

# Transport af Farligt Gods

**N.O. Jørgensen**

Institut for Planlægning (IFP)  
Danmarks Tekniske Universitet (DTU)  
Bygning 115, 2800 Lyngby  
Telefon 4525 1526, Fax 4593 6412, E-mail [noj@ivtb.dtu.dk](mailto:noj@ivtb.dtu.dk)

**Bo Grevy**

Banestyrelsen Rådgivning, Transportplanlægning  
Møntergade 5 4. Sal, 1116 Kbh. K  
Telefon 3376 5005 - 12134, Fax 3315 8270, E-mail [bg@rdg.bane.dk](mailto:bg@rdg.bane.dk)

## 1. Indledning

### 1.1 Baggrund

Projekt Farligt gods er finansieret af transportrådet. Projektets fase 1, som omhandlede en kortlægning af de transporterede mængder farligt gods i Danmark blev afrapporteret i 1994 [transportrådet (1994)]

### 1.2 Formål

Projektets fase 2, med deltagelse af COWI, LHB Consult, IFP/DTU og IK/DTU er under afslutning. Formålet med fase 2 er at belyse risiko og konsekvenser ved vej- og jernbanetransport af farligt gods. Til denne brug er der udviklet modeller for uheldsfrekvenser, udslipssandsynligheder og konsekvenser for mennesker og miljø. De enkelte modeller er implementeret i et geografisk informationssystem (GIS). I det følgende præsenteres delresultater fra det fælles projekt.

### 1.3 Afgrænsning

Projektet beskæftiger sig udelukkende med selve transporten af det farlige gods, hvilket betyder at omladninger af gods, samt rangering af jernbanevogne ikke indgår i modellerne. Ligeledes er stykgods udeladt af modellerne, således at det kun er transport af farligt gods i tankvogne, der er indarbejdet i modellerne.

## 2. Uheldsfrekvenser

### 2.1 Uheldsfrekvenser for vejtransport

Man har i mange år i Danmark benyttet en model for uheld på strækninger og i kryds [Hemdorff (1993)], hvor antallet af uheld er givet ved.

$$U_{\text{Strækning}} = L \cdot a \cdot N^P$$

$U_{\text{strækning}}$ : Antal uheld pr. år på strækning

L : Strækningens længde

N : Årsdøgntrafik

a og P : Regressionskonstanter for hver vejtype

og tilsvarende

$$U_{Kryds} = a \cdot N_{Prim}^{P1} \cdot N_{Sek}^{P2}$$

$U_{kryds}$  : Antal uheld pr. år i kryds

$N_{prim}$  : Den primære årsdøgntrafik

$N_{sek}$  : Den sekundære årsdøgntrafik i krydset

a, P1 og P2 : regressionskonstanter for hver vejtype.

Vejdirektoratet estimerer med jævne mellemrum disse regressionskonstanter. Sidst er det sket i 1996, baseret på uheld i perioden 1989-93 [Hemdorff (1996)].

Frekvensmodellen for vejtransport er en videreudbygning af denne model, idet det søges at finde antallet af involverede lastbiler i uheld, for derved at kunne udlede en uheldsfrekvens.

På baggrund af uheldsdata fra 1989-95 er der opstillet en uheldsmodel for lastbiler givet ved :

$$\text{Im } pLB = L \cdot a \cdot N^p \cdot (c \cdot N + d) \cdot (LB\%) \Rightarrow \text{Uheldsfrekvens} = \frac{L \cdot a \cdot b \cdot N^{p-1} \cdot (c \cdot N + d)}{3,65}$$

ImpLB : Implicerede lastbiler pr. år på strækning

L : Længden af strækningen

N : Årsdøgntrafik

LB% : Lastbilprocenten

a,b,c,d og p : regressionskonstanter for hver vejtype (a og p estimeret af vejdirektoratet [Hemdorff (1996)])

og tilsvarende for kryds :

$$\text{Im } pLB = a \cdot N_{Prim}^{P1} \cdot N_{Sek}^{P2} \cdot c \cdot b \cdot LB\% \Rightarrow \text{Uheldsfrekvens} = \frac{a \cdot b \cdot c \cdot N_{Prim}^{P1} \cdot N_{Sek}^{P2}}{3,65 \cdot (N_{Prim} \cdot N_{Sek})}$$

