C: Beregningsresultater

På fig. C.1A og C.1B er vist helkropps-doser for 24 timers indendørs ophold opdelt på 4 isotopgrupper: Jod, ædelgas, cæsium og andre isotoper. På fig. C.1A er vist den absolutte fordeling, hvor sum-kurven er den samme som kurve 4 på fig. 5.1. og 5.2. på fig. C.1B er sumkurven sat til 100%, og den relative dosisfordeling af de 4 isotopgrupper er vist.

Da ædelgas næsten udelukkende giver doser fra skypassagen, falder dosisandelen fra ædelgas fra ca. 85% til ca. 15%, når skyen når jordoverfladen. Samtidig øges dosisandelen for de andre isotoper, idet det her primært er inhalation og gamma-dosis fra deponeret aktivitet, der har betydning.

På fig. C.2A og C.2B er vist koncentrationen af deponeret aktivitet opdelt i 3 isotopgrupper: Jod, cæsium og andre isotoper. Ædelgasserne bidrager ikke til koncentrationen af deponeret aktivitet. Cæsiumisotoperne bidrager ikke væsentligt til den deponerede aktivitet 24 timer efter nedlukning, men efterhånden som de mere kortlivede isotoper henfalder, vil cæsiums andel af koncentrationen stige. Dosisfordelingen er ca. 75% til jod og ca. 24% til andre isotoper. Kun 1/3 af jodkoncentrationen skyldes jodudslippet, 2/3 skyldes henfald af Tellur.

På fig. C.3. er vist den totale dosis til skjoldbruskkirtelen i de to stabilitet F situationer og i stabilitet D. Det ses, at stabilitet D giver de største doser indenfor de første 20 km, fordi stabilitet F situationerne først når deres maksimum omkring 40 km fra værket.

På fig. C.4 er vist koncentration af deponeret aktivitet ved stabilitet D og de to F stabiliteter. Her fremgår det meget tydeligt, at skyen først opnår maksimal koncentration ved jordoverfladen 40 km fra værket i de to F situationer, medens der ved stabilitet D er maksimum allerede efter 5 km.

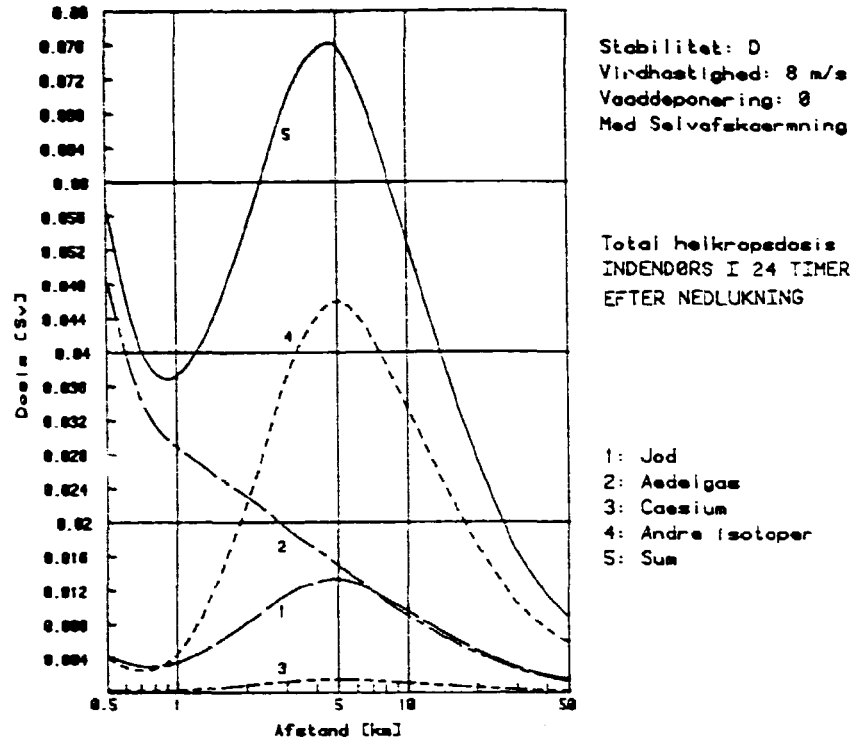


Fig. C.1A. Total helkroepsdosis opdelt i isotopgrupper.

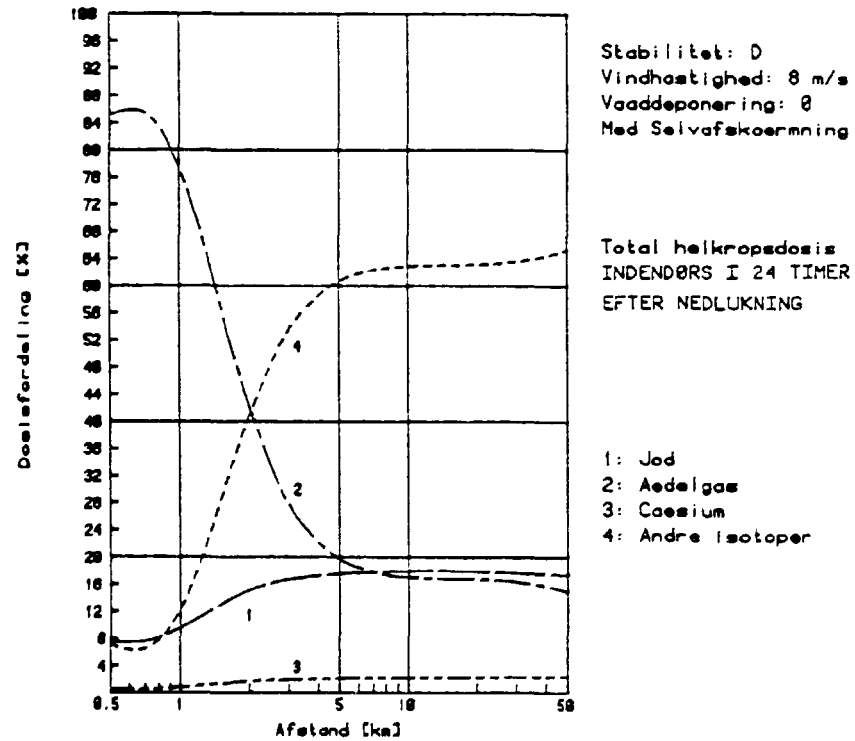


Fig. C.1B. Isotopgruppefordeling af total helkroepsdosis.

