



Bilagor  
Riskutredning Fysisk planering



Utredning i samband med planarbetet för Kvarteren  
Verkstaden, Hantverket och Tonfisker i Storängen etapp  
4, Huddinge kommun

2022-02-14



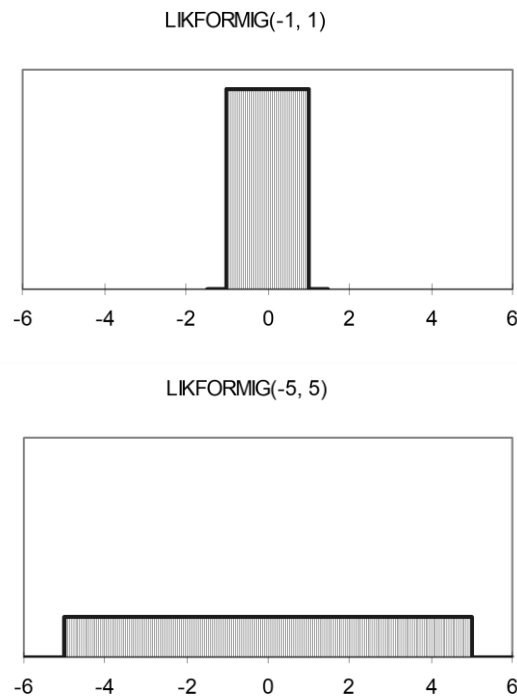
## A. Sannolikhets- och statistikteori

Vid beskrivning av modellerna för frekvens- och konsekvensberäkningar används genomgående ett antal statistiska och sannolikheteoretiska begrepp, vilka förklaras i detta kapitel.

*Väntevärdet*,  $\mu$  uttrycks även som medelvärdet och är det värde som utgör tyngdpunkten i en statistisk fördelning längs x-axeln. Väntevärdet är ett lägesmått.

*Standardavvikelsen*,  $\sigma$  är ett mått på en fördelnings spridning. Osäkerheten i en variablers värde uttrycks med dess standardavvikelse. Två variabler kan ha samma väntevärde men olikartade fördelningar, se Figur 1 nedan.

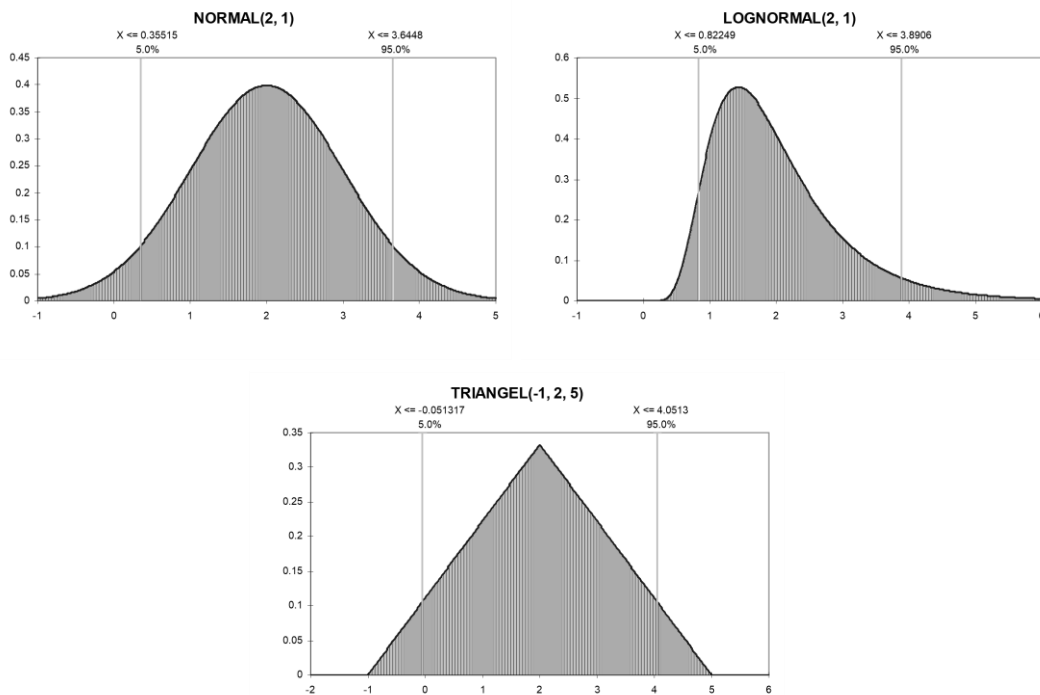
*Variationskoefficienten*, VK, utgörs av kvoten mellan standardavvikelsen och väntevärdet, det vill säga  $VK = \sigma/\mu$ . Variationskoefficienten anges ofta i procent.



**Figur 1. Jämförelse av två likformiga fördelningar där den ena går från  $-1$  till  $1$  och den andra från  $-5$  till  $5$ . Båda har väntevärdet  $0$ , men den senare har en mer utspridd fördelning än den förra.**

Statistiska fördelningar används för att beskriva osäkerheten i indata. Frantzich<sup>1</sup> anger att det första som måste göras när dessa fördelningar skall skattas är att definiera fördelningens största och minsta värde. Därefter uppskattas väntevärde och varians. Slutligen skall en fördelning väljas som ger bästa tänkbara representation av variabeln. Vanliga fördelningar är *normalfördelningen*, *lognormalfördelningen* och *triangelfördelningen*. En grafisk illustration av dessa fördelningar visas i Figur 2.

<sup>1</sup> Frantzich, H., *Uncertainty and risk analysis in fire safety engineering*, Rapport 1016, Avdelning för Brandteknik, Lunds universitet, 1998.



Figur 2. Exempel på normalfördelning, lognormalfördelning och triangelfördelning.

## B. Trafikflöden

Trafiksiffror för år 2040 avseende Storängsleden, från ACAD:s trafikbulerutredning<sup>2</sup> för Storängen visas i Tabell 1.

Tabell 1. Inhämtade trafiksiffror för Storängsleden.

Parameter	2040 utan Tvärförbindelse	2040 med Tvärförbindelse
VMD Fordon	13 500	6 020
ÅDT Fordon (omräknad)	12 560	5 600
Andel tung trafik	20 %	20 %
ÅDT Tung trafik (beräknad)	2 510	1 120

<sup>2</sup> ACAD, Trafikbulerutredning Storängen, Huddinge (Revidering B), Stockholm, 2020-06-17.



## C. Frekvenser för olycka med farligt gods

### C.1 Generella indata

#### C.1.1 Olycksriktning

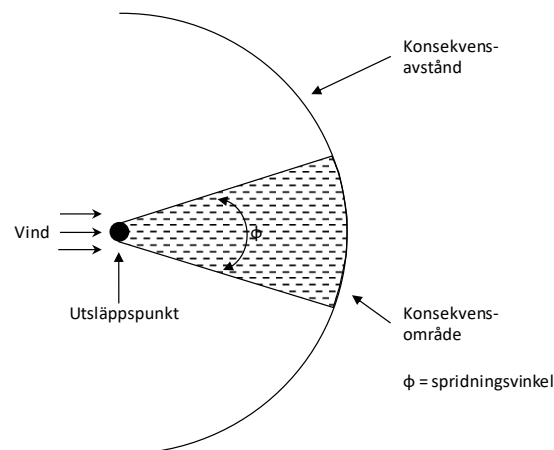
Med "olycksriktning" menas att hänsyn måste tas i vilken riktning som olyckan breder ut sig. Flertalet av scenarierna som kan inträffa är beroende av omgivningsförhållanden som vindriktning, men även olycksförloppets karakteristiska gör att den inte har en cirkulär påverkan. I Tabell 2 redovisas vilken reduktion som måste göras i samband med beräkning av risk.

Tabell 2. Korrektion för olyckans riktning.

Scenario	Beskrivning	Korrigering
Giftmoln	Utbredning i vindriktningen <sup>3</sup> (22°)	22 / 360 = 0,061
BLEVE	Cirkulär utbredning	1,0
UVCE	Utbredning i vindriktningen <sup>3</sup> (22°)	22 / 360 = 0,061
Jetflamma	Riktning uppåt, mot eller bort <sup>4</sup>	2/3 = 0,67
Pölbrand	Cirkulär utbredning	1,0
Frätande ämne	Riktning mot eller bort <sup>5</sup>	1/2 = 0,50

#### C.1.2 Spridningsvinkel

Giftmoln driver i väg med vinden. Gasen sprids i huvudsak längs med vindriktningen, men även till viss del i sidled. Spridningen i sidled bestäms av en spridningsvinkel, vilken i första hand beror på vindhastigheten. I Figur 3 visas en schematisk bild av spridningsförloppet. Spridningsvinkeln kan beräknas med en metod som visas i Figur 4.



Figur 3. Illustration av konsekvensavstånd, konsekvensområde och spridningsvinkel vid spridning av giftmoln.

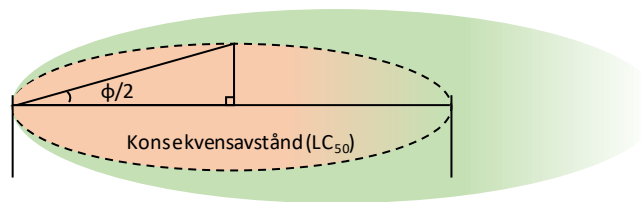
<sup>3</sup> I avsnitt C.1.2 redovisas hur spridningsvinkeln beräknats.

<sup>4</sup> Jetflamman antas kunna vara riktad mot området, bort från området eller uppåt. Flammor som är riktade bort från området tas inte med i analysen.

<sup>5</sup> Utsläpp av frätande ämne antas kunna ske mot eller bort från området. Utsläpp som riktas bort tas inte med i analysen.



Vid halva avståndet till LC50 (se Figur 4) längs utsläppets centrumlinje mäts avståndet i sidled ut till samma koncentration. Denna sträcka är den motstående kateten till halva spridningsvinkeln.



**Figur 4. Illustration hur spridningsvinkeln kan beräknas med utgångspunkt i gasspridningsmodellen.**

Spridningsvinkeln har beräknats för olika väder- och vindförhållanden och redovisas i Tabell 3. Beräkningar har utförts med metodiken redovisad i bilaga D.

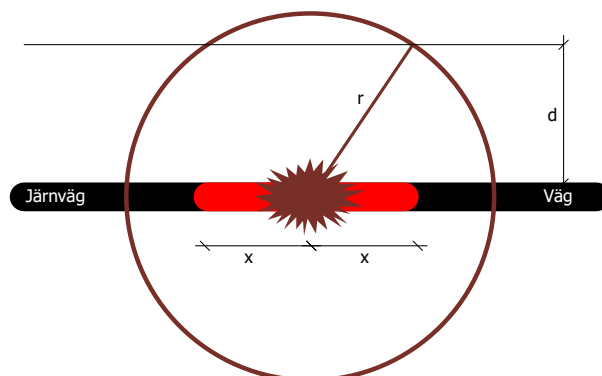
**Tabell 3. Sammanställning av spridningsvinkel för olika väder- och vindförhållanden.**

Stabilitetsklass	Vindhastighet	Spridningsvinkel
Instabil	1–4 m/s	29–31°
Neutral	2–8 m/s	15–29°
Stabil	1–4 m/s	11–33°

Spridningsvinkeln blir smalare ju mer det blåser och vinkeln antar sitt högsta värde när vindhastigheten är 1 m/s. Med hjälp av statistisk analys som bygger på indata relevant för spridning i luft (se bilaga D) kan det konstateras att spridningsvinkeln kommer vara 22° eller lägre i 95 % av fallen. 22° används som dimensionerande värde i riskanalysen.

### C.1.3 Korrigeringsfaktor för att bedöma frekvensen att specifik olycka påverkar en punkt på ett givet avstånd från transportleden

Olycksfrekvenserna som beräknas utgår från en sträcka på 1 km. Eftersom de flesta olyckor endast påverkar en liten del av denna sträcka så är det nödvändigt att korrigera för hur ofta en olycka som har en given utbredning, påverkar en punkt på ett visst avstånd från transportleden. Detta kan göras med en modell som bygger på den som redovisas i Figur 5.



**Figur 5. Modell för beräkning av frekvensen att en olycka påverkar ett visst avstånd från transportleden.**

Om olyckan har utbredningen  $r$  så måste olyckan inträffa på sträckan  $2x$  för att ge en påverkan på avståndet  $d$  från transportleden. Notera att det endast är intressant att



studera de fall där  $d \leq r$ , eftersom om  $d > r$  blir det ingen konsekvens. Med hjälp av Pythagoras sats<sup>6</sup> kan  $x$  beräknas och sannolikheten att olyckan med utbredningen  $r$  påverkar avståndet  $d$  vid en olycksfrekvens angiven per kilometer blir således:

$$\frac{2\sqrt{r^2 - d^2}}{1000}$$

I Tabell 4 redovisas den korrigeringsfaktor som olycksfrekvensen per km ska multipliceras med för att bestämma frekvensen för att en olycka med en viss utbredning påverkar en punkt på ett givet avstånd från transportleden.

---

<sup>6</sup> Pythagoras sats anger sambandet mellan sidorna i en rätvinklig triangel där kvadraten på hypotenusan är lika med summan av kvadraterna på kateterna.