ImpLB : Implicerede lastbiler pr. år på strækning

$N_{prim}$  : Primære årsdøgntrafik

$N_{sek}$  : Sekundære årsdøgntrafik

LB% : Lastbilprocenten

a,b,c,p1 og p2 : regressionskonstanter for hver vejtype (a,p1 og p2 estimeret af vejdirektoratet [Hemdorff (1996)])

## 2.2 Uheldsfrekvenser for jernbanetransport

Følgende stammer fra et arbejdsnotat af Lars Henrik Brockhoff.

Uheldsfrekvenser for jernbanetransport er estimeret på baggrund af uheld sket i Danmark i perioden 1970 til 1995.

Der er i perioden registreret 147 uheld for hvilke der er tilstrækkelige oplysninger. Disse fordeler sig som følger :

- 100 afsporinger
- 47 kollisioner
  
- 118 uheld på bane med 2 (eller flere) spor
- 29 uheld på bane med 1 spor

- 127 uheld i stationsområder
- 20 uheld på strækninger mellem stationer

Oplysninger om trafikarbejdet på nettet er ikke umiddelbart tilgængelige, og er derfor baseret på gennemgang af køreplaner. Med en antagelse om 360 arbejdsdage på et år og anvendelse af informationer for køreplanstabellen kan det gennemsnitlige årlige trafikarbejde beregnes til 38,7 mio. togkm. Heraf udgør godstrafikken de 8 mio. togkm.

På denne baggrund fremkommer følgende uheldsfrekvenser:

		Afsporinger		Kollisioner		
		1 spor	2 spor	1 spor	2 spor	
Gods	Små st.	8,0	16	4,8	2,4	pr. 10 <sup>7</sup> togpassager
	Store st.	46	93	28	14	pr. 10 <sup>7</sup> togpassager
	Strækning	0,41	0,21	0,27	0,27	pr. 10 <sup>7</sup> togkm

### 3. Udslipssandsynligheder

Følgende stammer fra et arbejdsnotat af Lars Henrik Brockhoff.

Givet der er sket et uheld vil der være en given sandsynlighed for, at der slipper noget af godset ud af tanken. Sandsynligheden afhænger af en lang række parametre, hvoraf bl.a. kan nævnes

- Typen af uheld
- Den relative hastighed mellem 2 kolliderende parter
- kollisionspunktet
- Typen af tank der indeholder godset
- De fysisk-kemiske egenskaber ved det transporterede gods

#### 3.1 Vejtransport

Den betingede sandsynlighed for udslip givet et uheld er undersøgt. Til denne undersøgelse er indgået 17645 lastbiluheld i Danmark.

Analysen resulterede i følgende betingede sandsynligheder for udslip, givet et uheld :

	Betinget sandsynlighed		
	by-område	landevej	motorvej
Tyndvæggede tankbiler	0,05	0,07	0,09
Tykvægget tank, med væske under tryk	0,01	0,02	0,03

Fordelingen af udslipsmængder givet et uheld med udslip er med baggrund i [Brockhoff (1992)] og [Theseus (1995)] fundet til følgende.

Andel af tankens indhold der slipper ud	Betinget sandsynlighed
10%	0,6
50%	0,2
90%	0,2

### 3.2 Jernbanetransport

For jernbanetransport med farligt gods er der (heldigvis) et meget begrænset datamateriale vedr. udslips- sandsynligheder og fordelinger, hvorfor modellen får en meget begrænset detaljeringsgrad. Følgende konkluderes :

Betingede sandsynligheder for udslip, givet et uheld :

	Betinget sandsynlighed
Tyndvægget tank	0,01
Tykvægget tank	0,005

Fordelingen af udslipsmængder skønnes at være :