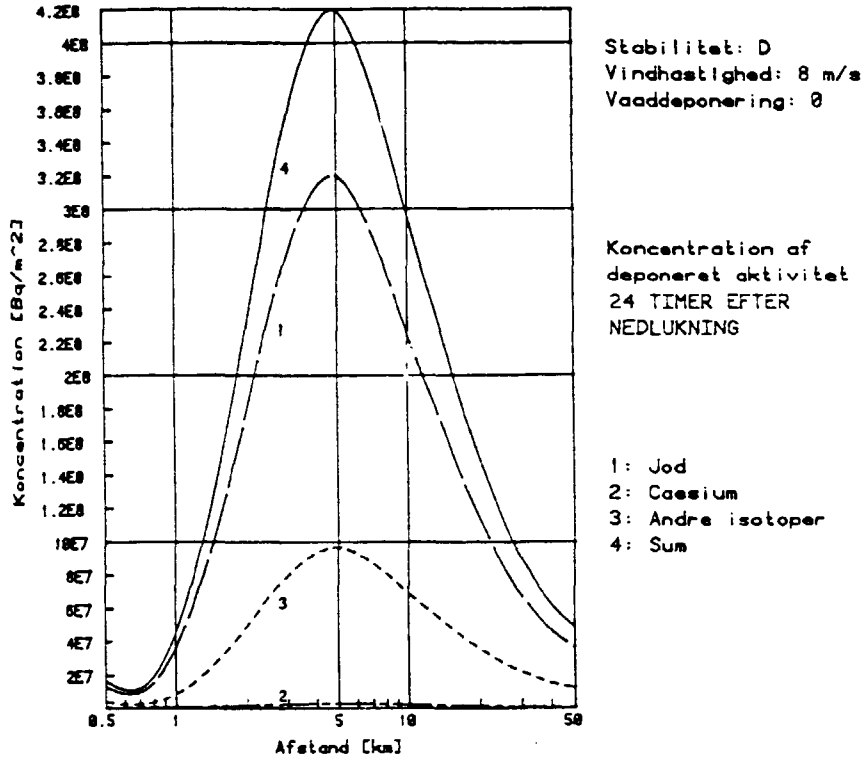


Fig. C.2A. Koncentration af deponeret aktivitet opdelt i isotopgrupper efter 24 timer.

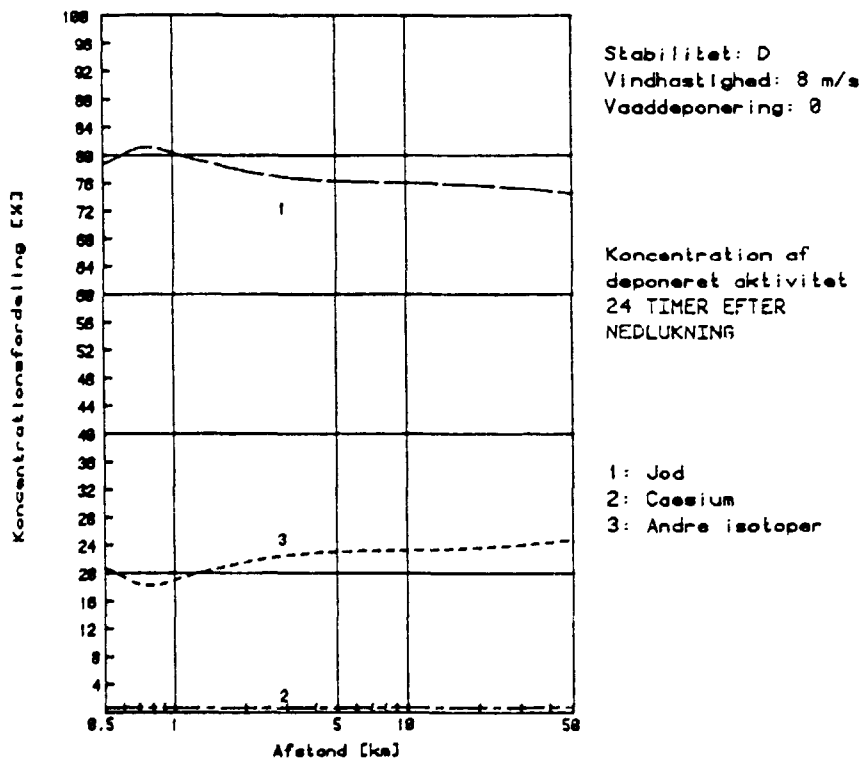


Fig. C.2B. Isotopgruppfordeling af koncentration af deponeret aktivitet efter 24 timer.

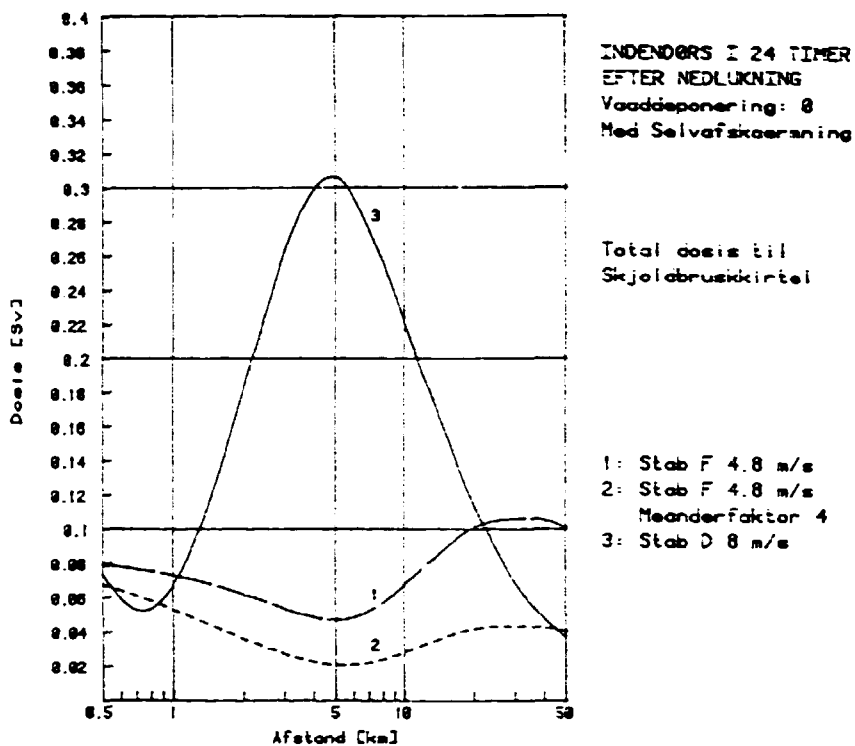


Fig. C.3. Total skjoldbruskkirteldosis ved stabilitet F og D.