**Tabell 4. Korrigeringsfaktor för att hantera att en olycka med en viss utbredning (r) påverkar en punkt på ett givet avstånd (d) från transportleden.**

Olyckan når (r), m	Avstånd (d) som studeras, m																									
	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	110	120	130	140	150
5	0,01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
10	0,02	0,02	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
15	0,03	0,03	0,02	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
20	0,04	0,04	0,03	0,03	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
25	0,05	0,05	0,05	0,04	0,03	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
30	0,06	0,06	0,06	0,05	0,04	0,03	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
35	0,07	0,07	0,07	0,06	0,06	0,05	0,04	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
40	0,08	0,08	0,08	0,07	0,07	0,06	0,05	0,04	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
45	0,09	0,09	0,09	0,08	0,08	0,07	0,07	0,06	0,04	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
50	0,10	0,10	0,10	0,10	0,09	0,09	0,08	0,07	0,06	0,04	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
55	0,11	0,11	0,11	0,11	0,10	0,10	0,09	0,08	0,08	0,06	0,05	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
60	0,12	0,12	0,12	0,12	0,11	0,11	0,10	0,10	0,09	0,08	0,07	0,05	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
65	0,13	0,13	0,13	0,13	0,12	0,12	0,12	0,11	0,10	0,09	0,08	0,07	0,05	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
70	0,14	0,14	0,14	0,14	0,13	0,13	0,13	0,12	0,11	0,11	0,10	0,09	0,07	0,05	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
75	0,15	0,15	0,15	0,15	0,14	0,14	0,14	0,13	0,13	0,12	0,11	0,10	0,09	0,07	0,05	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
80	0,16	0,16	0,16	0,16	0,15	0,15	0,15	0,14	0,14	0,13	0,12	0,12	0,11	0,09	0,08	0,06	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
85	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,16	0,16	0,15	0,15	0,14	0,14	0,13	0,12	0,11	0,10	0,08	0,06	-	-	-	-	-	-	-	-	-
90	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,17	0,17	0,17	0,16	0,16	0,15	0,14	0,13	0,12	0,11	0,10	0,08	0,06	-	-	-	-	-	-	-	-
95	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,18	0,18	0,18	0,17	0,17	0,16	0,15	0,15	0,14	0,13	0,12	0,10	0,08	0,06	-	-	-	-	-	-	-
100	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,19	0,19	0,19	0,18	0,18	0,17	0,17	0,16	0,15	0,14	0,13	0,12	0,11	0,09	0,06	-	-	-	-	-	-
110	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,21	0,21	0,21	0,20	0,20	0,20	0,19	0,18	0,18	0,17	0,16	0,15	0,14	0,13	0,11	0,09	-	-	-	-	-
120	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,23	0,23	0,23	0,23	0,22	0,22	0,21	0,21	0,20	0,19	0,19	0,18	0,17	0,16	0,15	0,13	0,10	-	-	-	-
130	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,25	0,25	0,25	0,24	0,24	0,24	0,23	0,23	0,22	0,21	0,20	0,20	0,19	0,18	0,17	0,14	0,10	-	-	-
140	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	0,27	0,27	0,27	0,27	0,26	0,26	0,25	0,25	0,24	0,24	0,23	0,22	0,21	0,21	0,20	0,17	0,14	0,10	-	-



150	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,29	0,29	0,29	0,29	0,28	0,28	0,27	0,27	0,27	0,26	0,25	0,25	0,24	0,23	0,22	0,20	0,18	0,15	0,11	-
160	0,32	0,32	0,32	0,32	0,32	0,32	0,31	0,31	0,31	0,31	0,30	0,30	0,30	0,29	0,29	0,28	0,28	0,27	0,26	0,26	0,25	0,23	0,21	0,19	0,15	0,11
170	0,34	0,34	0,34	0,34	0,34	0,34	0,33	0,33	0,33	0,33	0,32	0,32	0,32	0,31	0,31	0,31	0,30	0,29	0,29	0,28	0,27	0,26	0,24	0,22	0,19	0,16
180	0,36	0,36	0,36	0,36	0,36	0,36	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,34	0,34	0,34	0,33	0,33	0,32	0,32	0,31	0,31	0,30	0,28	0,27	0,25	0,23	0,20
190	0,38	0,38	0,38	0,38	0,38	0,38	0,38	0,37	0,37	0,37	0,37	0,36	0,36	0,36	0,35	0,35	0,34	0,34	0,33	0,33	0,32	0,31	0,29	0,28	0,26	0,23
200	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,39	0,39	0,39	0,39	0,38	0,38	0,38	0,37	0,37	0,37	0,36	0,36	0,35	0,35	0,33	0,32	0,30	0,29	0,26
220	0,44	0,44	0,44	0,44	0,44	0,44	0,44	0,43	0,43	0,43	0,43	0,43	0,42	0,42	0,42	0,41	0,41	0,41	0,40	0,40	0,39	0,38	0,37	0,35	0,34	0,32
240	0,48	0,48	0,48	0,48	0,48	0,48	0,48	0,47	0,47	0,47	0,47	0,47	0,46	0,46	0,46	0,46	0,45	0,45	0,44	0,44	0,44	0,43	0,42	0,40	0,39	0,37
260	0,52	0,52	0,52	0,52	0,52	0,52	0,52	0,52	0,51	0,51	0,51	0,51	0,51	0,50	0,50	0,50	0,49	0,49	0,49	0,48	0,48	0,47	0,46	0,45	0,44	0,42
280	0,56	0,56	0,56	0,56	0,56	0,56	0,56	0,56	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55	0,54	0,54	0,54	0,54	0,53	0,53	0,53	0,52	0,51	0,51	0,50	0,48	0,47
300	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,59	0,59	0,59	0,59	0,59	0,59	0,58	0,58	0,58	0,58	0,57	0,57	0,57	0,56	0,55	0,54	0,53	0,52
320	0,64	0,64	0,64	0,64	0,64	0,64	0,64	0,64	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63	0,62	0,62	0,62	0,62	0,61	0,61	0,61	0,60	0,59	0,58	0,58	0,57
340	0,68	0,68	0,68	0,68	0,68	0,68	0,68	0,68	0,68	0,67	0,67	0,67	0,67	0,67	0,67	0,66	0,66	0,66	0,66	0,65	0,65	0,64	0,64	0,63	0,62	0,61
360	0,72	0,72	0,72	0,72	0,72	0,72	0,72	0,72	0,72	0,71	0,71	0,71	0,71	0,71	0,71	0,70	0,70	0,70	0,70	0,69	0,69	0,69	0,68	0,67	0,66	0,65
380	0,76	0,76	0,76	0,76	0,76	0,76	0,76	0,76	0,76	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,74	0,74	0,74	0,74	0,73	0,73	0,72	0,71	0,71	0,70
400	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,79	0,79	0,79	0,79	0,79	0,79	0,79	0,78	0,78	0,78	0,78	0,77	0,77	0,76	0,76	0,75	0,74





**Tabell 4. Korrigeringsfaktor för att hantera att en olycka med en viss utbredning (r) påverkar en punkt på ett givet avstånd (d) från transportleden. (forts.)**

Olyckan når (r), m	Avstånd (d) som studeras, m															
	160	170	180	190	200	220	240	260	280	300	320	340	360	380	400	
160	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
170	0,11	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
180	0,16	0,12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
190	0,20	0,17	0,12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
200	0,24	0,21	0,17	0,12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
220	0,30	0,28	0,25	0,22	0,18	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
240	0,36	0,34	0,32	0,29	0,27	0,19	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
260	0,41	0,39	0,38	0,35	0,33	0,28	0,20	-	-	-	-	-	-	-	-	
280	0,46	0,44	0,43	0,41	0,39	0,35	0,29	0,21	-	-	-	-	-	-	-	
300	0,51	0,49	0,48	0,46	0,45	0,41	0,36	0,30	0,22	-	-	-	-	-	-	
320	0,55	0,54	0,53	0,51	0,50	0,46	0,42	0,37	0,31	0,22	-	-	-	-	-	
340	0,60	0,59	0,58	0,56	0,55	0,52	0,48	0,44	0,39	0,32	0,23	-	-	-	-	
360	0,64	0,63	0,62	0,61	0,60	0,57	0,54	0,50	0,45	0,40	0,33	0,24	-	-	-	
380	0,69	0,68	0,67	0,66	0,65	0,62	0,59	0,55	0,51	0,47	0,41	0,34	0,24	-	-	
400	0,73	0,72	0,71	0,70	0,69	0,67	0,64	0,61	0,57	0,53	0,48	0,42	0,35	0,25	-	



## C.2 Transport av farligt gods på Storängsleden

I avsnitt C.4.1 redovisas transportarbetet för tung trafik på Storängsleden. Transportarbetet kombineras med nationell statistik över transporter av farligt gods för att bedöma antalet fordon lastade med farligt gods som trafikerar de berörda vägarna. Förvaltningsmyndigheten Trafikanalys sammanställer årligen nationell statistik avseende inrikes transport av farligt gods.

I Tabell 5 redovisas en sammanställning<sup>7</sup> av nationell statistik avseende transport av farligt gods på väg för år 2016-2020. Medelvärdet för mängden (vikt) farligt gods av den totala godsmängden är under den studerade perioden 2,3 %. Andelen transporter med farligt gods av det totala antalet godstransporter var under denna period 1 %. För beräkning av risknivåer används uppdelningen som baseras på antal transporter, men andelen farligt gods ökas till 1,5 %. Andelen förutsätts vara samma före såväl som efter tvärförbindelsen. Det görs ingen justering av fördelningen mellan ADR-klasser till följd av att tvärförbindelsen tas i bruk. Den största andelen (48 %) utgörs av brandfarliga vätskor och den näst största delen (22 %) utgörs av gaser, följt av giftiga (9 %) och frätande ämnen (8 %).

**Tabell 5. Sammanställning av nationell statistik för transport av farligt gods på väg 2016–2020.**

<b>ADR-klass</b>	<b>Godsmängd</b> <i>2,3 % av total godsmängd</i>	<b>Antal transporter</b> <i>1,0 % av totalt antal transporter<sup>8</sup></i>
Klass 1	0,3 %	1,2 %
Klass 2	15,3 %	22,0 %
Klass 3	57,4 %	47,8 %
Klass 4	5,2 %	4,3 %
Klass 5	1,7 %	2,9 %
Klass 6	6,0 %	9,0 %
Klass 7	0 %	0 %
Klass 8	9,9 %	8,1 %
Klass 9	4,2 %	4,5 %
<b>Summa</b>	<b>100 %</b>	<b>100 %</b>

### C.2.1 Uppdelning inom respektive ADR-klass

Utöver den uppdelningen i olika ADR-klasser krävs kännedom om fördelningar inom respektive klass för att kunna göra korrekta beräkningar av risken. Exempelvis omfattar ADR-klass 2 "gaser", vilka kan vara brandfarliga, giftiga eller sakna någon

<sup>7</sup> Trafikanalys, *Lastbilstrafik 2016-2020 (2021:14, 2020:14, 2019:13, 2018:13)*.

<sup>8</sup> Används vid beräkning av risknivåer, men andelen farligt gods ökas till 1,5 %.



av dessa egenskaper. Likaså spelar det stor roll vilken av underklasserna 1.1-1.3 alternativt 1.4 som explosivämnen i ADR-klass 1 tillhör. ADR-klass 1.4 kan nämligen inte ge upphov till skador som påverkar omgivningen. Underlag redovisas i Tabell 6 och bygger på data från Länsstyrelsens i Skåne läns riktlinjer<sup>9</sup> där detaljerad regional statistik inte finns att tillgå.

**Tabell 6. Uppdelning av farligt gods inom respektive ADR-klass. Klass 4, 7, 8 och 9 redovisas inte i tabellen då det inte finns någon uppdelning i underklasser inom dessa huvudklasser.**

ADR-klass	Underklass	Andel inom ADR-klass
1	Explosivt	10 %
	Övrigt <sup>10</sup>	90 %
2	Giftigt	54 %
	Brandfarligt	12 %
	Övrigt <sup>10</sup>	34 %
3	Brandfarligt, ej giftigt	75 %
	Brandfarligt och giftigt	8 %
	Övrigt <sup>10</sup>	17 %
5	Explosivt	5 %
	Övrigt <sup>10</sup>	95 %
6	Flytande	72 %
	Övrigt <sup>10</sup>	28 %

### C.3 Scenarier

Utöver uppdelningen mellan olika ADR-klasser krävs kännedom om "underklasser", sannolikhet för utsläpp och vilken typ av olycka som inträffar. Denna information finns redovisad i Tabell 6 och förtydligas nedan.

#### *Explosivämnen (ADR-klass 1)*

Explosivämnen kan detonera på grund av stötar i samband med olycka, vid värmepåverkan i samband med fordonsbrand eller på grund av felaktiga förpackningar.

- ♦ Andel massexplosiva varor är 10 %.

#### *Gaser (ADR-klass 2)*

Gaser delas in i tre huvudgrupper – de som är brännbara, de som är giftiga och de som inte utgör någon fara för omgivningen. För brännbara gaser gäller att ha kännedom om vilka olyckor som inträffar.

- ♦ Andelen giftiga gaser är 54 %.

---

<sup>9</sup> Länsstyrelsen i Skåne län, *Riktlinjer för riskhänsyn i samhällsplaneringen – bebyggelseplanering intill väg och järnväg med transport av farligt gods*, Rapport "Skåne i utveckling", 2007:06.

<sup>10</sup> Underklassen "Övrigt" betecknar farligt gods som inte kan utgöra en fara för omgivningen.



- ◆ Andelen brännbara gaser är 12 %. Om utsläpp sker kan följande inträffa<sup>11,12,13</sup>:
  - Ingen antändning, 30 %.
  - UVCE, 50 %.
  - BLEVE, 1 %.
  - Jetflamma, 19 %.
- ◆ Resterande andel utgörs av gaser som inte anses farliga, till exempel kvävgas samt olika inerta gaser.

#### *Brandfarliga vätskor (ADR-klass 3)*

Brandfarliga vätskor delas in i tre grupper; brandfarliga, brandfarliga och giftiga samt brännbara. En brandfarlig vätska definieras med att den kan antändas under normala temperaturer (< 30 °C). Diesel är ett exempel på en brännbar, men ej brandfarlig vätska då den inte kan antändas vid temperaturer < 55 °C. Beroende av om och när antändning sker samt om vätska är giftig eller inte sker olika olyckstyper.