Andel af tankens indhold der slipper ud	Betinget sandsynlighed
50%	0,5
100%	0,5

## 4. Konsekvensmodeller

Der er udviklet konsekvensmodeller for såvel miljø som mennesker. Hovedidéen i konsekvensmodellerne er at udregne nogle konsekvenser og derpå udregne sandsynligheden for, at disse konsekvenser vil indtræde

Da miljømodellerne endnu ikke er fuldt implementeret i GIS-applikationen vil de ikke blive gennemgået nærmere her

Den humane konsekvensmodel er baseret på et "fatality indeks" koncept. Det består af 3 grundtanker :

- Antallet af omkomne kan udtrykkes som funktion af "farligheden" af det frigivne stof, den mængde der udslippes og befolkningstætheden i det område stoffet frigives til
- Koefficienterne skal i videst mulig omfang bestemmes på baggrund af empiriske data
- Resultaterne der opnås ved anvendelse af modellen er behæftet med en betydelig usikkerhed

Modellen er udviklet og anvendt i [Brockhoff (1992)]

## 4.1 Data

De data der ligger til grund for modellens koefficienter omfatter følgende [Brockhoff (1992)]:

	Antal uheld
Klor	93
Ammoniak	77
LPG	83
Benzin	64
Diesel	31

## 4.2 Modellen

Givet at der er mindst 1 død, kan det gennemsnitlige antal døde beskrives ved

$$N = \beta \cdot W^n$$

N : det gennemsnitlige antal døde

$\beta$  : koefficient der afhænger af den givne befolkningstæthed og typen af det udslupne gods

W : mængden af det udslupne gods i tons.

n : afhænger af typen af det udslupne gods

Sandsynligheden for, at der er mindst en død beskrives ved :

$$P(N \geq 1) = 0,44 + 0,22 \cdot \log_{10}(\beta \cdot 20^{n-1}) \quad \text{for} \quad 0,01 \leq \beta \cdot 20^{n-1} \leq 350$$

Følgende koefficienter er estimeret

	n	By-område		Semi-byområde		Landområde	
		P(N ≥ 1)	$\beta$	P(N ≥ 1)	$\beta$	P(N ≥ 1)	$\beta$
Klor	1	0,6	5,5	0,38	0,55	0,16	0,055
Ammoniak	1	0,46	1,2	0,24	0,12	0,012	0,012
LPG	½	0,23	9,8	0,18	3,1	0,13	1
Benzin	½	0,13	4,1	0,10	1,3	0,064	0,4
Diesel	½	0,035	4,1	0,026	1,3	0,017	0,4