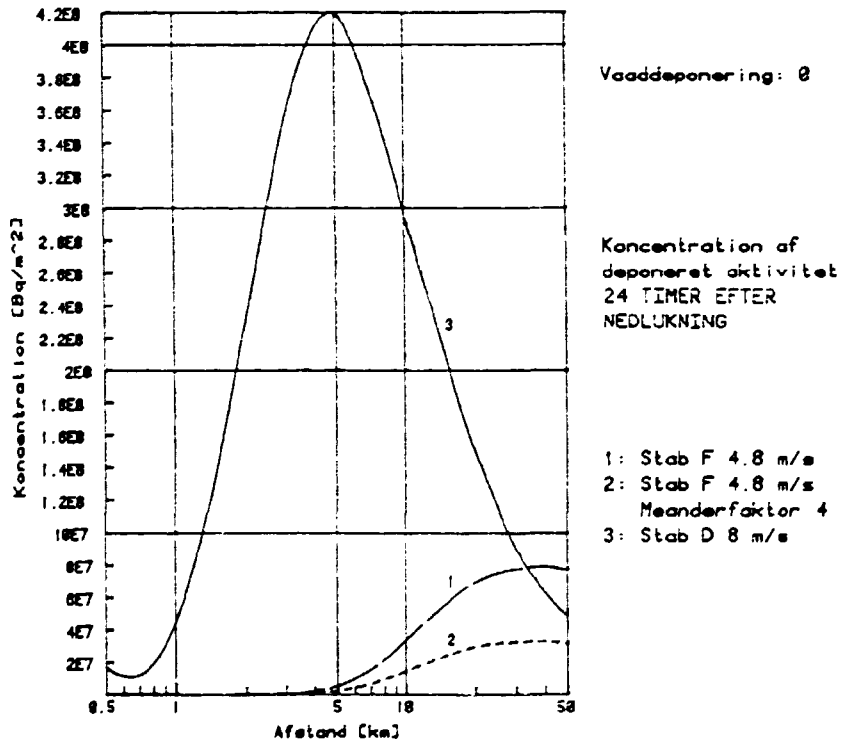


Fig. C.4. Koncentration af deponeret aktivitet ved stabilitet F og D.

På fig. C.5 - C.8 er vist isodosiskurver for henholdsvis gammadosis fra skypassage, gammadosis fra deponeret aktivitet, inhalationsdosisbidraget til helkropsdosis og den totale helkropsdosis. På grund af den relativt høje vindhastighed bliver isodosiskurverne relativt smalle og langstrakte. Det er valgt at præsentere isodosiskurverne på et kort med vindretning mod Varberg, der ligger mellem 18 og 22 km fra værket. Dimensionerne på isodosiskurverne fremgår af tabel C.1.

	Startafstand fra værket km	Slutafstand fra værket km	Maksimal bredde km	Areal km ²
Gammadosis fra skypassage				
over 0,003 Sv	0	30	3,0	68
over 0,005 Sv	0	20	2,0	31
over 0,01 Sv	0	10	0,94	7,8
Gammadosis fra deponeret aktivitet				
over 0,001 Sv	1,2	33	3,6	85
over 0,002 Sv	1,6	19	2,1	27
over 0,004 Sv	2,7	9,4	0,83	4,2
Inhalation helkrop				
over 0,01 Sv	1,3	36	3,7	96
over 0,02 Sv	1,8	20	2,2	30
over 0,04 Sv	2,8	9,6	0,84	4,3
Total helkrop				
over 0,015 Sv	0	32	3,4	79
over 0,025 Sv	0	21	2,3	35
over 0,035 Sv	0	15	1,6	17

Tabel C.1. Dimensioner på isodosiskurver ved Pasquill D, vindhastighed 8 m/s. Der regnes med 24 timers indendørs ophold efter nedlukning.

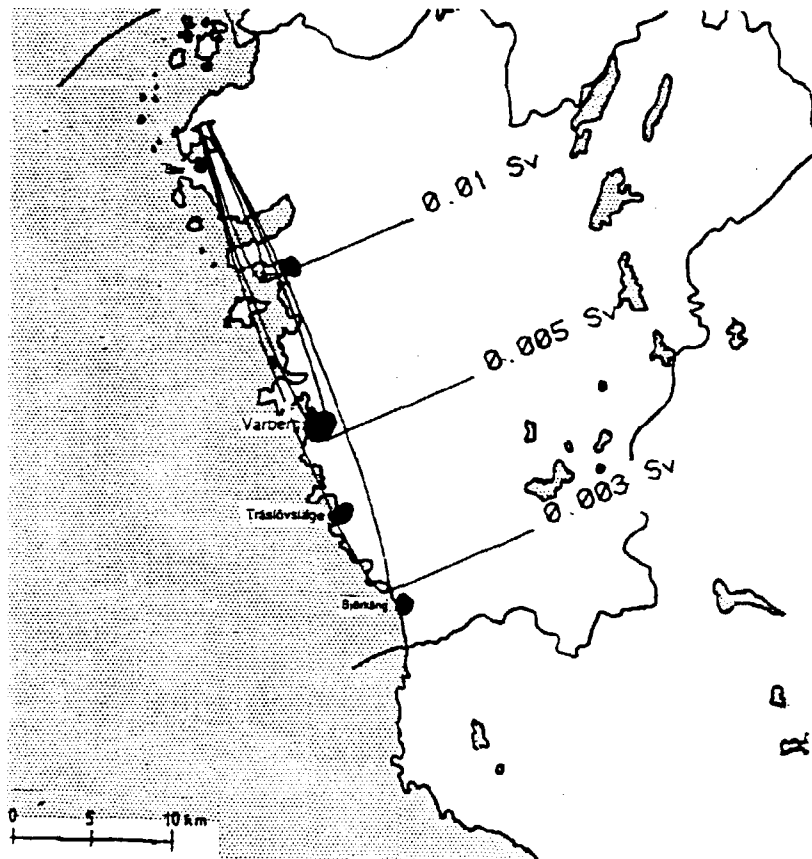


Fig. C.5. Gammadosis fra skypassage ved indendørs ophold.