- ◆ Andelen brandfarliga produkter utan giftiga egenskaper är 75 %. Följande olyckor beaktas<sup>11,12</sup>:
  - Ingen antändning, 94 %
  - Fördröjd antändning, 3 % och omedelbar antändning, 3 %
- ◆ Andelen brandfarliga produkter med giftiga egenskaper är 8. Följande olyckor beaktas<sup>11,12</sup>:
  - Ingen antändning med resulterande giftmoln, 94 %
  - Fördröjd antändning, 3 % och omedelbar antändning, 3 %

#### *Oxiderande ämnen och organiska peroxider (ADR-klass 5) som kan orsaka explosion vid blandning med brännbara vätskor*

Oxiderande ämnen i klass 5 utgör normalt ingen påtaglig risk för omgivningen. Under särskilda omständigheter kan en explosion inträffa, vilket sker om vissa typer av oxiderande ämnen blandas med brännbar vätska. De ämnen inom ADR-klass 5 som kan leda till kraftiga brand- och explosionsförlopp är i huvudsak ej stabiliserade väteperoxider, vattenlösningar av väteperoxider med över 60 % väteperoxid samt organiska peroxider.

- ◆ Andelen oxiderande ämnen och organiska peroxider som kan orsaka explosion vid blandning med brännbar vätska är 5 %<sup>14</sup>.

---

<sup>11</sup> Purdy, G., *Risk analysis of the transportation of dangerous goods by road and rail*, Journal of Hazardous Materials, 33, pp 229-259, 1993

<sup>12</sup> CPQRA, *Guidelines for Chemical Process Quantitative Risk Analysis*. Center for Chemical Process Safety of the American Institute of Chemical Engineers, New York, 1989.

<sup>13</sup> Fredén, S., *Modell för skattning av sannolikheten för järnvägsolyckor som drabbar omgivningen*, Rapport 2001:5, Miljösektionen, Banverket, 2001.

<sup>14</sup> Uppgifter gällande andelen oxiderande ämne från en detaljerad kartläggning av farligt gods i Helsingborgs stad där andelen oxiderande ämne med riskfras R9 "Explosivt vid blandning med brännbart material" har uppskattats.



- ◆ Det uppskattats att oxiderande ämne och brandfarlig vätska kommer i kontakt med varandra i 50 % av olyckorna och att det är en sannolikhet på 10 % att explosion sker efter kontakt<sup>15</sup>.

#### *Giftiga ämnen (ADR-klass 6)*

Giftiga ämnen i klass 6 transporteras antingen i flytande eller fast form. Ämnen i fast form utgör normalt ingen akut påverkan på omgivningen.

- ◆ Andelen flytande giftiga ämnen är 72 %.

#### *Frätande ämnen (ADR-klass 8)*

Samtliga läckage av ämnen i klass 8 kan orsaka skada på omgivningen.

## **C.4 Olyckor på väg**

De allra flesta olyckor med transport av farligt gods är i grunden trafikolyckor vid vilka tankens skadas och utsläpp sker. Beräkning av antalet olyckor som leder till utsläpp av farligt gods kan göras med en modell som bygger på kännedom om:

1. Trafikarbete uttryckt som antal fordonskilometer med transport av farligt gods per år.
2. Olycksfrekvens uttryckt i antal olyckor per fordonskilometer.
3. Index för farligt godsolycka, vilket anger sannolikheten för utsläpp av farligt gods, givet att en trafikolycka inträffar.

### **C.4.1 Trafikarbete**

Trafikarbete för fordon som medför farligt gods beräknas för en referenstid av ett år och utgör ett underlag för att bedöma det årliga antalet olyckor med fordon som medför farligt gods.

Dimensionerande antal fordon som medför farligt gods är 13 750 per år, utan tvärförbindelsen. Med tvärförbindelsen blir det 6 130 fordon per år.

Trafikarbete i form av antal axelparskilometer med transport av farligt gods,  $T$  beräknas för en vägsträcka på 1 km:

- ◆ Utan tvärförbindelse:  $35\,057 \times 1,0 = 35\,057$  axelparskilometer per år.
- ◆ Med tvärförbindelse:  $15\,633 \times 1,0 = 15\,633$  axelparskilometer per år.

### **C.4.2 Olycksfrekvens**

När olycksfrekvensen ska beräknas krävs kännedom om olyckskvoten, trafikarbetet och andelen singelolyckor. Modellen som beräknar antalet olyckor utgår från att alla olyckor är singelolyckor. Därför är det nödvändigt att kompensera för att fler än en bil

---

<sup>15</sup> Riskanalysen i den fördjupade översiktsplanen för Göteborg använder en sannolikhet för explosion på 0,8 %, i jämförelse med 5,0 % som används i denna analys. Kunskapsunderlaget är litet och därför är det nödvändigt med konservativa antaganden.



kan vara inblandad i en trafikolycka. Detta kan lämpligen göras med en korrigeringsfaktor redovisad i Tabell 7 och beräknad enligt nedanstående modell<sup>16</sup>:

$$K_s = Y + 2 \cdot (1 - Y)$$

Data avseende andel singelolyckor har kurvanpassats för att ge möjlighet att bedöma värden för hastighetsbegränsningar som ej finns redovisade i ursprungsmaterialet.

**Tabell 7. Andel singelolyckor i stad och på landsbygd.**

Hastighetsbegränsning	Andel singelolyckor, $Y$	Korrigeringsfaktor, $K_s$
30 km/h	0,10	1,90
40 km/h	0,10	1,90
50 km/h	0,10	1,90
60 km/h	0,20	1,80
70 km/h	0,20	1,80
80 km/h	0,30	1,70
90 km/h	0,30	1,70
100 km/h	0,35	1,65
110 km/h	0,35	1,65
120 km/h	0,35	1,65

Olycksfrekvensen  $OF$  uttryckt i förväntat antal olyckor med fordon som medför farligt gods per fordonskilometer beräknas enligt nedanstående uttryck.

$$OF = O_k \cdot K_s$$

där:

$O_k$  = Olyckskvoten, vilken redovisas i avsnitt 3.2. För beräkningarna används värdet 0,329.

$K_s$  = Korrigeringsfaktor för olyckor med fler än ett fordon inblandade, se Tabell 7.

Dimensionerande olycksfrekvenser beräknas till:

- ♦  $0,329 \times 1,9 = 6,25 \cdot 10^{-1}$  olyckor per axelparskilometer.

### C.4.3 Index för farligt godsolycka

VTI<sup>16</sup> anger ett index för farligt godsolycka, vilket ska tolkas som sannolikheten för utsläpp av farligt gods, givet att en trafikolycka inträffar. Indexet är beroende av hastigheten med vilken olyckan inträffar, se Tabell 8. VTI har i sin redovisning av olyckskvoten utgått från ett statistiskt underlag för 70 km/h och därefter har VTI antagit att olyckskvoten är proportionerlig mot rörelseenergin i kvadrat, ett samband som använts för att beräkna olyckskvoterna för övriga hastigheter.

**Tabell 8. Index för farligt godsolycka<sup>17</sup>.**

Hastighetsbegränsning	Index för farligt godsolycka
30 km/h	0,01
40 km/h	0,02
50 km/h	0,03

<sup>16</sup> Väg- och Trafikforskningsinstitutet, *Vägtransporter med farligt gods – Farligt gods i vägtrafikolyckor*, rapport nr 387:3, 1994.

<sup>17</sup> Notera att index för farligt godsolycka för hastigheter större än 80 km/h är baserade på uppgifter för landsbygd då underlag saknas för stad.



Hastighetsbegränsning	Index för farligt godsolycka
60 km/h	0,06
70 km/h	0,12
80 km/h	0,22
90 km/h	0,25
100 km/h	0,31
110 km/h	0,40
120 km/h	0,51

Index för farligt godsolycka i Tabell 8 gäller för tunnväggiga tankar, det vill säga alla transporter undantaget tryckkondenserade gaser i ADR-klass 2. För dessa tankar är index för farligt godsolycka 1/30-del av värdet som anges där<sup>18</sup>.

Explosivämnen i ADR-klass 1 kan inte hanteras på samma sätt som övrigt farligt gods då sannolikheten för en detonation inte är direkt relaterad till det faktum att det sker en olycka där farligt gods läcker ut. Detonation av explosivämnen kan ske antingen genom fordonsbrand, vid kollisionsvåld eller genom defekt material/förpackning. Det finns statistik från Storbritannien (där transporter sker under liknande regelverk) som tydligt belyser risker med transport av explosivämnen. Frekvensen för detonation har bestämts till  $1,1 \cdot 10^{-9}$  per fordonskilometer<sup>19</sup>.

#### C.4.4 Sammanställning av frekvenser för enskilda scenarier

Informationen i avsnitt C.1.1 samt C.4.1-C.4.3 används för att beräkna frekvenserna för respektive scenario enligt nedanstående modell:

$$F_{\text{scenario}} = OF \cdot T \cdot N_{\text{ADR-X}} \cdot N_{\text{ADR-X.X}} \cdot I_{\text{FaGo-olycka}} \cdot P_{\text{konslADR-X.X}} \cdot K_{\text{riktn}}$$

där:

$OF$  är olycksfrekvensen, se avsnitt C.4.2.

$T$  är trafikarbetet i form av fordonskilometrar per år, se avsnitt C.2.

$N_{\text{ADR-X}}$  är andelen av farligt gods i huvudklass ADR 1-9, se avsnitt C.2.

$N_{\text{ADR-X.X}}$  är andelen inom respektive ADR-klass, se avsnitt C.2.1.

$I_{\text{FaGo-olycka}}$  är index för farligt godsolycka, se avsnitt C.4.3.

$P_{\text{konslADR-X.X}}$  är sannolikheten att ett visst scenario inträffar givet utsläpp i en specifik underklass, se avsnitt C.3.

$K_{\text{riktn}}$  är en korrigeringsfaktor som tar hänsyn till i vilken riktning olyckan breder ut sig, se avsnitt C.1.1.

I Tabell 9 sammanställs frekvensen för respektive scenario.

<sup>18</sup> Räddningsverket, *Farligt Gods – riskbedömning vid transport. Handbok för riskbedömning av transporter med farligt gods på väg eller järnväg*, 1996.

<sup>19</sup> HMSO, *Major hazard aspects of the transport of dangerous substances – report and appendices*, Advisory Committee on Dangerous Substances, Health & Safety Commission, London, 1991.



**Tabell 9. Frekvenser per år för respektive scenario.**

<b>Scenario</b>	<b>Prognos 2040 utan tvärförbindelse (20% tung)</b>	<b>Prognos 2040 med tvärförbindelse (20% tung)</b>
Klass 1 detonation	1,8E-08	8,1E-09
Klass 2 BLEVE	1,3E-09	5,8E-10
Klass 2 jetflamma	1,6E-08	7,3E-09
Klass 2 UVCE	3,9E-09	1,8E-09
Klass 2 giftmoln	3,5E-08	1,6E-08
Klass 3 pölbrand (direkt)	1,2E-05	5,2E-06
Klass 3 pölbrand (fördröjd)	5,8E-06	2,6E-06
Klass 3 giftmoln	2,4E-07	1,1E-07
Klass 5 detonation	1,1E-08	4,7E-09
Klass 6 giftmoln	5,8E-07	2,6E-07
Klass 8	5,9E-06	2,6E-06
<b>Summa:</b>	<b>2,4E-05</b>	<b>1,1E-05</b>

De enskilda scenariernas frekvenser i Tabell 9 är den data som frekvensmodellen lämnar över till "riskmodellen". I riskmodellen används ovanstående frekvenser tillsammans med resultatet av konsekvensberäkningarna i bilaga D. Pölbränder vid utsläpp av ADR-klass 3 som kan ge brännskador och brandspridning står för 73 % av antalet olyckor och utsläpp av ADR-klass 8 som kan ge frätskador i närområdet för 24 %, vilka tillsammans utgör 97 % av de tänkbara olyckorna.





## D. Konsekvenser av olyckor med farligt gods

### D.1 Beräkning av konsekvenser

I detta avsnitt redovisas de modeller som har använts för beräkning av olyckornas konsekvenser. Syftet med avsnittet är att visa vilka modeller som använts på en övergripande nivå. Huvudreferens för detta avsnitt är:

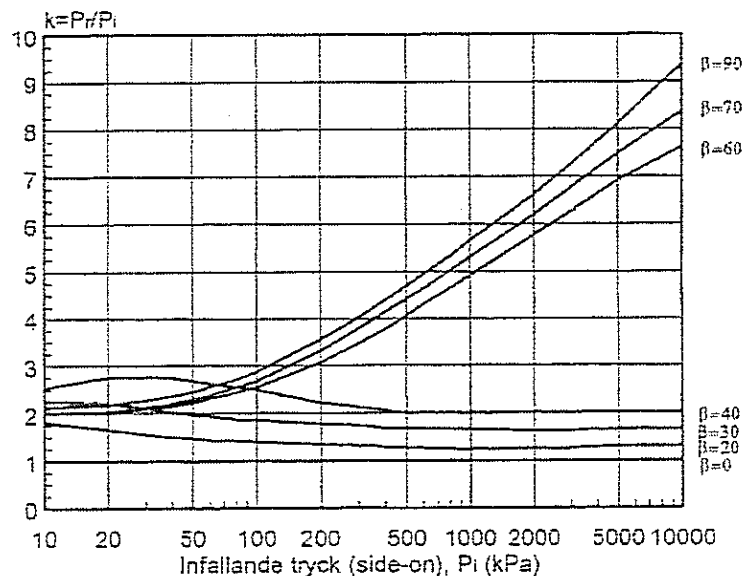
Fischer, S. m.fl., *Vådautsläpp av brandfarliga och giftiga gaser och vätskor. Metoder för bedömning av risker*. Försvarets Forskningsanstalt, Stockholm, 1998.

Om inget annat anges kommer beräkningsmetodik och ekvationer från ovanstående referens.

#### D.1.1 Detonation

Beräkning av tryckverkan vid detonation av explosivämne i ADR-klass 1 och ADR-klass 5 utförs enligt nedanstående metodik<sup>20</sup>:

- ◆ Inledningsvis beräknas laddningsvikten, vilken är en statistisk fördelning relaterat till förekommande transporter av farligt gods. Laddningsvikten ökas 1,8 gånger för att ta hänsyn till att explosionen sker nära mark (och ej fritt i luften).
- ◆ Det skalade avståndet ( $r/Q^{1/3}$ ) beräknas där  $r$  är avståndet till laddningen och  $Q$  är den omräknade laddningsvikten.
- ◆ Med hjälp av information i Figur 6 kan det infallande fria trycket på ett givet avstånd beräknas. Det fria trycket används sedan för att uppskatta skador på människor och egendom.