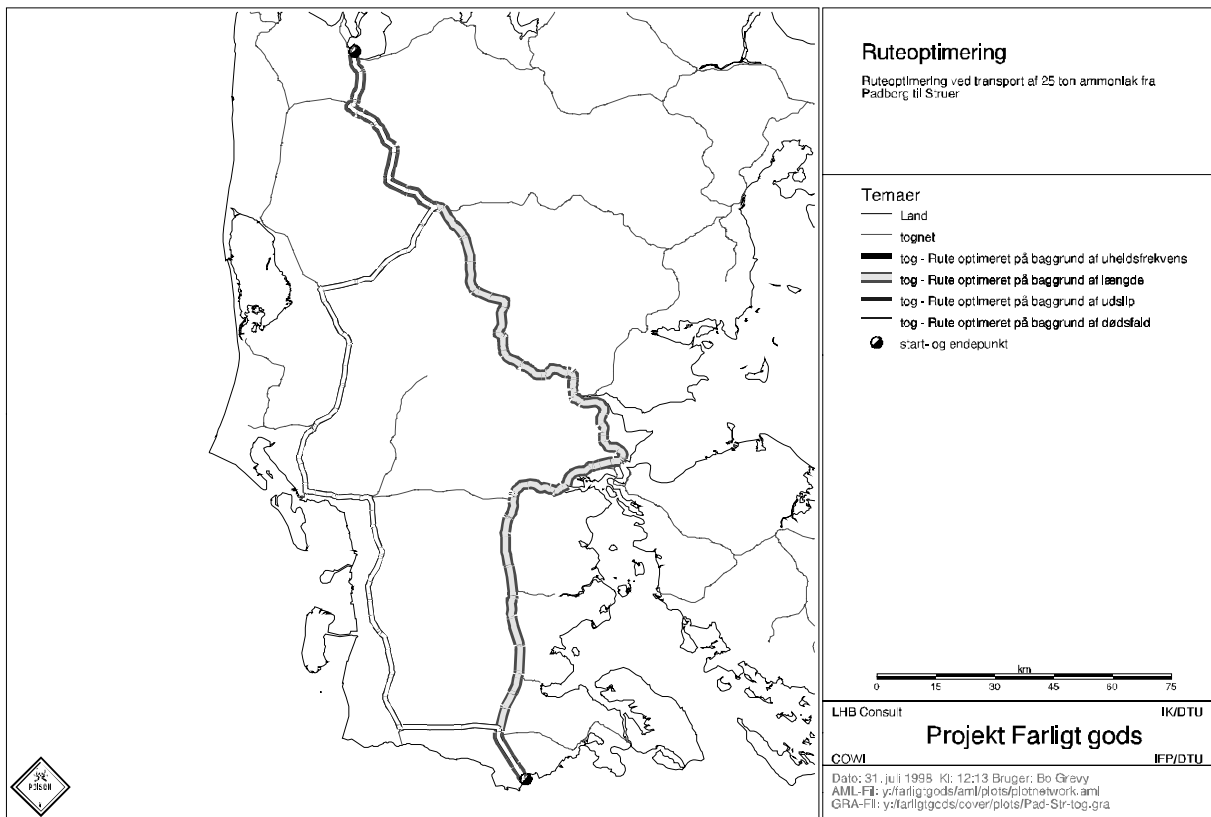
En undersøgelse af data viser, at fordelingen af antallet af døde kan beskrives ved en S-formet kurve omkring den gennemsnitlige værdi. Dette kan udtrykkes simplere ved :

I 10% af tilfældene omkommer 10 gange flere end gennemsnitligt. I 10% af tilfældene omkommer 10 gange færre end det gennemsnitlige og i de resterende 80% procent af tilfældene omkommer det gennemsnitlige antal mennesker.