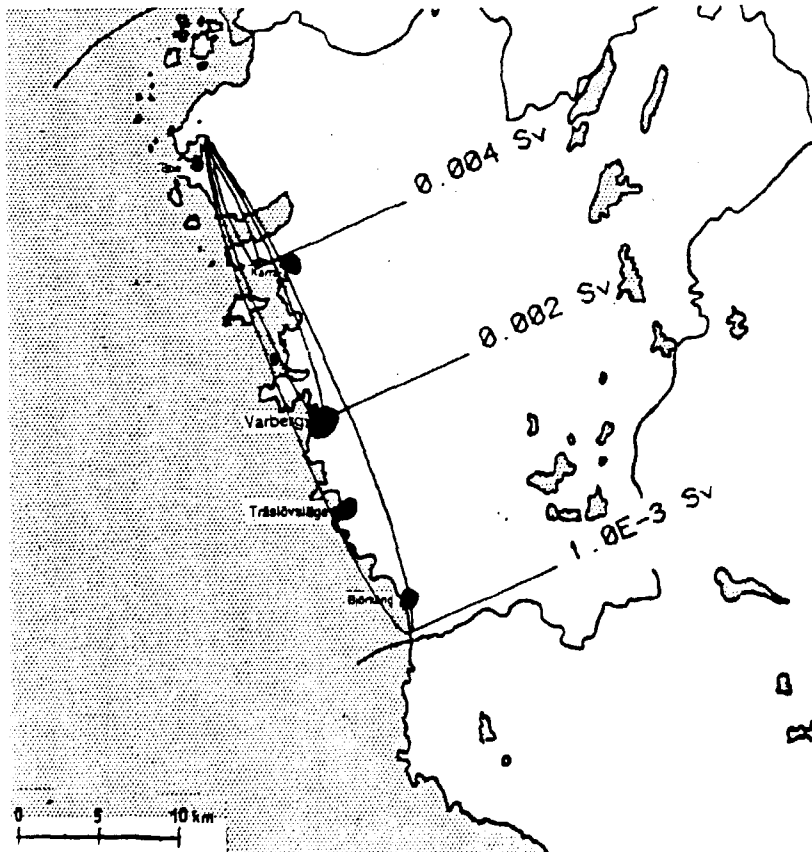


Fig. C.6. Gammadosis fra deponeret aktivitet ved 24 timers indendørs ophold.

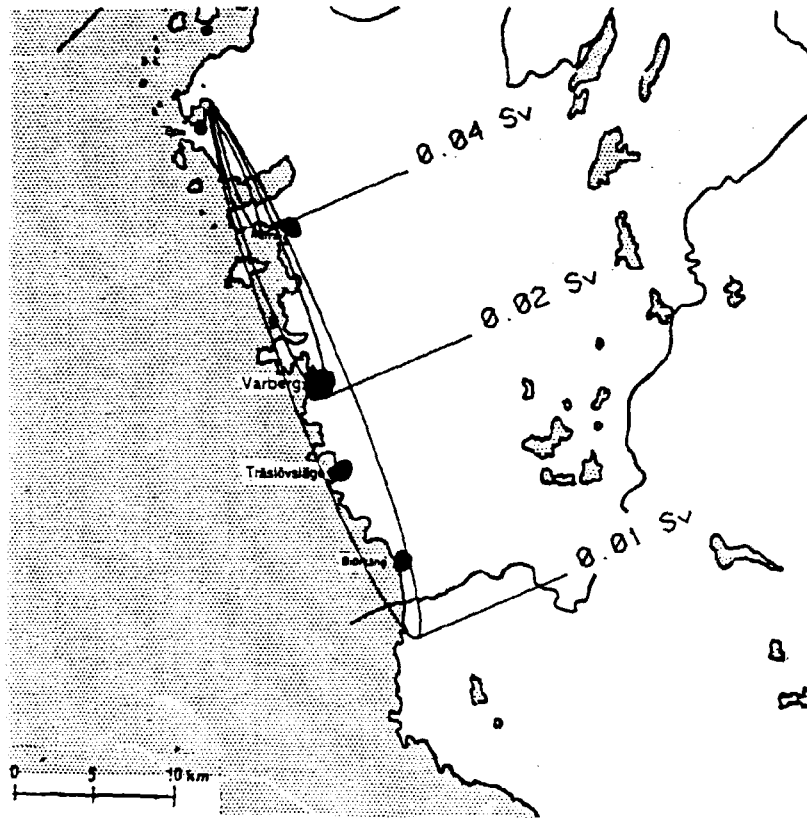


Fig. C.7. Inhalationsdosisbidrag till helkropps-dosis med integrationstid på 50 år.

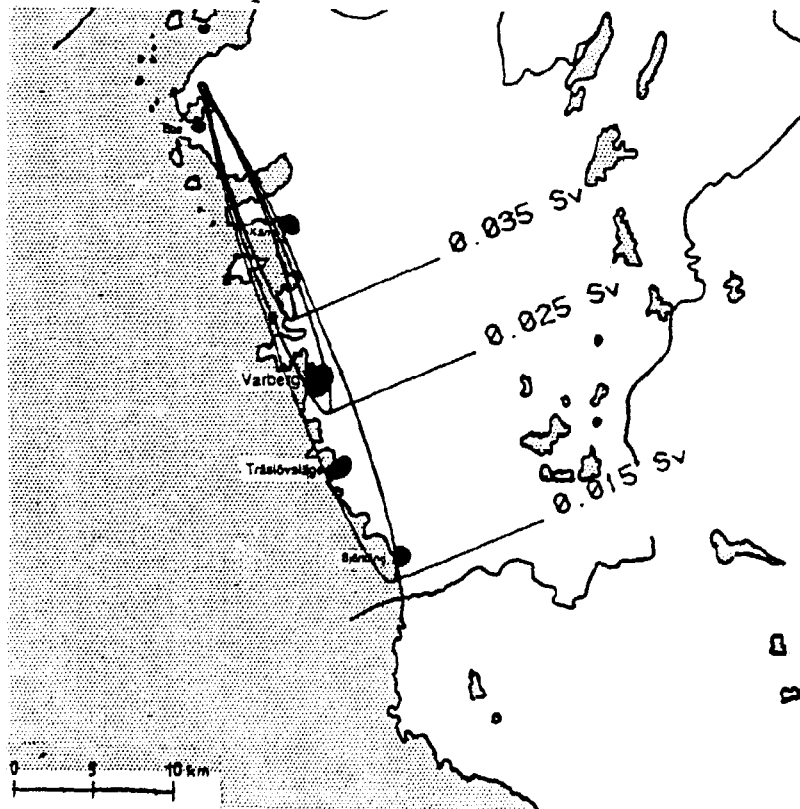


Fig. C.8. Total helkropps-dosis med integrationstid på 50 år.

På fig. C.9 er vist total helkropps-dosis, som funktion af tiden det første år efter uheldet. Der er regnet med indendørs ophold de første 24 timer og derefter normal færden.

På fig. C.10 er de konstante bidrag fra fig. C.9 fjernet, og kun væksten i gammadosis fra deponeret aktivitet er vist. Gammadosis fra deponeret aktivitet udgør en stadig stigende andel af den totale helkropps-dosis jo længere tid, der går efter uheldet.