Figur 6. Maximalt övertryck respektive kvot mellan reflekterat- och infallande tryck där  $\beta = 90$  innebär vinkelrätt tryckinfall (dimensionerande värde).

<sup>20</sup> Fischer, S. m.fl., *Vådautsläpp av brandfarliga och giftiga gaser och vätskor. Metoder för bedömning av risker*. Försvarets Forskningsanstalt, Stockholm, 1998.



### D.1.2 Avdunstning

Massflödet vid avdunstning behöver bedömas för att kunna uppskatta effekterna av spridning i luft vid utsläpp av giftig brandfarlig vätska i ADR-klass 3. Massflödet beror på karakteristiska för utsläppt ämne (ångtryck, densitet, molekylvikt), vind samt utsläppets area. Beräkningen av massflödet görs genom att utnyttja det dimensionslösa masstransporttalet  $B$  med ekvationer<sup>21</sup> enligt nedan. Traditionellt används alternativa metoder inom andra ingenjörsvetenskapsdiscipliner, men jämförande beräkningar visar att de olika metoderna överensstämmer väl<sup>21</sup>. Nedanstående ekvationer gäller för vätskor vars kokpunkt är högre än omgivningens temperatur.

$$Y_{FW} = \frac{1}{\left[1 + \left[\left(\frac{p}{p_F}\right) - 1\right] \left(\frac{M_{luft}}{M_F}\right)\right]} \quad (1)$$

$$B = \frac{(Y_{E_s} - Y_{FW})}{(Y_{FW} - Y_{FR})} \quad (2)$$

$$Re = u \cdot D_{eq} / \nu \quad (3)$$

$$Nu = 0,037 \cdot Re^{4/5} \cdot Pr_{luft}^{1/3} \quad (4)$$

$$h = Nu \cdot k_{luft} / D_{eq} \quad (5)$$

$$Q'' = \frac{(h / C_{P_{luft}}) \cdot \ln(1 + B)}{1000} \quad (6)$$

$$Q = Q'' \cdot A \quad (7)$$

$$D_{eq} = \sqrt{\frac{4A}{\pi}} \quad (8)$$

där

$Y_{FW}$  = Massfraktion bränsle vid ytan i gasfas.

$Y_{E_s}$  = Massfraktion bränsle i luften ovanför bränsleytan.

$Y_{FR}$  = Massfraktion bränsle i vätskeföskan.

$p$  = Lufttryck = 101,3 kPa.

$p_F$  = Ångtryck för bränsle i kPa.

$M_{luft}$  = Molekylvikt för luft = 28,85 g/mol.

$M_F$  = Molekylvikt för bränsle i g/mol.

$B$  = Dimensionslöst masstransporttal.

$Re$  = Reynolds tal, dimensionslöst.

$Nu$  = Nusselts tal, dimensionslöst.

---

<sup>21</sup> Andersson, B., *Introduktion till konsekvensberäkningar, några förenklade typfall*, Institutionen för Brandteknik, Lunds universitet, Lund, 1992.



- $Pr_{luft}$  = Prandtl's tal för luft, dimensionslöst = 0,71.  
 $u$  = Vindhastighet, m/s.  
 $D_{eq}$  = Pölens ekvivalenta diameter<sup>22</sup>, m.  
 $A$  = Pölens area, m.  
 $\nu$  = Kinematisk viskositet för luft =  $15,08 \cdot 10^{-6}$  m<sup>2</sup>/s.  
 $h$  = Konvektiv värmeövergångstal, W/m<sup>2</sup>K.  
 $k_{luft}$  = Konduktivitet för luft = 0,02568 W/mK.  
 $Q''$  = Massflöde från ytan, kg/m<sup>2</sup>s.  
 $Q$  = Massflöde från ytan, kg/s.  
 $C_{P_{luft}}$  = Värmekapacitet för luft = 1 J/gK.

Det är även möjligt att beräkna hur lång tid det tar för hela pölen att förångas. Förångningshastigheten (massflödet) används sedan som indata till spridningsmodellen. Om den avdunstande vätskan antänds gäller inte denna modell, utan modellen för beräkning av konsekvensen av en pölbrand (se avsnitt D.1.7).

### D.1.3 Utströmning av gas (i vätskefas)

Vid utsläpp av tryckkondenserade gaser krävs kännedom om källstyrka (kg/s) och den initiala spridningsmodellen vilken är en så kallad turbulent jet (fri cirkulär jet i medvind).

$$Q = C_d A \sqrt{\frac{2(P_0 - P_a)}{v_f}} \quad (9)$$

$$F = \frac{Q^2 v_f}{C_d A} \quad (10)$$

där,

- $Q$  = Massflödet, kg/s.  
 $C_d$  = Kontraktionsfaktor för vätskeutströmning.  
 $A$  = Hålstorlek, m<sup>2</sup>.  
 $P_0$  = Tanktryck, Pa.  
 $P_a$  = Atmosfärstryck, Pa.  
 $v_f$  = Specifik volym hos vätskefas, m<sup>3</sup>/kg.

---

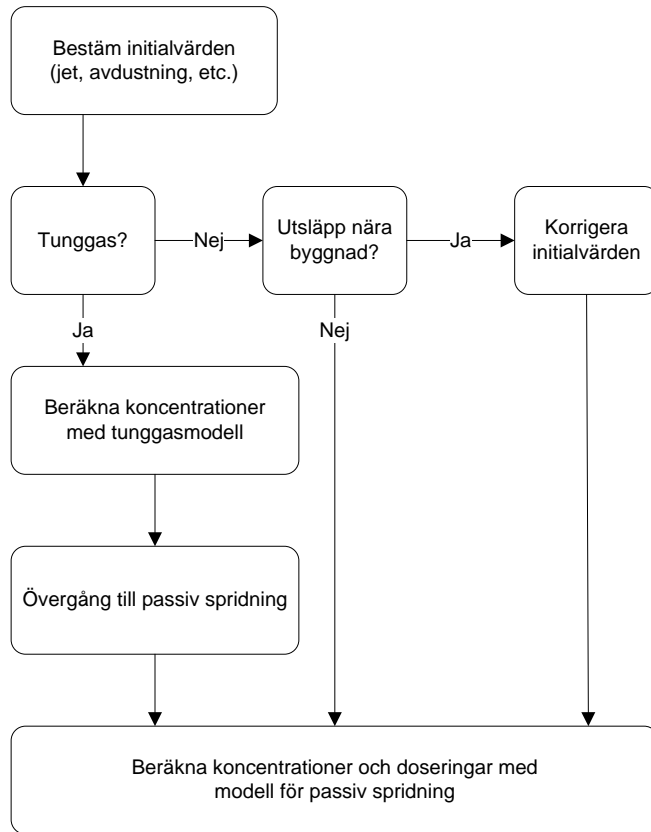
<sup>22</sup> Den ekvivalenta diametern används för att skapa en cirkel med samma area som själva vätskepölen.



$F$  = Rörelsemängdsflöde i jetstråle, N.

#### D.1.4 Spridning i luft

Följande flödesschema<sup>23</sup> för utsläpp används för att uppskatta spridning i luft:



Figur 7. Flödesschema<sup>23</sup> för kontinuerliga utsläpp.

##### D.1.4.1 Källmodell

Källmodellen kan antingen vara modellen för avdunstning i avsnitt D.1.2 eller modellen för bestämning av källstyrka vid utsläpp av tryckkondenserade gaser i avsnitt D.1.3.

##### D.1.4.1.1 Bestäm initialvärden

Värden för den initiala utspädningsprocessen<sup>23</sup> bestäms med följande ekvationer:

*Avdunstning*

= 0 i pölens kant uppströms i vindriktningen

$$\sigma_{y0} = 0,25 \cdot D_{eq} \quad (11)$$

$$\sigma_{z0} = 0,05 \cdot D_{eq} \quad (12)$$

där

<sup>23</sup> Fischer, S. m.fl., *Vådautsläpp av brandfarliga och giftiga gaser och vätskor. Metoder för bedömning av risker.* Försvarets Forskningsanstalt, Stockholm, 1998.



$\sigma_{y0}, \sigma_{z0}$  = Initiala utspädningskoefficienter i y- respektive z-led.

### Tryckkondenserad gas

Utströmning av tryckkondenserad gas sker med en så kallad turbulent jet för vilken följande initiala dimensionsmått erhålls:

$$\sigma_{y0} = \sigma_{z0} = 0,44R(x_{tr}) \quad (13)$$

#### D.1.4.1.2 Tunggas?

Nästa steg blir att avgöra om det finns ett tunggassteg eller inte vid beräkning av koncentrationer. Om tunggassteget inte existerar kan modellen för passiv spridning användas direkt. Tunggaseffekterna är försumbara när molnets tillväxt i sidled nått ner till samma värde som för passiv spridning. Detta kan uttryckas som ett avståndsvillkor för tunggasmodellens giltighet:

$$x \leq \frac{0,037L_b}{(\sigma'_{yp})^3} - \frac{\sigma_{y0}^{3/2}}{0,35L_b^{1/2}} = x_{\max} \quad (14)$$

$$\sigma'_{yp} = \beta \left( \frac{z_0}{z_{03}} \right)^{0,2} \quad (15)$$

$$L_b = g \left( 1 - \frac{M_{luft}}{M_{F_{eff}}} \right) \cdot \frac{Q}{\rho_a u^3} \quad (16)$$

$$M_{F_{eff}} = M_F \left[ 1 + \frac{c_{pg}(T_a - T_{g0})}{c_{pa}T_a} \right] \quad (17)$$

där

$T_{g0}$  = Gasens temperatur före luftinblandning, K

Eftersom gasens temperatur innan inblandning av luft är densamma som efter luftinblandning är  $M_{F_{eff}} = M_F$ . Tunggasmodellen ska tillämpas i intervallet  $0 \leq x \leq x_{\max}$  varefter en övergång till modell för passiv spridning ska göras. Om  $x_{\max}$  är mindre än noll så ska tunggasmodellen överhuvudtaget inte användas.

#### D.1.4.1.3 Beräkning av koncentrationer med tunggasmodell

I intervallet  $0 \leq x \leq x_{\max}$  har plymen en maximal koncentration i vindriktningen enligt nedanstående ekvation.

$$X_{\max}(x) = X(x, 0, 0) = \frac{85Q \cdot K_r^{-1} \cdot K_s}{\left( x + \sqrt{85\pi \cdot K_r^{-1} \cdot K_s \cdot \sigma_{z0} \cdot \sigma_{y0}} \right)^2 \cdot u} \quad (18)$$

$$K_r = \left( \frac{z_0}{z_{01}} \right)^{0,2} \quad (19)$$

där



$X_{\max}$  = Maximal koncentration i vindriktningen,  $\text{kg/m}^3$ .

$K_r$  = Korrektionsfaktor för skrovlighet (ytråhet).

$K_s$  = Korrektionsfaktor för atmosfärsstabilitet.

$z_{01}$  = Referenslängd för skrovlighet (ytråhet) = 0,01 m.

Plymens bredd- och höjdmått beräknas med följande ekvationer.

$$\sigma_y(x) = \left[ \sigma_{y0}^{3/2} + 0,35L_b^{1/2}x \right]^{2/3} \quad (20)$$

$$\sigma_z(x) = \frac{\left( x + \sqrt{85\pi \cdot K_r^{-1} \cdot K_s \cdot \sigma_{z0} \cdot \sigma_{y0}} \right)^2}{85\pi \cdot K_r^{-1} \cdot K_s \cdot \sigma_y(x)} \quad (21)$$

där

$\sigma_y(x)$  = Standardavvikelse för masskoncentration i y-led, m.

$\sigma_z(x)$  = Standardavvikelse för masskoncentration i z-led, m.

#### **D.1.4.1.4 Övergång till passiv spridning**

Vid  $x_{\max}$  är inte längre tunggasmodellen tillämpbar. Plymen har då fått standardavvikelser enligt ekvationerna (20) och (21) med  $x = x_{\max}$  och dessa värden på  $\sigma_y$  och  $\sigma_z$  används som initiala värden ( $\sigma_{y0}$  och  $\sigma_{z0}$ ) i modellen för passiv spridning.

#### **D.1.4.1.5 Beräkning av koncentrationer med modell för passiv spridning**

För den passiva spridningsfasen rekommenderas en gaussisk spridningsmodell i stället för en mindre realistisk boxmodell. Spridningsmodellen ger koncentrationen av gas på ett givet avstånd från utsläppspunkten med hjälp av nedanstående ekvationer.

$$X(x, y, z) = \frac{Q}{2 \pi \sigma_y \sigma_z u} \exp\left(-\frac{y^2}{2\sigma_y^2}\right) \exp\left(-\frac{(z-H)^2}{2\sigma_z^2}\right) \exp\left(-\frac{(z+H)^2}{2\sigma_z^2}\right) \quad (22)$$

där

$X(x, y, z)$  = Koncentrationen på avståndet x, y och z,  $\text{kg/m}^3$ .

$Q$  = Utsläppets källstyrka,  $\text{kg/s}$ .

$\sigma_y, \sigma_z$  = Dispersionskoefficienter i sid- och höjddled

$u$  = Vindhastigheten,  $\text{m/s}$ .