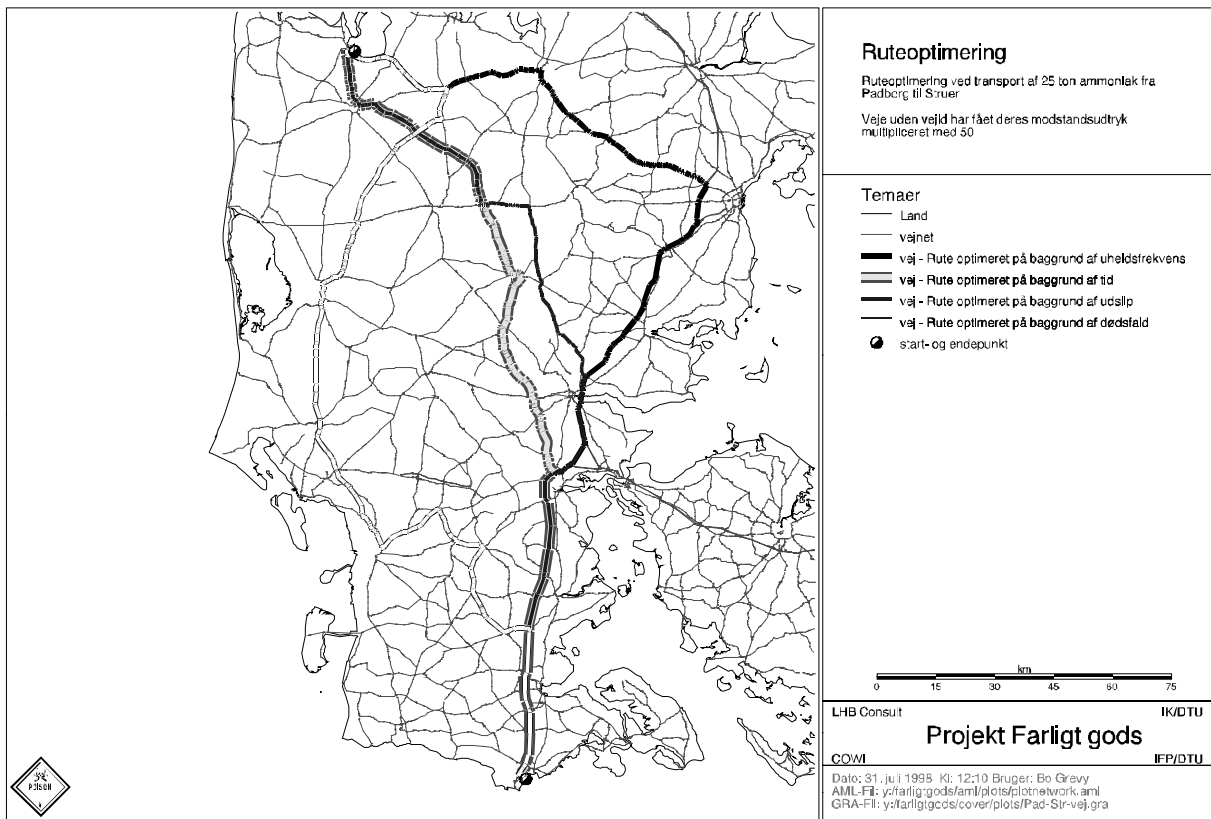
## 5. GIS-implementering

De ovenstående modeller er indarbejdet i en GIS-applikation.

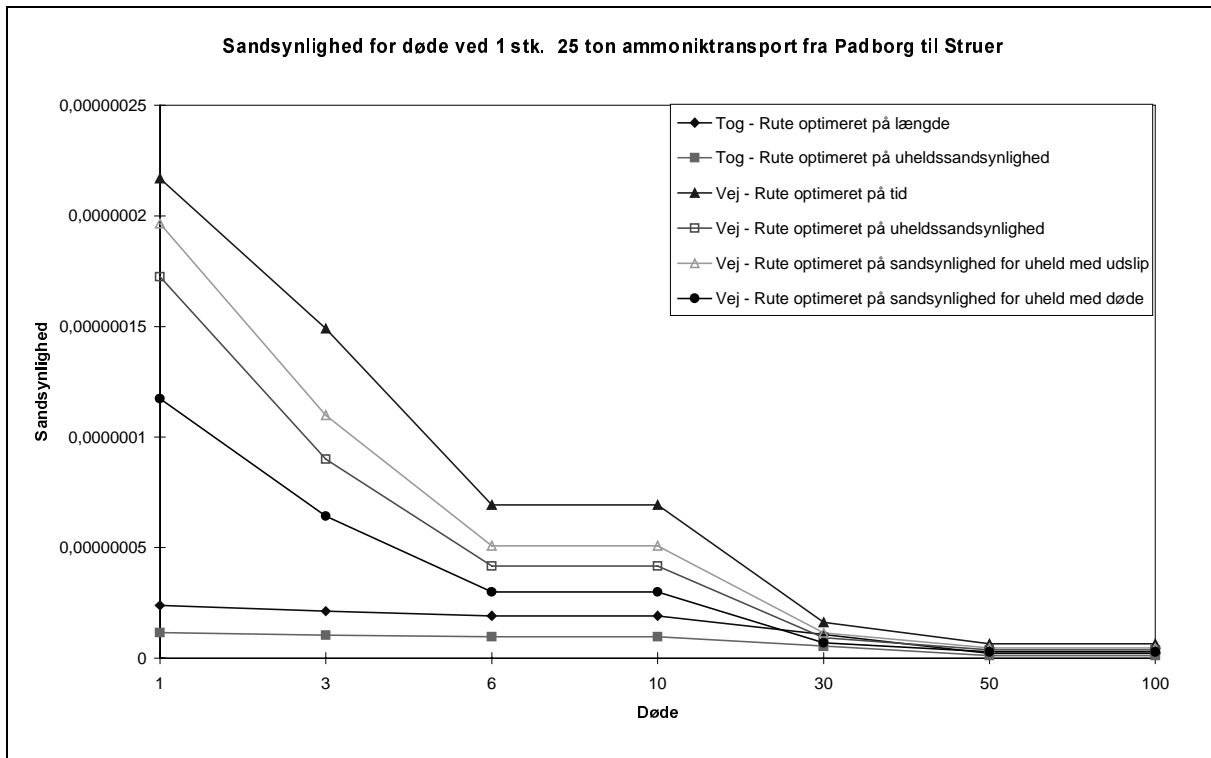
Herunder ses et eksempel på transport af 25 ton ammoniak fra Padborg til Struer med tog. Det bemærkes, at den korteste rute ikke nødvendigvis er den mest sikre.