På fig. C.11A er vist, hvordan koncentrationen af deponeret aktivitet falder som funktion af tiden. På fig. C.11B er koncentrationen af deponeret aktivitet 5 km fra værket opdelt i isotopgrupper. Det ses, at jod udgør ca. 75% af den deponerede aktivitet de første dage, herefter falder jodprocenten hurtigt, og der er næsten intet tilbage efter 60 dage. Dette forløb genfindes på fig. C.11A, idet koncentrationen har en halveringstid på ca. 5 dage de første 15 dage, herefter bliver de mere langlivede isotoper dominerende, og halveringstiden stiger langt over jods halveringstid på 8 dage.

På fig. C.12 er vist gammadosis fra deponeret aktivitet efter 1 år som funktion af afstanden fra værket. De 4 slutpunkter fra fig. C.10 kan genfindes på kurven. De på kurven viste doser gælder for centerlinien i vindretnigen. Doserne falder meget hurtigt med stigende afstand på tværs af centerlinien.

Til illustration af dette er på fig. C.13 vist isodosiskurver for 6 doser fra fig. C.12. Dimensionerne på isodosiskurverne fremgår af tabel C.2.

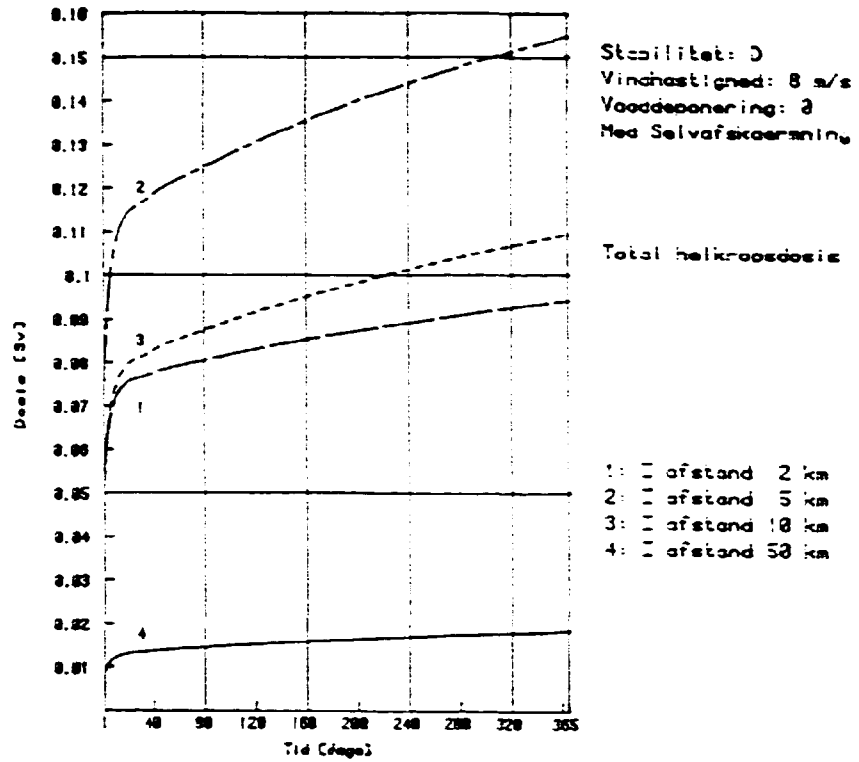


Fig. C.9. Total helkroppsdozis ved normal færden i 1 år og indendørs ophold det første døgn.

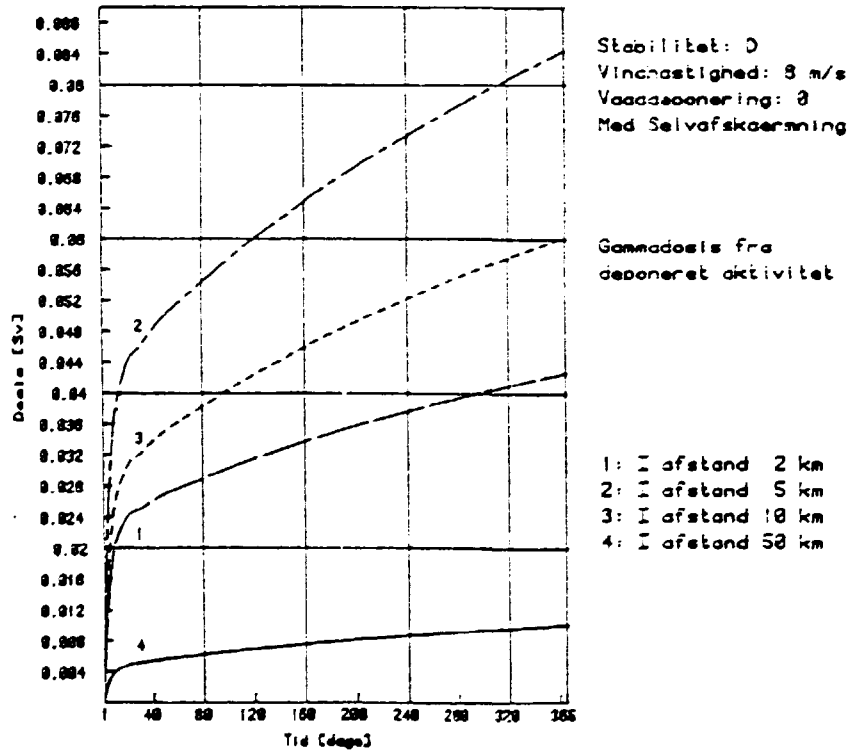


Fig. C.10. Gammadosis fra deponeret aktivitet i 4 afstande. Efter 24 timer indendørs regnes med normal færden.