$H$  = Utsläppets höjd, m

Dispersionskoefficienterna som styr spridning i sid- och höjddled beräknas enligt nedan.



$$\sigma_y = \frac{a_y (x + x_{y0})}{(1 + b_y (x + x_{y0}))^{\gamma_y}} K_{rp} K_{yt} \quad (23)$$

$$\sigma_z = \frac{a_z (x + x_{z0})}{(1 + b_z (x + x_{z0}))^{\gamma_z}} K_{rp} \quad (24)$$

där  $a$ ,  $b$ , och  $\gamma$  är parametrar som beror på rådande stabilitet;  $x_{y0}$  och  $x_{z0}$  är avstånden till så kallade virtuella källor, det vill säga de koordinatförskjutningar som är nödvändiga för att plymen ska få rätt bredd och höjd initialt.  $K_{rp}$  anger en korrigeringsfaktor för underlagets skrovlighet och  $K_{yt}$  för samplingstidens (medelvärdesbildningstidens) påverkan på den horisontella spridningen. För bebyggt område är  $K_{rp} = 1$  och  $K_{yt}$  antar ett värde på 1,0 då den önskade medelvärdesbildningstiden är densamma som medelvärdetiden (500 s).

**Tabell 10. Konstanter för olika stabilitetsklasser.**

Stabilitetsklass	$a_y$	$b_y$	$\gamma_y$	$a_z$	$b_z$	$\gamma_z$
A	0,32	0,0004	0,5	0,24	0,001	-0,5
B	0,32	0,0004	0,5	0,24	0,001	-0,5
C	0,22	0,0004	0,5	0,20	0	0
D	0,16	0,0004	0,5	0,14	0,0003	0,5
E	0,11	0,0004	0,5	0,08	0,0015	0,5
F	0,11	0,0004	0,5	0,08	0,0015	0,5

Nedanstående ekvationer används för beräkning av  $x_{y0}$  och  $x_{z0}$ .

$$x_{y0} = \frac{\left(\frac{\sigma_{y0}}{K_{rp} K_{yt}}\right)^2 b_y + \frac{\sigma_{y0}}{K_{rp} K_{yt}} \sqrt{\left(\frac{\sigma_{y0}}{K_{rp} K_{yt}}\right)^2 b_y^2 + 4a_y^2}}{2a_y^2} \quad \text{för } \gamma_y = 0,5 \quad (25)$$

$$x_{z0} = \frac{\left(\frac{\sigma_{z0}}{K_{rp}}\right)}{a_z - b_z \left(\frac{\sigma_{z0}}{K_{rp}}\right)} \quad \text{för } \gamma_z = 1 \quad (26)$$

$$x_{z0} = \frac{\left(\frac{\sigma_{z0}}{K_{rp}}\right)^2 b_z + \frac{\sigma_{z0}}{K_{rp}} \sqrt{\left(\frac{\sigma_{z0}}{K_{rp}}\right)^2 b_z^2 + 4a_z^2}}{2a_z^2} \quad \text{för } \gamma_z = 0,5 \quad (27)$$

$$x_{z0} = \frac{\sigma_{z0}}{K_{rp} a_z} \quad \text{för } \gamma_z = 0 \quad (28)$$

$$x_{z0} = \frac{\sqrt{1 + \frac{4 \frac{\sigma_{z0}}{K_{rp}} (\sqrt{2} - 1) b_z}{a_z}} - 1}{2(\sqrt{2} - 1) b_z} \quad \text{för } \gamma_z = -0,5 \quad (29)$$



$\sigma_{y0}$  och  $\sigma_{z0}$  är de initiala dispersionskoefficienterna, vilka väljs utifrån riktlinjerna i avsnitt D.1.4.1.1

### D.1.5 BLEVE

En BLEVE ger upphov till ett stort eldklot och beräknas med hjälp av nedanstående ekvationer.

$$D = 6,48m^{0,325} \quad (30)$$

$$t_{BLEVE} = 0,825m^{0,26} \quad (31)$$

$$F_{21} = \frac{D^2}{4X^2} \quad (32)$$

$$\tau = 2,02(p_w X)^{-0,09} \quad (33)$$

$$q_r = \frac{X_E m \Delta h_c}{\pi D^2 t_{BLEVE}} \quad (34)$$

$$q_x = \tau q_r F_{21} \quad (35)$$

där

$D$  = Eldklotets diameter, m.

$m$  = Utsläppt massa brännbar vätska, kg.

$t_{BLEVE}$  = Eldklotets varaktighet, s.

$F_{21}$  = Synfaktor

$X$  = Avstånd mellan eldklotets yta och mottagande föremål, m.

$\tau$  = Andel av strålningen som transmitteras genom luften.

$p_w$  = Vattens ångtryck, Pa

$q_r$  = Avgiven strålning, kW/m<sup>2</sup>.

$X_E$  = Strålningsandel.

$\Delta h_c$  = Förbränningsvärme, kJ/kg.

$q_x$  = Mottagen strålning, kW/m<sup>2</sup>.

Avståndet till 50 % dödlighet beräknas genom att bestämma det avstånd där mottagande strålning är lika med gränsvärdet för kritisk strålningspåverkan enligt avsnitt D.2.3. Sedan har eldklotets radie lagts till detta avstånd för att få en korrekt angivelse i förhållande till platsen där olyckan inträffar.

### D.1.6 Jetflamma

Jetflamman är en "svetslåga" som uppkommer vid direkt antändning av en kondenserad brandfarlig gas. Följande ekvationer används för att beräkna riskavståndet vid en jetflamma.





$$R_{x,50} = 1,9t^{0,4}Q^{0,47} \quad (36)$$

där

$R_{x,50}$  = Riskavstånd till 50 % dödlighet, m.

$t$  = Exponeringstid vid strålningspåverkan, s.

$Q$  = Utsläppets källstyrka, kg/s (se avsnitt D.1.3).

### D.1.7 Pölbrand

Strålningen från en pölbrand kan beräknas med nedanstående ekvationer.

$$Q = \dot{m} \Delta h_c A_p \quad (37)$$

$$q_r = X_e Q \quad (38)$$

$$F_{12} = \frac{1}{4\pi X^2} \quad (39)$$

$$q_x = \tau q_r F_{12} \quad (40)$$

där:

$Q$  = Brandens effekt, kW.

$\dot{m}$  = Förbränningshastighet per ytenhet, kg/s/m<sup>2</sup>.

$\Delta h_c$  = Förbränningsvärme, kJ/kg.

$A_p$  = Pölens area, m<sup>2</sup>.

$q_r$  = Avgiven strålning, kW/m<sup>2</sup>.

$X_e$  = Strålningsandel.

$F_{12}$  = Synfaktor.

$X$  = Avstånd mellan eldklotets yta och mottagande föremål, m.

$q_x$  = Mottagen strålning, kW/m<sup>2</sup>.

$\tau$  = Andel av strålningen som transmitteras genom luften, se avsnitt D.1.5.

Avståndet till 50 % dödlighet beräknas genom att bestämma det avstånd där mottagande strålning är lika med gränsvärdet för kritisk strålningspåverkan enligt avsnitt D.2.3. Sedan har pölens diameter lagts till detta avstånd för att få en korrekt angivelse i förhållande till platsen där olyckan inträffar.

### D.1.8 Stänk

Frätande ämnen kan orsaka svåra skador och dödsfall om det finns personer i tankens omedelbara närhet vilka får stänk över sig. Det finns inga kvantitativa modeller för att uppskatta effekterna av stänk med frätande vätska, utan det antas att människor som befinner sig inom 10 meter från tanken utsätts för dödliga skador.



## D.2 Indata

### D.2.1 Väder- och vindförhållanden

Väder- och vindförhållanden har betydelse när konsekvenserna av utsläpp av gaser (brännbara eller giftiga) ska bedömas. I Tabell 11 redovisas de värden som använts vid konsekvensberäkningarna.

Tabell 11. Dimensionerande väder- och vindförhållanden.

Stabilitetsklass	Sannolikhet	Vindhastighet (medelvärde)
Instabil	10 %	1,7 m/s
Neutral	50 %	4,4 m/s
Stabil	40 %	2,4 m/s

### D.2.2 Ämnesspecifika data

I nedanstående tabeller ges väsentliga indata, vilka är de samma som använts i Länsstyrelsen i Skåne läns riktlinjer<sup>24</sup>. En förklaring till statistiska begrepp och sannolikhetsfördelningar ges i bilaga A.

Tabell 12. Generella indata till konsekvensberäkningarna.

Variabel	Enhet	Värde
Atmosfärstryck	[Pa]	101 325
Flödeskoefficient	[-]	Likformig (0,65; 0,80)
Höjd på vätskepelare	[m]	Likformig (1,0; 2,0)

Tabell 13. Fördelning av hålstorlek. Källstyrkan avser utsläpp av gasol.

Håltyp	Håldiameter	Källstyrka	Sannolikhet
Litet	10 mm	1 kg/s	62,5 %
Medel	30 mm	12 kg/s	20,8 %
Stort	110 mm	160 kg/s	16,7 %

Sannolikheten för de olika hålstorlekarna kommer från Räddningsverket<sup>25</sup>, medan de olika hålstorlekarna bygger på uppskattningar från bland annat Cox<sup>26</sup> och CPQRA<sup>27</sup>.

Tabell 14. Ämnesspecifika indata.

Variabel	Enhet	Propylen-oxid	Dimetyl-sulfat	Svavel-dioxid	Gasol	Bensin
Molvikt	[g/mol]	58,1	126	64	76,53	
Densitet vätska	[kg/m <sup>3</sup> ]	830	1330	1460	605	750
Utsläppt mängd	[ton]	15-25	15-25	15-25	15-25	15-25
Förbränningsvärme	[kJ/kg]	34 845	-	-	46 000	45 000
Strålningsandel	[-]	0,30	-	-	0,30	0,30

<sup>24</sup> Länsstyrelsen i Skåne län, *Riktlinjer för riskhänsyn i samhällsplaneringen – bebyggelseplanering intill väg och järnväg med transport av farligt gods*, Rapport "Skåne i utveckling", 2007:06.

<sup>25</sup> Räddningsverket, *Farligt Gods – riskbedömning vid transport. Handbok för riskbedömning av transporter med farligt gods på väg eller järnväg*, 1996.

<sup>26</sup> Cox, A.W., Lees, F.P., Ang, M.L., *Classification of Hazardous Locations*, ISBN 0-85295-258-9, Institution of Chemical Engineers, Warwickshire 1990.

<sup>27</sup> Center for Chemical Process Safety of the American Institute of Chemical Engineers, *Guidelines for Chemical Process Quantitative Risk Analysis*, New York, 1989.



Variabel	Enhet	Propylen-oxid	Dimetyl-sulfat	Svavel-dioxid	Gasol	Bensin
Ängtryck	[kPa]	60	0,067		833	
Kokpunkt	[°C]	34	188			
Tanktryck	[kPa]			230	535	
Förbränningshastighet	[m/s]					0,0001
Förbränningshastighet	[kg/m <sup>2</sup> /s]					0,048

Trotyl, vilket är det representativa ämnet för explosioner i klass 1 och klass 5 har ett värmevärde på 4,2 MJ/kg och den massa som deltar i explosionen är hämtad från HMSO<sup>28</sup> och antar en fördelning enligt Tabell 15 nedan.

**Tabell 15. Massa som deltar i explosion i klass 1.**

Massa, kg	Ack. sannolikhet	Massa, kg	Ack. sannolikhet
50	1,1 %	1 047	21,4 %
61	1,2 %	1 095	22,3 %
126	1,2 %	1 778	86,5 %
204	3,8 %	2 399	86,8 %
316	20,8 %	16 000	100,0 %
562	21,3 %		

Vid en olycka med klass 5 kan lasten blandas med fordonets egna drivmedel, vilket antas ha ett medelvärde på 400 kg och ett minsta respektive ett största värde på 100 respektive 500 kg. En explosiv oxidator-bränsleblandning innehåller cirka 13 % bränsle, vilket för 400 kg drivmedel ger  $400/0,13 = 3\,080$  kg explosiv blandning<sup>29</sup>.

### D.2.3 Skadekriterier

Risken analysen berör skador på människor och de skadekriterier för exponering av giftiga gaser, värmestrålning och tryck som används redovisas i Tabell 16 nedan. Skadekriterierna representerar LC<sub>50</sub>-värden, det vill säga den koncentration där 50 % av en population förväntas omkomma, vilka beräknats med probitfunktion för angiven exponeringstid.

**Tabell 16. Skadekriterier för giftiga gaser, värmestrålning<sup>30</sup> och tryck.**

Skadeverkan	Kritisk påverkan
Explosion – tryck <sup>31</sup>	260 kPa
Explosion – värmestrålning <sup>32</sup>	43 kW/m <sup>2</sup>
Värmestrålning – BLEVE <sup>32</sup>	31 kW/m <sup>2</sup>
Värmestrålning – brandfarliga varor <sup>32</sup>	14 kW/m <sup>2</sup>

<sup>28</sup> HMSO, *Major hazard aspects of the transport of dangerous substances – report and appendices*, Advisory Committee on Dangerous Substances, Health & Safety Commission, London, 1991.

<sup>29</sup> Stadsbyggnadskontoret i Göteborg. *Översiktsplan för Göteborg - Fördjupad för sektorn transporter av farligt gods*, Bilaga 2, 1997.

<sup>30</sup> Strålningsnivåerna gäller oskyddad hud och någon skyddseffekt av kläder har inte tagits hänsyn till vid beräkning av skadekriterierna.

<sup>31</sup> HMSO, *Major hazard aspects of the transport of dangerous substances – report and appendices*, Advisory Committee on Dangerous Substances, Health & Safety Commission, London, 1991.

<sup>32</sup> Eldklotets varaktighet för explosion är cirka 7 sekunder och för BLEVE cirka 11 sekunder. För värmestrålning från pölbränder gäller en exponeringstid på 30 s. Beräkningar av kritisk strålning sker enligt metodik redovisas i "CPR 16E, *Methods for the determination of possible damage*. Committee for the prevention of disasters, The Netherlands, 1992".