Tilsvarende er der lavet rutevalg for en 25 ton ammoniaktransport på vejnettet. Her ses, at rutevalget bliver forskelligt når der ruteoptimeres på baggrund af tid, uheldsfrekvens, udslipssandsynlighed og sandsynlighed for døde. Resultatet kan ses herunder. Her skal det bemærkes, at den rute som giver mindst sandsynlighed for uheld ikke er den rute der giver mindst sandsynlighed for uheld med dødsfald.



For de forskellige ruter kan sandsynligheden for x antal døde ses på følgende diagram:

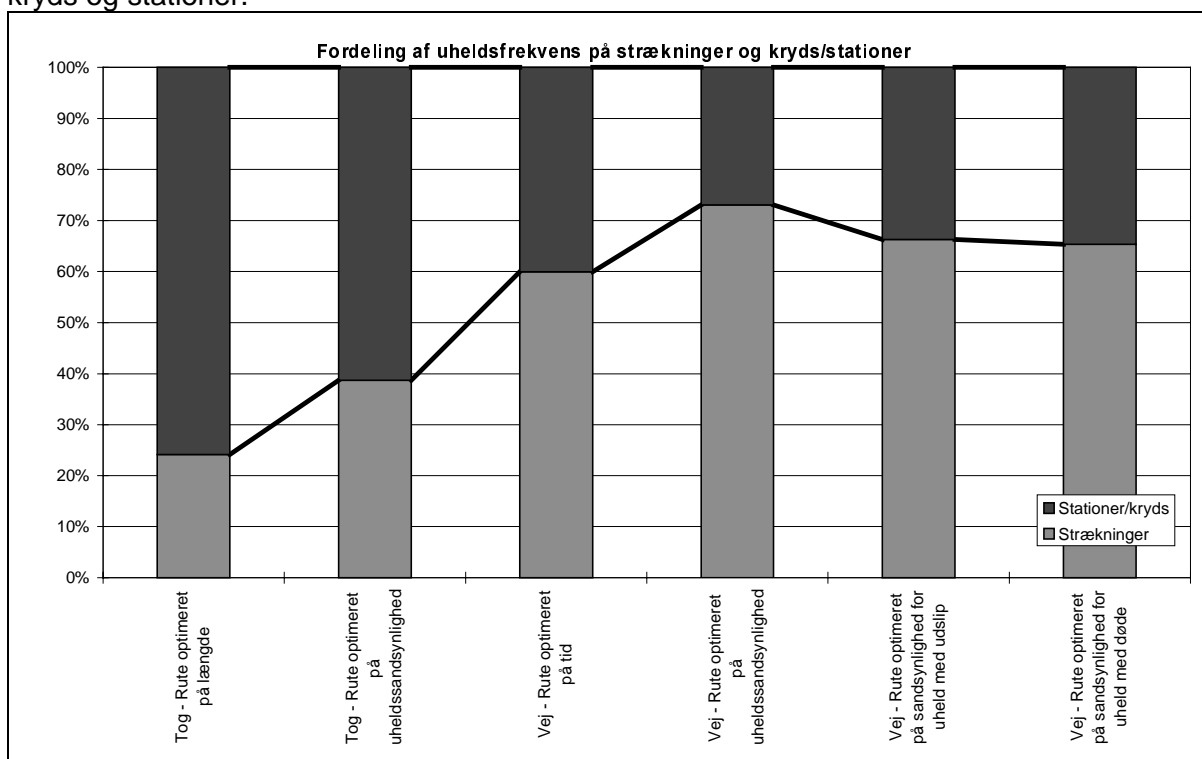


Det ses altså, at det er væsentligt mindre risikofyldt at benytte togtransport end lastbiltransport. Der er dog ikke medregnet risikoen ved omladning, hvorfor den reelle forskel ikke er så stor.

Ved 100 årlige transporter kan antallet af år mellem hvert uheld med en given konsekvens udregnes til :

100 årlige amboniaktransporter mellem Padborg og Struer	Antal år mellem uheld	Antal år mellem uheld med udslip	Antal år mellem 1 eller flere døde	Antal år mellem 3 eller flere døde	Antal år mellem 6 eller flere døde	Antal år mellem 10 eller flere døde	Antal år mellem 30 eller flere døde	Antal år mellem 50 eller flere døde	Antal år mellem 100 eller flere døde
Tog - Rute optimeret på længde	143	106021	418964	472068	522060	522060	940875	4757827	4757827
Tog - Rute optimeret på uheldssandsynlighed	208	153829	865224	962195	1031289	1031289	1856976	9314456	9314456
Vej - Rute optimeret på tid	98	4869	46102	67117	144332	144332	619383	1548467	1548467
Vej - Rute optimeret på uheldssandsynlighed	114	5186	57975	111120	240470	240470	1073733	2684348	2684348
Vej - Rute optimeret på sandsynlighed for uheld med udslip	112	5338	50881	90989	196650	196650	870792	2176989	2176989