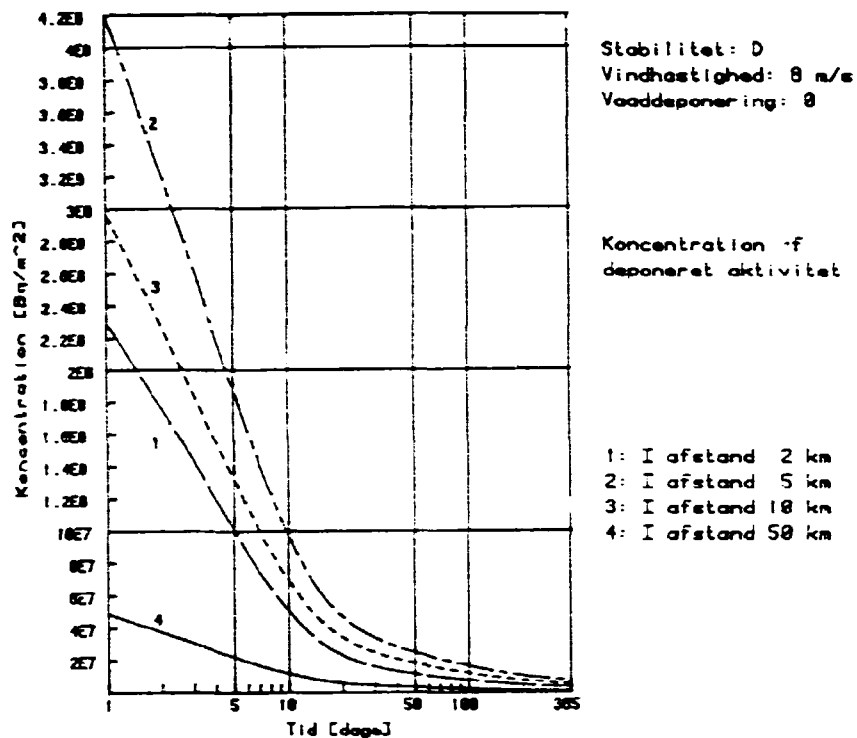


Fig. C.11A. Koncentration af deponeret aktivitet i 4 afstande ved stabilitet D.

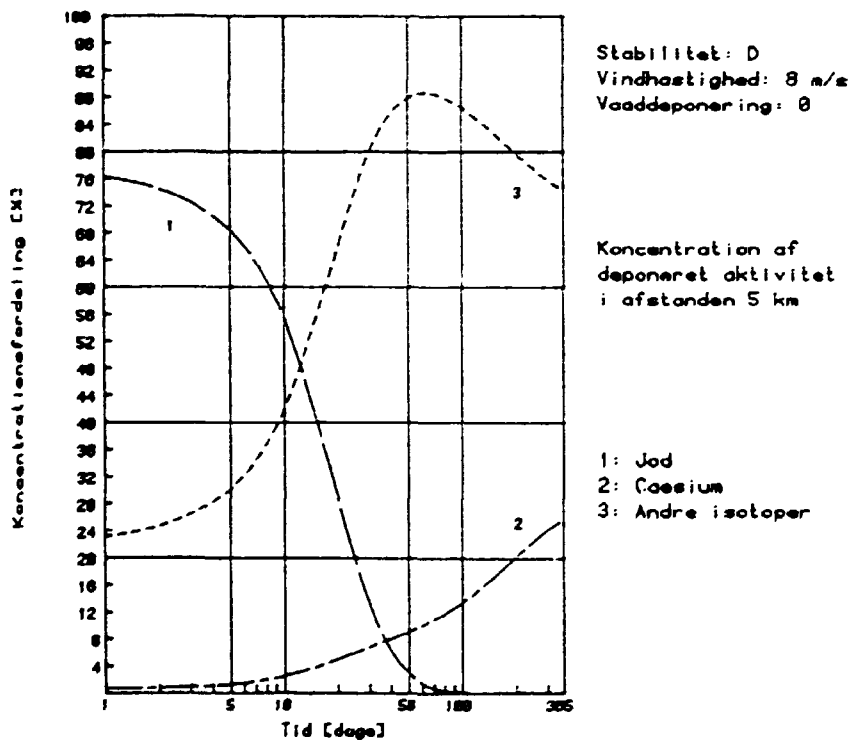


Fig. C.11B. Isotopgrupperfordeling af koncentration af deponeret aktivitet 5 km fra værket.

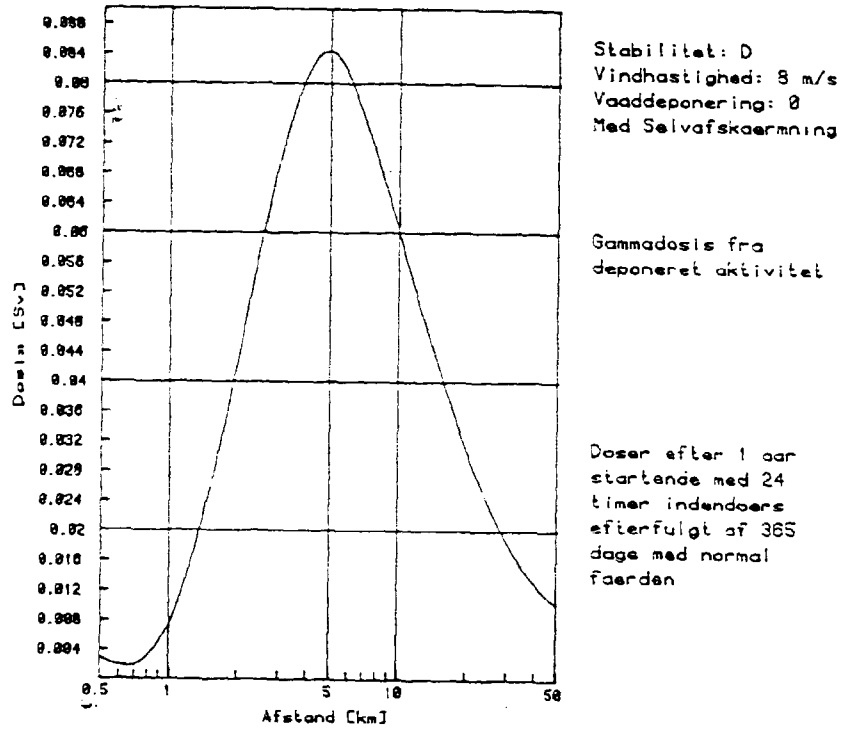


Fig. C.12. Gammadosis fra deponeret aktivitet efter 1 år. Efter 24 timer indendørs regnes med normal færden.