Skadeverkan	Kritisk påverkan
Toxicitet – giftig gas <sup>33</sup>	2 200 mg/m <sup>3</sup> (860 ppm)
Toxicitet – lättflyktig, giftig vätska <sup>34</sup>	4 900 mg/m <sup>3</sup> (2 000 ppm)
Toxicitet – giftig vätska <sup>35</sup>	186 mg/m <sup>3</sup> (35 ppm)

## D.3 Resultat

Modeller, indata, skadekriterier samt väder- och vindförhållanden används för att beräkna konsekvensen av ett utsläpp. Konsekvensen antas inträffa i det område där koncentrationen, trycket eller värmestrålningen överskrider ett visst gränsvärde för dödlighet. Gränsvärdet för dödlighet bestäms av den påverkan som bedöms orsaka en dödlighet på 50 % av en population. För att avgöra vid vilket avstånd detta inträffar översätts 50 % dödlighet med hjälp av så kallade probitfunktioner till en fysikalisk parameter (toxisk koncentration (LC<sub>50</sub>) eller kritisk värmestrålning).

Ytterligare en förenkling är nödvändig för att kunna genomföra beräkningarna. Det ansätts att inom området 100 till 50 % dödlighet omkommer alla människor och i området 50 till 0 % omkommer ingen. Denna förenkling är nödvändig för att kunna ta fram de olika riskmåten. Vid en verklig olycka kan människor som befinner sig inom riskområdet komma att överleva samtidigt som människor utanför kan omkomma. Användningen av 50 % dödlighet skall därför ses som ett genomsnitt och följer principerna i CPQRA<sup>36</sup>. Ytterligare en nödvändig förenkling är att förutsätta att samtliga personer befinner sig oskyddade, i fri siktlinje med olycksplatsen. Då flertalet av variablerna beskrivs med sannolikhetsfördelningar i stället för punktvärden, utgör också resultatet statistiska fördelningar.

### D.3.1 Konsekvensområde, enbart skyddsavstånd

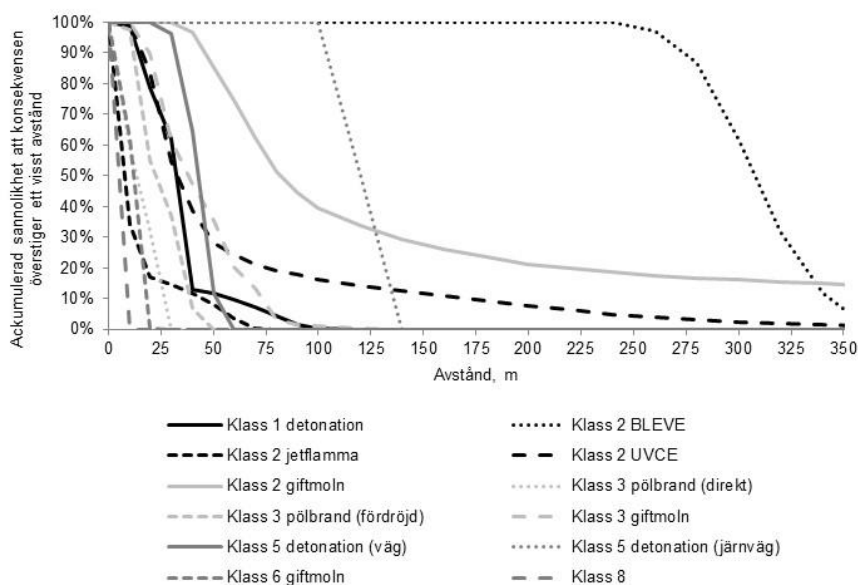
I Figur 8 visas konsekvensområdet i form av en statistisk fördelning när olyckans utbredning inte påverkas av någon säkerhetshöjande åtgärd.

<sup>33</sup> Representeras av svaveldioxid, 30 minuters exponering.

<sup>34</sup> Representeras av propylenoxid, 30 minuters exponering.

<sup>35</sup> Representeras av dimetylsulfat, 30 minuters exponering (TEEL-3).

<sup>36</sup> CPQRA, *Guidelines for Chemical Process Quantitative Risk Analysis*. Center for Chemical Process Safety of the American Institute of Chemical Engineers, New York, 1989.



**Figur 8. Konsekvensområde vid olycka med farligt gods. Figuren visar en fördelning av konsekvensområdet vid olyckor av en viss typ. Exempelvis ger en BLEVE alltid ett skadeutfall som överstiger 240 meter och 10 % av olyckorna som orsakar en BLEVE når 340 meter eller längre.**

Informationen i Figur 8 kan översättas till ett medelvärde för olyckan samt med ett konfidensintervall, inom vilket det är 95 % säkerhet att konsekvens inträffar. I Tabell 17 redovisas dessa värden.

**Tabell 17. Medelvärde, samt en bedömning av konfidensintervallets övre gräns för de olika olycksscenariernas utbredning.**

Scenario	Riskområde i meter	
	50 %	95 %
Klass 1 detonation → tryck	40	80
Klass 2 BLEVE → brännskada	300	330
Klass 2 jetflamma → brännskada	5	60
Klass 2 UVCE → brännskada	30	240
Klass 2 giftmoln → förgiftning	90	1000
Klass 3 pölbrand (direkt) → brännskada	10	30
Klass 3 pölbrand (fördröjd) → brännskada	20	40
Klass 3 giftmoln → förgiftning	40	90
Klass 5 detonation → tryck	30	50
Klass 6 giftmoln → förgiftning	5	10
Klass 8 → frätskada	5	10

Syftet med Tabell 17 är endast att beskriva spridningen i konsekvensens utbredning på ett tydligare sätt. Störst avvikelse från medelvärdet (50 %) har olyckor som medför spridning till luft (UVCE och giftmoln). Detta beror på att koncentrationen i en given punkt kan variera mycket beroende på källstyrka, vindhastighet och atmosfärförhållanden. I riskanalysmodellen används sannolikhetsfördelningen för respektive scenario, vilken redovisas i Tabell 18. Notera att en sannolikhetsfördelning är en typ av histogram som visar hur stor andel av utfallen som hamnar i ett speciellt intervall. Sannolikhetsfördelningen indikerar variabelns minimi-, maximi- och medelvärde på ett tydligt sätt.



Tabell 18. Sannolikhetsfördelning för respektive olycksscenario.

Avstånd	Klass 1, detonation	Klass 2, BLEVE	Klass 2, jetflamma	Klass 2, UVCE	Klass 2, giftmoln	Klass 3, pölbrand (direkt)	Klass 3, pölbrand (fördröjd)	Klass 3, giftmoln	Klass 5, detonation	Klass 6, giftmoln	Klass 8, frätskada
5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8,4%	-
10	1,2%	-	65,7%	-	-	40,8%	2,4%	-	-	29,8%	100,0%
15	0,0%	-	8,2%	1,0%	-	10,0%	37,5%	0,2%	-	34,3%	-
20	20,0%	-	9,1%	7,3%	-	16,9%	5,1%	1,5%	-	27,2%	-
25	0,2%	-	1,3%	19,2%	-	24,7%	7,6%	6,3%	0,0%	0,3%	-
30	16,7%	-	1,1%	17,6%	-	7,6%	10,2%	4,8%	3,7%	-	-
35	32,2%	-	1,3%	9,0%	-	0,0%	15,1%	6,1%	10,6%	-	-
40	16,6%	-	1,5%	5,9%	-	-	15,1%	3,7%	21,4%	-	-
45	0,6%	-	1,7%	6,7%	0,0%	-	6,7%	3,8%	29,3%	-	-
50	0,9%	-	2,0%	4,2%	0,3%	-	0,2%	3,3%	23,3%	-	-
55	1,0%	-	2,2%	2,5%	1,5%	-	-	4,2%	11,1%	-	-
60	1,1%	-	2,5%	1,9%	1,2%	-	-	6,9%	0,5%	-	-
65	1,2%	-	2,2%	1,6%	2,0%	-	-	7,1%	-	-	-
70	1,3%	-	1,0%	1,5%	3,7%	-	-	6,9%	-	-	-
75	1,3%	-	0,3%	1,2%	3,4%	-	-	5,7%	-	-	-
80	1,5%	-	0,0%	0,9%	2,7%	-	-	4,6%	-	-	-
85	1,4%	-	-	0,8%	2,9%	-	-	2,9%	-	-	-
90	1,2%	-	-	0,7%	2,3%	-	-	1,8%	-	-	-
95	0,7%	-	-	0,7%	2,0%	-	-	1,7%	-	-	-
100	0,7%	-	-	0,5%	2,1%	-	-	1,7%	-	-	-
110	0,2%	-	-	1,1%	4,2%	-	-	3,1%	-	-	-
120	-	-	-	1,0%	3,1%	-	-	3,0%	-	-	-
130	-	-	-	0,9%	3,8%	-	-	2,5%	-	-	-
140	-	-	-	0,8%	3,2%	-	-	2,1%	-	-	-
150	-	-	-	0,7%	3,3%	-	-	2,4%	-	-	-
160	-	-	-	0,7%	2,9%	-	-	3,1%	-	-	-
170	-	-	-	0,7%	4,2%	-	-	3,3%	-	-	-
180	-	-	-	0,8%	4,2%	-	-	3,0%	-	-	-



Avstånd	Klass 1, detonation	Klass 2, BLEVE	Klass 2, jetflamma	Klass 2, UVCE	Klass 2, giftmoln	Klass 3, pölbrand (direkt)	Klass 3, pölbrand (fördröjd)	Klass 3, giftmoln	Klass 5, detonation	Klass 6, giftmoln	Klass 8, frätskada
190	-	-	-	0,8%	4,1%	-	-	2,6%	-	-	-
200	-	-	-	0,8%	3,9%	-	-	1,6%	-	-	-
220	-	-	-	1,6%	6,6%	-	-	0,4%	-	-	-
240	-	0,0%	-	1,3%	3,8%	-	-	-	-	-	-
260	-	3,0%	-	1,2%	1,7%	-	-	-	-	-	-
280	-	10,1%	-	0,9%	1,2%	-	-	-	-	-	-
300	-	25,4%	-	0,8%	1,0%	-	-	-	-	-	-
320	-	29,5%	-	0,6%	1,0%	-	-	-	-	-	-
340	-	20,1%	-	0,5%	0,9%	-	-	-	-	-	-
360	-	10,3%	-	0,5%	0,9%	-	-	-	-	-	-
380	-	1,5%	-	0,3%	0,9%	-	-	-	-	-	-
400	-	-	-	0,2%	0,9%	-	-	-	-	-	-







## E. Risknivåer utmed transportleder för farligt gods

### E.1 Modell för beräkning av individrisk

#### E.1.1 Beskrivning

Nedan följer en översiktlig beskrivning av den metodik som används för att kombinera frekvenser och konsekvenser till ett mått på individrisken.

##### *Olyckor med farligt gods*

Frekvenserna för respektive scenario finns angivna i bilaga 0. Dessa frekvenser kombineras med sannolikhetsfördelningen för konsekvensens utbredning redovisad i bilaga D och sannolikheten att ett område påverkas från bilaga 0. Beräkningsgången exemplifieras i avsnitt E.1.2 och E.1.3.

#### E.1.2 Sannolikheten att en olycka når en viss punkt som en funktion av avståndet från transportleden

I bilaga 0 redovisas sannolikhetsfördelningar för respektive olycksscenario och samt en faktor för att korrigera olycksfrekvensen per km till den faktiska påverkan på ett visst avstånd från transportleden. Denna information kombineras genom korsvis multiplikation för att ta fram en sannolikhetsfördelning som en funktion av avståndet från transportleden. Nedan visas ett exempel på beräkning avseende transport av explosivämnen i ADR-klass 1, se Figur 9.

De två översta matriserna hämtas ur bilaga D och 0. Den nedersta matrisen skapas genom att multiplicera de med varandra. För överblickbarhetens skull redovisas endast studerade avstånd 0–120 meter. Naturligtvis sker den korsvisa multiplikationen för alla avstånd mellan 0 till 1000 meter som redovisas i tabellerna. Slutligen summeras värdena i respektive kolumn i den resulterande matrisen, vilket redovisas i tabellen nedan.



Avstånd	Klass 1, detonation	Olyckan når	Avstånd som studeras					Olyckan når	Avstånd som studeras				
			0	5	10	15	20		0	5	10	15	20
0	0,0%	0	0,01	-	-	-	-	0	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
5	0,0%	5	0,02	0,02	-	-	-	5	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
10	1,2%	10	0,03	0,03	0,02	-	-	10	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
15	0,0%	15	0,04	0,04	0,03	0,03	-	15	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
20	19,9%	20	0,05	0,05	0,05	0,04	0,03	20	0,8%	0,8%	0,7%	0,5%	0,0%
25	0,2%	25	0,06	0,06	0,06	0,05	0,04	25	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
30	16,8%	30	0,07	0,07	0,07	0,06	0,06	30	1,0%	1,0%	0,9%	0,9%	0,7%
35	32,0%	35	0,08	0,08	0,08	0,07	0,07	35	2,3%	2,2%	2,2%	2,0%	1,8%
40	16,6%	40	0,09	0,09	0,09	0,08	0,08	40	1,3%	1,3%	1,3%	1,2%	1,2%
45	0,7%	45	0,10	0,10	0,10	0,10	0,09	45	0,1%	0,1%	0,1%	0,1%	0,0%
50	0,8%	50	0,11	0,11	0,11	0,11	0,10	50	0,1%	0,1%	0,1%	0,1%	0,1%
55	1,0%	55	0,12	0,12	0,12	0,12	0,11	55	0,1%	0,1%	0,1%	0,1%	0,1%
60	1,1%	60	0,13	0,13	0,13	0,13	0,12	60	0,1%	0,1%	0,1%	0,1%	0,1%
65	1,2%	65	0,14	0,14	0,14	0,14	0,13	65	0,2%	0,2%	0,2%	0,2%	0,2%
70	1,3%	70	0,15	0,15	0,15	0,15	0,14	70	0,2%	0,2%	0,2%	0,2%	0,2%
75	1,4%	75	0,16	0,16	0,16	0,16	0,15	75	0,2%	0,2%	0,2%	0,2%	0,2%
80	1,5%	80	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	80	0,2%	0,2%	0,2%	0,2%	0,2%
85	1,3%	85	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	85	0,2%	0,2%	0,2%	0,2%	0,2%
90	1,2%	90	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	90	0,2%	0,2%	0,2%	0,2%	0,2%
95	0,8%	95	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	95	0,1%	0,1%	0,1%	0,1%	0,1%
100	0,7%	100	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	100	0,1%	0,1%	0,1%	0,1%	0,1%
110	0,2%	110	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	110	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
120	0,0%	120	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	120	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%

Figur 9. Exempel på beräkning av sannolikhetsfördelning avseende transport av explosivämnen i ADR-klass 1.