Vej - Rute optimeret på sandsynlighed for uheld med døde	66	3366	85200	155806	334958	334958	1434844	3587187	3587187

Nedenunder ses, hvorledes risikoen for de enkelte ruter fordeler sig på strækninger kontra kryds og stationer.





## 6. Konklusion

Det fremgår af ovenstående, at GIS er et utroligt stærkt værktøj til at beregne og visualisere risiko og konsekvenser. Selvom resultaterne i dette paper godt kan virke lidt "black box"-agtige, så kan man ved interaktivt at arbejde med sine resultater på hver eneste knude og hver eneste strækning se de enkelte delresultater. Denne gennemsigtighed giver naturligvis større tillid til systemet.

Når alle modellerne er fuldt implementeret, vil det være muligt at enkelte delmodeller på baggrund af de producerede resultater, skal ændres en smule

Operatører kan benytte systemet til at vælge den minimalt risikofyldte rute- og transportmiddel, eller endog placeringen af lagre eller virksomhed. For myndigheder er der mulighed for at fastlægge tvangsruiter.

Slutrapporten om det samlede projekt forventes publiceret i 1998.

## 7. Litteratur

Transportrådet (1994) : "Transport af farligt gods i Danmark", notat 94-01

Hemdorff, Stig (1993) : " Trafiksikkerhed, Ny inddeling i krydstyper, AP-parametre baseret på 1987-91", Vejdirektoratet, Vejdatalaboratoriet, rapport 111.

Hemdorff, Stig (1996) : "Introduktion til VISplet, AP-parametre baseret på 1989-93", Vejdirektoratet, Trafiksikkerheds- og miljøafdelingen, notat nr. 29.

Brockhoff, Lars Henrik (1992) : "Design of a risk management model for transport of dangerous goods", PhD-afhandling, IK/DTU.

Theseus (1995) : "Tankfahrzeuge mit höchst erreichbarer sicherheit durch experimentelle unfall-simulation", TÜV, BAM, DEKRA, Köln.