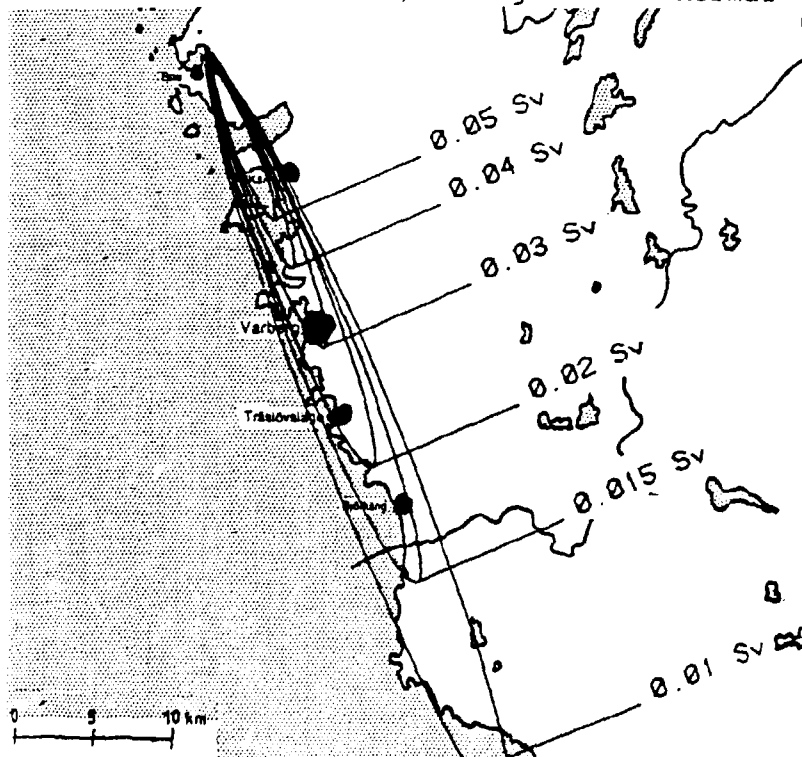


Fig. C.13. Gammadosis fra deponeret aktivitet efter 1 år. Efter det første døgn indendørs regnes med normal færden i 365 dage på det pågældende sted.

Gammadosis fra deponeret aktivitet	Start afstand fra værket km	Slutafstand fra værket km	Maksimal bredde km	Areal km ²
over 0,01 Sv	1,1	51	5,1	188
over 0,015 Sv	1,2	36	3,8	98
over 0,02 Sv	1,4	28	3,1	63
over 0,03 Sv	1,6	20	2,2	32
over 0,04 Sv	1,9	15	1,6	16
over 0,05 Sv	2,3	12	1,3	9,3

Tabel C.2. Dimensioner på isodosiskurver hidrørende fra deponeret aktivitet ved Pasquill D, vindhastighed 8 m/s. Der regnes med 24 timers indendørs ophold efterfulgt af 365 dages normal færden på det pågældende sted.

På fig. C.14 er vist kollektiv helkropps-dosis ved 24 timers indendørs ophold som funktion af retningen.

På fig. C.15 og fig. C.16 ses, at retning 360° giver størst doser, når der regnes ud til større afstande end 30 km. Retning 150° giver størst doser, når der regnes ud til mellem 16 og 30 km fra værket.

På fig. C.17 er vist en mere nøjagtig beregning af kollektivdosis i intervallet fra 330° til 30°.

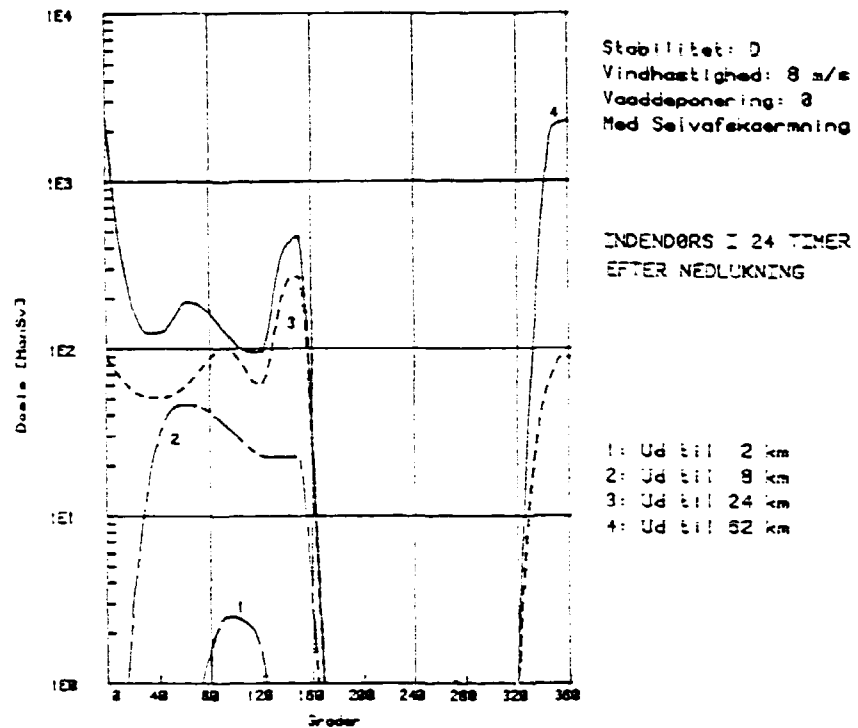


Fig. C.14. Kollektiv helkropsdosis som funktion af retningen i 4 afstande fra værket.

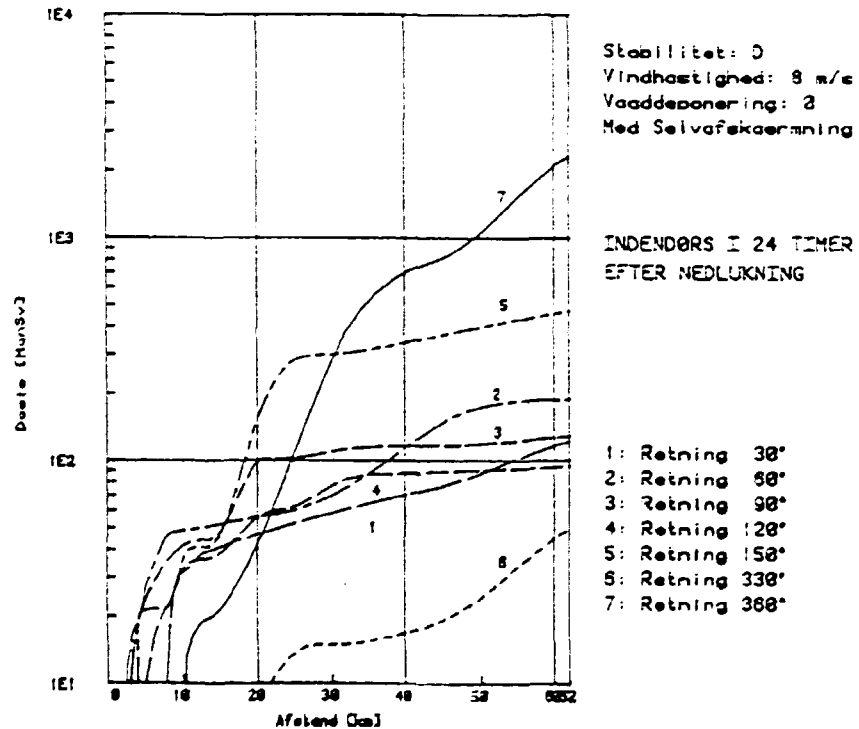


Fig. C.15. Kollektiv helkropsdosis som funktion af afstanden fra værket i de 7 udslipsretninger, hvor kollektivdosis overstiger 10 ManSv indenfor de første 24 km fra værket.