Tabell 20. Sannolikheten att en olycka på en sträcka av 1 km når ett visst avstånd från transportleden.

Avstånd	Klass 1, detonation	Klass 2, BLEVE	Klass 2, jetflamma	Klass 2, UVCE	Klass 2, giftmoln	Klass 3, pölbrand (direkt)	Klass 3, pölbrand (fördröjd)	Klass 3, giftmoln	Klass 5, detonation	Klass 6, giftmoln	Klass 8, frätskada
0	7,4%	63,6%	3,6%	13,2%	25,5%	3,5%	5,3%	16,6%	8,9%	2,8%	2,0%
5	7,3%	63,6%	3,4%	13,2%	25,5%	3,3%	5,1%	16,6%	8,9%	2,6%	1,7%
10	7,0%	63,6%	2,2%	12,9%	25,4%	2,4%	4,7%	16,5%	8,7%	1,7%	0,0%
15	6,6%	63,5%	1,8%	12,6%	25,4%	1,8%	3,6%	16,2%	8,4%	0,7%	0,0%
20	5,6%	63,5%	1,5%	11,9%	25,2%	1,1%	3,2%	15,9%	8,0%	0,0%	0,0%
25	5,0%	63,4%	1,4%	10,8%	25,1%	0,3%	2,5%	15,3%	7,3%	0,0%	0,0%
30	3,8%	63,3%	1,3%	9,9%	24,9%	0,0%	1,8%	14,7%	6,4%	0,0%	0,0%
35	2,3%	63,2%	1,1%	9,3%	24,7%	0,0%	1,0%	14,1%	5,1%	0,0%	0,0%
40	1,6%	63,1%	1,0%	8,8%	24,4%	0,0%	0,3%	13,5%	3,5%	0,0%	0,0%
45	1,5%	63,0%	0,8%	8,3%	24,1%	0,0%	0,0%	12,9%	1,8%	0,0%	0,0%
50	1,3%	62,7%	0,6%	8,0%	23,7%	0,0%	0,0%	12,2%	0,5%	0,0%	0,0%
55	1,2%	62,7%	0,4%	7,7%	23,3%	0,0%	0,0%	11,5%	0,0%	0,0%	0,0%
60	1,0%	62,5%	0,2%	7,5%	22,8%	0,0%	0,0%	10,6%	0,0%	0,0%	0,0%
65	0,9%	62,3%	0,1%	7,2%	22,2%	0,0%	0,0%	9,8%	0,0%	0,0%	0,0%
70	0,7%	62,0%	0,0%	7,0%	21,6%	0,0%	0,0%	9,0%	0,0%	0,0%	0,0%
75	0,5%	61,8%	0,0%	6,8%	20,9%	0,0%	0,0%	8,3%	0,0%	0,0%	0,0%
80	0,4%	61,6%	0,0%	6,7%	20,3%	0,0%	0,0%	7,7%	0,0%	0,0%	0,0%
85	0,2%	61,3%	0,0%	6,5%	19,7%	0,0%	0,0%	7,3%	0,0%	0,0%	0,0%
90	0,1%	61,0%	0,0%	6,3%	19,2%	0,0%	0,0%	6,9%	0,0%	0,0%	0,0%
95	0,1%	60,7%	0,0%	6,2%	18,6%	0,0%	0,0%	6,5%	0,0%	0,0%	0,0%
100	0,0%	60,4%	0,0%	6,0%	18,0%	0,0%	0,0%	6,2%	0,0%	0,0%	0,0%
110	0,0%	59,7%	0,0%	5,7%	16,9%	0,0%	0,0%	5,4%	0,0%	0,0%	0,0%
120	0,0%	58,9%	0,0%	5,4%	15,7%	0,0%	0,0%	4,7%	0,0%	0,0%	0,0%
130	0,0%	58,0%	0,0%	5,1%	14,5%	0,0%	0,0%	4,0%	0,0%	0,0%	0,0%





### E.1.3 Beräkning av individrisk

Individrisken beräknas med en upplösning om 5 meter, det vill säga beräknas var femte meter från väggkanten genom att multiplicera olycksfrekvensen för en olycka med en viss ADR-klass med sannolikheten för att en olycka sker på en sträcka av 1 km när ett visst avstånd. För att ta fram den sammanlagda individrisken adderas slutligen individrisken för vart olycksscenario på alla studerade avstånd och ritas ut i ett individrisk-diagram.

Nedan presenteras ett exempel på hur individriskberäkningar för ett enskilt scenario, *detonation av explosivt ämne i ADR-klass 1 (utan tvärförbindelse)*, kan se ut givet att olycksfrekvensen för scenariot är  $1,8 \times 10^{-8}$  per kilometer och år. Denna frekvens multipliceras med sannolikheten för att konsekvensen från olyckan ska nå det studerade avståndet för att få fram individrisken i punkten från vart scenario.

Tabell 21. Beräkning av individrisk för transport av explosiva ämnen i ADR-klass 1.

Avstånd, m	Sannolikhet att konsekvensen når ett visst avstånd vid olycka på en sträcka av 1 km	Storängsleden Utan tvärförbindelse
0	0,0736	1,3E-09
10	0,0701	1,3E-09
20	0,0562	1,0E-09
30	0,0380	6,9E-10
40	0,0160	2,9E-10
50	0,0133	2,4E-10
60	0,0102	1,9E-10
70	0,0068	1,2E-10
80	0,0036	6,6E-11
90	0,0013	2,4E-11
100	0,0002	3,4E-12

## E.2 Modell för beräkning av samhällsrisk

Beräkningar av samhällsrisk syftar till att försöka uppskatta skadeutfallet när en olycka väl inträffar. Skadeutfallet styrs av vilket scenario som inträffar samt hur många människor som befinner sig utomhus i anslutning till olyckan vid den aktuella tidpunkten. Samhällsriskberäkningarna kan inte göras med sådan precision att de visar på faktisk risk, utan de måste göras schablonmässigt utifrån ett antal givna förutsättningar.

### E.2.1 Indata

Modellen för beräkning av samhällsrisk är uppbyggd med en iterativ process där statistiska fördelningar används för att ta fram skadeutfallet för tänkbara olyckor. Modellen bygger på följande huvudsakliga indata.

#### Befolkningstäthet

Befolkningstätheten utmed transportleden karakteriseras med följande schablonvärden:

- ♦ Tät stadsbebyggelse – 10 000 invånare/km<sup>2</sup>.
- ♦ Stadsbebyggelse – 5 000 invånare/km<sup>2</sup>.



- ◆ Bostads- och industriområde – 2 500 invånare/km<sup>2</sup>.

Beräkningarna i denna rapport utgår utifrån tät stadsbyggelse, det vill säga där befolkningstäthet på 10 000 personer/km<sup>2</sup> har använts i beräkningarna för horisontåret 2040. Detta bedöms medföra en konservativ skattning av samhällsrisker med hänsyn till att området söder om Storängsleden består av betydligt glesare villabebyggelse.

När befolkningstätheten är känd krävs information om hur många människor som vistas utomhus under dagtid respektive på natten. En holländsk vägledning anger att 93 % befinner sig inomhus under dagtid och 99 % är inomhus på natten<sup>37</sup>. Dagtid antas råda mellan 08:00-18:30 och natt mellan 18:30-08:00. Dessa värden bedöms vara relevanta även för planområdet.

#### *Påverkansområde*

Kännedom om olyckornas utbredning i form av statistiska fördelningar används för att bestämma hur stor yta som olyckan påverkar. Det finns tre olika typer av påverkansområde:

- ◆ Cirkulär utbredning, till exempel bränder och explosioner.
- ◆ Konformad utbredning, till exempel utsläpp av giftig gas.

Påverkansområdet (m<sup>2</sup>) vid cirkulär utbredning bestäms genom att använda olyckans utbredning som radie och därefter beräkna den yta ( $A = \pi r^2$ ) som påverkas. Om det finns ett bebyggelsefritt område ska beräknat påverkansområde minskas med ytan som detta område upptar. Vid konformad utbredning beräknas konsekvensområdet på liknande sätt efter kännedom om spridningsvinkeln<sup>38</sup> ( $A = \varphi \pi r^2$ ).

### **E.2.2 Beräkning av samhällsrisk**

Beräkningen av samhällsrisk sker med hjälp av statistisk simulering där värden slumpas fram från de fördelningar som representerar indata till modellen. Modellen består av ett antal "frågor", vilka besvaras med hjälp av de fördelningar som beskriver indata, se Tabell 22. En iteration består av att samtliga frågor i Tabell 22 besvaras.

---

<sup>37</sup> TNO, *Guideline for quantitative risk assessment*, CPR 18E.

<sup>38</sup> Mer information om spridningsvinkeln ( $\varphi$ ) finns i bilaga 0.



**Tabell 22. Modell för beräkning av samhällsrisk.**

Fråga	Svarsalternativ	Kommentar
Vilken tidpunkt?	Dag Natt	Bestämmer hur många människor som är utomhus. Se bilaga E.
Vilket scenario?	Klass 1 detonation Klass 2 BLEVE Klass 2 jetflamma Klass 2 UVCE Klass 2 giftmoln Klass 3 pölbrand (direkt) Klass 3 pölbrand (fördröjd) Klass 3 giftmoln Klass 5 detonation Klass 6 giftmoln Klass 8	Se bilaga 0 för information om frekvenser.
Riskområde?	0 - 1 000 m	Bestämmer hur långt från olycksplatsen som dödsfall kan inträffa. Information finns i bilaga D.
Påverkansområde?	Cirkulärt Konformat	Avgör hur stor yta som påverkas av olyckan. Se bilaga E.

Efter en iteration finns således information om hur befolkningstätheten i anslutning till olyckan samt hur stort påverkansområde som olyckan har. Därmed är det möjligt att beräkna antalet omkomna med följande uttryck.

$$\text{Antal döda} = \text{Befolkningstäthet (pers / km}^2\text{)} \cdot \text{Påverkansområde (km}^2\text{)}$$

Antalet iterationer (upprepningar) är högt (1 000 000) för att säkerställa att alla möjliga kombinationer av olycksscenarioer, tidpunkter och olycksplacering kommer med i resultatet. För varje iteration sparas information om "antal döda" och när simuleringen är klar kan en statistisk fördelning för antalet döda tas fram. Denna fördelning används sedan tillsammans med frekvensen för olycka för att plotta en så kallad FN-kurva.

Notera att varje gång som påverkansområdet antar ett positivt värde, det vill säga då riskområdet är större än det bebyggelsefria avståndet antas att minst 1 människa omkommer. Konsekvensen (antal döda) avrundas alltid uppåt till närmsta heltal. Detta ger en viss överskattning av samhällsrisk för  $N = 1$ , men samtidigt finns det inget enkelt sätt att avgöra om det finns minst en människa i påverkansområdet. Därför måste det förutsättas att så är fallet.

Samtliga personer som vistas utomhus inom påverkansområdet antas omkomma. För personer som befinner sig inomhus omkommer en viss andel av personerna. I



Tabell 23 redovisas de bedömningar som använts för att uppskatta andelen omkomna inomhus<sup>39,40</sup>.

**Tabell 23. Andel av personer inomhus som omkommer vid viss skadeverkan.**

<b>Skadeverkan</b>	<b>Andel inomhus som omkommer</b>
Tryckskada	50 %
Brännskada (pölbrand)	0 %
Brännskada (övrigt)	5 %
Förgiftning	10 %
Frätskada	0 %

Samhällsriskberäkningar utförs utan hänsyn till andra säkerhetshöjande åtgärder än själva skyddsavståndet.

---

<sup>39</sup> TNO, *Guideline for quantitative risk assessment*, CPR 18E.

<sup>40</sup> Stadsbyggnadskontoret i Göteborg. *Översiktsplan för Göteborg - Fördjupad för sektorn transporter av farligt gods*, Bilagor 1-5. 1997.





## F. Känslighetsanalys

Riskanalysen utförs med en analysteknik som bygger på en omfattande och detaljerad hantering av den variation och osäkerhet som kan förknippas med riskbedömningar. Metodiken följer det arbetssätt som använts för underlaget till Länsstyrelsens i Skåne läns riktlinjer (RIKTSAM)<sup>41</sup> och i de fall där specifika indata saknas har värden, fördelningar och annan betydelsefull information hämtats från RIKTSAM.

### F.1 Olycksfrekvenser

#### F.1.1 Trafikeringsalternativ

Riskbedömningen utgår från prognoserade trafikmängder för år 2040 från underlag till närliggande detaljplanearbete. Eftersom prognosen gjorts både med och utan hänsyn till inverkan från Tvärförbindelse Södertörn har någon ytterligare ökning inte bedömts vara motiverad.

#### F.1.2 Uppdelning i olika ADR-klasser

Det finns olika källor som kan användas för att kartlägga transporter av farligt gods. Den första källan är nationell statistik som publiceras årligen och den andra källan är en undersökning som gjorts av Räddningsverket (nuvarande Myndigheten för samhällsskydd och beredskap) för det 4:e kvartalet år 1998 samt september månad 2006. Kartläggningarna av Räddningsverket bedöms ha för svag precision för att kunna användas i riskbedömningen. Därför använder riskanalysen nationell statistik för att dela upp det farliga godset i olika ADR-klasser.

För att kunna bedöma risknivåerna krävs ytterligare information om fördelning av farligt gods inom respektive ADR-klass. Det är exempelvis nödvändigt att känna till andelen massexplösiva varor, andelen giftiga och brandfarliga gaser. Denna information bygger på den uppdelning som finns redovisad i Länsstyrelsen i Skåne läns riktlinjer.