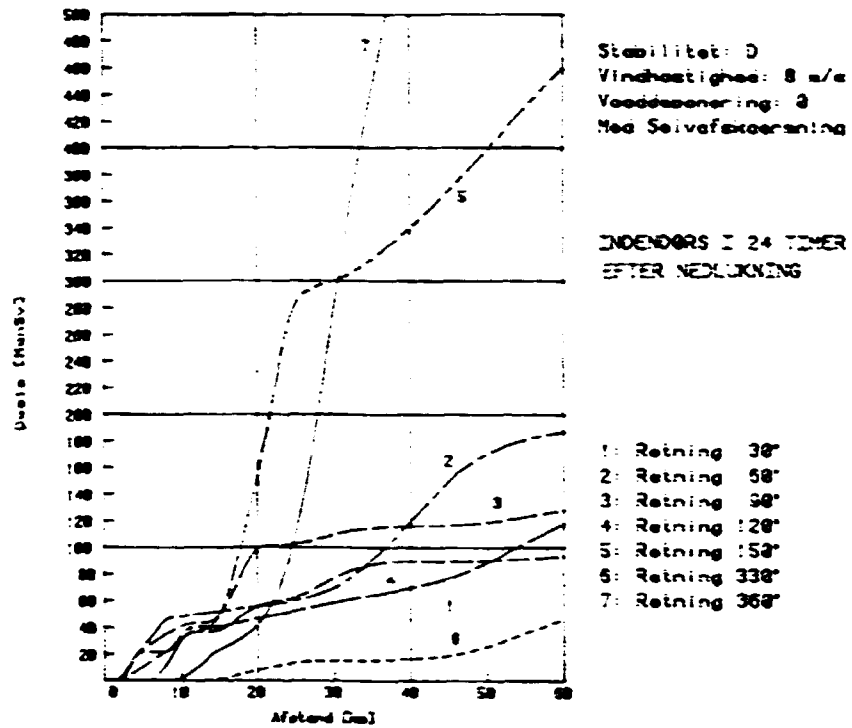


Fig. C.16. Kollektiv helkropsdosis som funktion af afstanden fra værket i de 7 udslipsretninger, hvor kollektivdosis overstiger 10 ManSv.

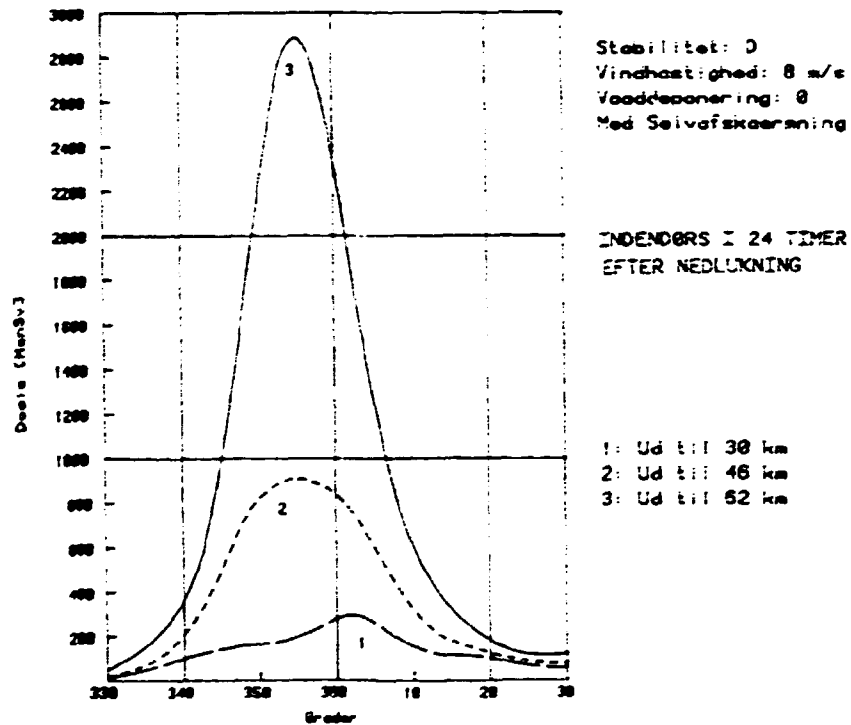


Fig. C.17. Kollektiv helkropsdosis som funktion af retningen i det 60° interval, hvor kollektivdosis overstiger 500 ManSv.

<p>Title and author(s)</p> <p>Method for Consequence Calculations for Severe Accidents. Transient Accident with safety valve at Ringhals 1. (in Danish)</p> <p>Flemming Nielsen, S. Thykier-Nielsen, and Ole Walmod-Larsen.</p>	<p>Date August 1986</p> <p>Department or group Health Physics</p> <p>Groups own registration number(s)</p> <p>Project/contract no. BIT-550540</p>
<p>Pages 63 Tables 21 Illustrations 30 References 26</p>	<p>ISBN 87-550-1253-1</p>
<p>Abstract (Max. 2000 char.)</p> <p>This report was commissioned by the Swedish State Power Board, who wanted a method for calculation of radiation doses in the surroundings of nuclear power plants caused by severe accidents. The PLUCON4 code were used for the calculations.</p> <p>A TC-SV-accident at Ringhals 1 were chosen as example. A transient without shutdown leads to core meltdown through the reactor vessel. The pressure peak at the moment of vessel failure opens a safety valve in the dry well.</p> <p>Meteorological data for two years from the Ringhals meteorological tower were analysed to find representative weather situations. As typical weather were chosen Pasquill D with wind speed 8 m/s, and as extreme weather were chosen Pasquill F with wind speed 4.8 m/s.</p>	
<p>Descriptors - INIS: CESIUM ISOTOPES; COMPUTER CALCULATIONS; DEPOSITION; FISSION PRODUCT RELEASE; GAMMA RADIATION; HUMAN POPULATIONS; INHALATION; IODINE ISOTOPES; MAN; MELTDOWN; METEOROLOGY; NUCLEAR POWER PLANTS; ORGANS; P CODES; RADIATION DOSES; RADIOACTIVE CLOUDS; RARE GASES; RINGHALS-1 REACTOR; WHOLE-BODY IRRADIATION</p> <p>Available on request from Rise Library, Rise National Laboratory, (Rise Bibliotek, Forsøgsanlæg Rise), P.O. Box 49, DK-4000 Roskilde, Denmark. Telephone (02) 37 12 12, ext. 2262. Telex: 43116, Telefax: (02) 36 06 09</p>	

REPRODUCTION BY
ANY MEANS IS PROHIBITED
WITHOUT THE WRITTEN PERMISSION OF
THE PUBLISHER

ISBN 07-658-1253-1
ISBN 0418-6435