## F.2 Konsekvenser av olyckor med farligt gods

### F.2.1 Beräkningsmodeller

Modellerna som används för att beräkna konsekvenser av olyckor bygger i huvudsak på information som finns tillgänglig i den så kallade FOA-handboken<sup>42</sup>. I stort är det samma modeller som Länsstyrelsen i Skåne läns "RIKTSAM"<sup>43</sup> bygger på, med undantag av vissa förbättringar. Bland annat modelleras utsläpp av giftiga gaser med

---

<sup>41</sup> Länsstyrelsen i Skåne län, *Riktlinjer för riskhänsyn i samhällsplaneringen – bebyggelseplanering intill väg och järnväg med transport av farligt gods*, Rapport "Skåne i utveckling", 2007:06.

<sup>42</sup> Fischer, S. m.fl., *Vådautsläpp av brandfarliga och giftiga gaser och vätskor. Metoder för bedömning av risker*. Försvarets Forskningsanstalt, Stockholm, 1997.

<sup>43</sup> Länsstyrelsen i Skåne län, *Riktlinjer för riskhänsyn i samhällsplaneringen – bebyggelseplanering intill väg och järnväg med transport av farligt gods*, Rapport "Skåne i utveckling", 2007:06.



både jet- och tunggassteg, vilket RIKTSAM inte gör. Detta ger mer realistiska (och längre) konsekvensområden i föreliggande riskanalys.

## F.2.2 Indata

Val av indata har stor betydelse för konsekvensberäkningarna och i många fall är indata förknippade med stor variation eller osäkerhet. Indata där variationen spelar roll är exempelvis väder- och vindförhållanden och indata som är förknippad med stor osäkerhet är till exempel hålstorlek vid utsläpp.

### *Väder- och vindförhållanden*

Väder- och vindförhållanden baseras på generisk statistik för Sverige. Statistiken gör det möjligt att ta fram diskreta sannolikhetsfördelningar för atmosfärens stabilitet och kontinuerliga fördelningar för vindhastigheten för respektive stabilitetsklass.

### *Generella indata och ämnesspecifika uppgifter*

Exempel på generella indata är flödeskoefficienter och höjd på vätskepelare (i tanken), samt de hålstorlekar som kan uppkomma vid en olycka. Hålstorlekarna är de samma som i RIKTSAM, med sannolikheter från VTI<sup>44</sup>:

- ♦ Litet hål (62,5 %), 10 mm diameter, 1 kg/s.
- ♦ Medelstort hål (20,8 %), 30 mm diameter, 12 kg/s.
- ♦ Stort hål (16,7 %), 110 mm diameter, 160 kg/s.

Dessa hålstorlekar är betydligt större än de som redovisas av Räddningsverket<sup>45</sup> där håldiametrar på 3, 9 respektive 31 mm används, vilket ger källstyrkor på 0,1–20 kg/s. En brittisk studie<sup>46</sup> använder 2 respektive 35 kg/s i sina beräkningar.

Konsekvensområdet för pölbränder bestäms i huvudsak av antagen hålstorlek och till viss del av antagen strålningsandel. Hålstorleken har drygt 5 gånger så stor påverkan på resultatet i jämförelse med strålningsandelen.

Det är tre variabler som har störst betydelse för konsekvensområdet för gasutsläpp som driver i väg med vinden – hålstorleken, vindhastigheten och stabilitetsklassen. Variablernas inbördes betydelse är 6,5 - 1,6 - 1, vilket innebär att det är hålstorleken som dominerar konsekvensområdets storlek. Kunskapsunderlaget för val av källstyrkor är sparsamt, men valda värden är konservativa i förhållande till andra modeller och riktlinjer.

### *Skadekriterier*

Riskanalysen berör skador på människor och använder olika skadekriterier för exponering av giftiga gaser, värmestrålning och tryck. Konsekvensområdet bestäms av avståndet från utsläppskällan till en punkt där en dödlighet på 50 % inträffar. En förenkling som görs i enlighet med metodik redovisad i CPQRA<sup>47</sup> är att anta att alla

---

<sup>44</sup> Väg- och Trafikforskningsinstitutet, *Konsekvensanalys av olika olycksscenarier vid transport av farligt gods på väg och järnväg*, rapport nr 387:4, 1994.

<sup>45</sup> Räddningsverket, *Farligt gods – riskbedömning vid transport*, 1996.

<sup>46</sup> HMSO, *Major hazard aspects of the transport of dangerous substances – report and appendices*, Advisory Committee on Dangerous Substances, Health & Safety Commission, London, 1991.

<sup>47</sup> Center for Chemical Process Safety of the American Institute of Chemical Engineers, *Guidelines for Chemical Process Quantitative Risk Analysis*, New York, 1989.



människor omkommer inom området 100 till 50 % dödlighet och i området 50 till 0 % omkommer ingen. Vid en verklig olycka kan människor som befinner sig inom konsekvensområdet överleva samtidigt som människor utanför kan omkomma. Användningen av 50 % dödlighet skall därför ses som ett genomsnitt.

Den exponering som ger 50 % dödlighet kallas även för LC<sub>50</sub>-värde. LC<sub>50</sub>-värdet kan bestämmas med kännedom om exponering och tid. CPR 18E<sup>48</sup> har använts som inspiration för de exponeringstider som används, vilka är 30 minuter för giftig gas och 30 sekunder för brännskada.

### F.3 Slutsatser

De variabler som påverkar riskbedömningen mest är utsläppets källstyrka (hålstorlek), vindhastighet och atmosfärens stabilitet. De två sistnämnda variablerna har bestämts med hjälp av generell väderstatistik och bedöms vara robusta i sammanhanget. Källstyrkan bygger på antaganden med ett relativt begränsat kunskapsunderlag. I föreliggande riskanalys används dock källstyrkor som klart överstiger värden som går att finna i andra vägledningar och rekommendationer. Rekommendationerna i rapporten bedöms vara tillräckligt robusta inte nödvändiga att justera.

---

<sup>48</sup> TNO, *Guideline for quantitative risk assessment*, CPR 18E.

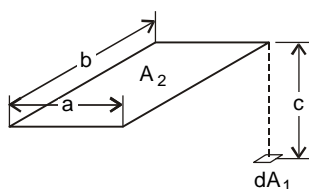


## G. Säkerhetshöjande åtgärder

### G.1 Skydd mot brandspridning

En pölbrand uppkommer vid utsläpp och antändning av brandfarliga vätskor. Strålningsvärmen från dessa bränder är intensiv samtidigt som den avtar exponentiellt med avståndet. strålningsnivån ska understiga det värde på 14 kW/m<sup>2</sup> som ger upphov till 2:a gradens brännskador respektive det värde på 15 kW/m<sup>2</sup> som ger brandspridning till byggnader<sup>49</sup>.

För att kunna bedöma på vilket avstånd som det finns risk för brandspridning görs beräkningar av värmestrålning för en dimensionerande pölbrand<sup>50</sup> på 200 m<sup>2</sup>, vilket ger en flamma som är 21 meter hög och 16 meter bred. Utgående strålning från branden är 43 kW/m<sup>2</sup> och för att brandspridning/brännskador inte ska ske måste synfaktorn understiga 0,33. Synfaktorn understiger detta värde på cirka 15 meters avstånd från branden. Beräkningarna redovisas nedan och gäller för motstående ytor (fasader parallella med spårområdet). Notera att avståndet (c) är det som söks för att synfaktorn ( $F_{d1-2}$ ) inte ska överstiga 0,33.



$$F_{d1-2} = \frac{1}{2\pi} \left[ \frac{a}{\sqrt{a^2 + c^2}} \tan^{-1} \left( \frac{b}{\sqrt{a^2 + c^2}} \right) + \frac{b}{\sqrt{b^2 + c^2}} \tan^{-1} \left( \frac{a}{\sqrt{b^2 + c^2}} \right) \right]$$

$$a/2 = 8 \text{ m}$$

$$b/2 = 10,5 \text{ m}$$

$$c = 15 \text{ m}$$

$$4 \times F_{d1-2} = 4 \times 0,079 = 0,32$$

Beräkningarna ovan visar att ett skyddsavstånd på 15 meter är tillräckligt för att undvika brandspridning och brännskador. Men, då avståndet ska mätas från pölens närmsta kant mot byggnaden uppstår några osäkerheter. Det är rimligt att anta att pölen breder ut sig mot planområdet och dess diameter är i storleksordningen 10 till 20 meter. Om byggnader inom 30 meter från transportleden skyddas mot brandspridning fås ett skydd som är tillfredsställande i de allra flest fall. Avståndet kan kortas till 20 meter om det finns en vall eller dylikt.

### G.2 Högt placerade luftintag

Många av de giftiga gaser som transporteras på väg är så kallade tunga gaser, vilket betyder att de har högre densitet än den omgivande luften och sprider ut sig längs marknivån. Efterhand som att gasmolnet blandas upp med luft minskar densiteten och till slut är densitetsskillnaden mellan omgivande luft och molnet försumbar. I avsnitt D.1.4 beskrivs flödesschemat för spridning i luft. Det så kallade tunggassteget har i 90 % av fallen en räckvidd på mindre än 200 meter, vilket medför att en

<sup>49</sup> Boverkets allmänna råd om analytisk dimensionering av brandskydd i byggnader, BBRAD3, BFS 2011:27 med ändringar t.o.m. 2013:12.

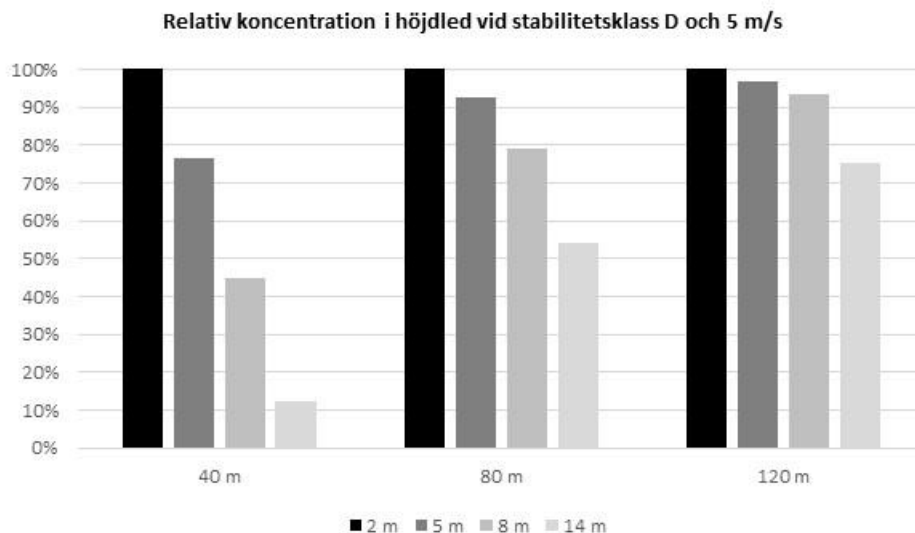
<sup>50</sup> Brandens yta på 200 m<sup>2</sup> motsvarar ytan som ett stort läckage av en hel tank, cirka 20 m<sup>3</sup>, resulterar i. Kolväten brinner med en förbränningshastighet på 0,1 kg/m<sup>2</sup>s, vilket ger en effektutveckling på cirka 370 MW för en pöl på 200 m<sup>2</sup>.



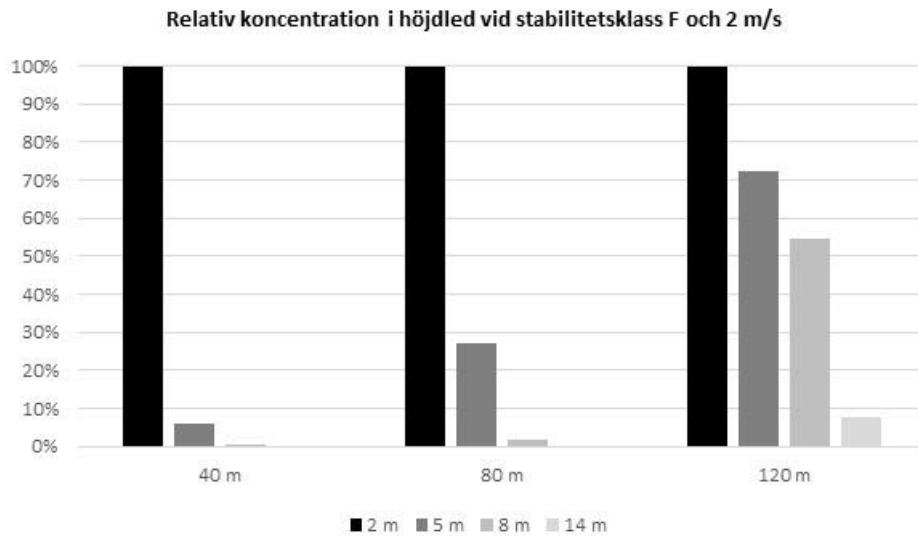
säkerhetshöjande åtgärd som högt placerade luftintag i teorin kan vara effektiv för att minska hur mycket gas som kommer in i en byggnad.

Med hjälp av modellen "Spridning Luft", version 1.4.3 tillgänglig via programpaketet RIB som ges ut av Myndigheten för samhällsskydd och beredskap, undersöks hur koncentrationen varierar i höjdlid på tre avstånd (40, 80 samt 120 meter från utsläppspunkten). Tre olika höjder studeras (2, 8 och 14 meter ovan mark), vilka är representativa för byggnader med varierande våningsantal. Beräkningarna utförs för stabilitetsklass D och en vindhastighet på 5 m/s samt för stabilitetsklass F och en vindhastighet på 2 m/s. Gasen utgörs av svaveldioxid och källstyrkan 4,0 kg/s motsvarar ett rörbrott.

Resultatet redovisas i Figur 10 och Figur 11 där koncentrationen 2 meter ovan mark utgör ett referensfall och det värde som övriga resultat normeras mot. Ett värde större än 100 % innebär att koncentrationen på den studerade höjden är högre än den för referensfallet och ett värde på mindre än 100 % innebär att koncentrationen är lägre än referensfallet.



**Figur 10. Relativ koncentration på olika höjder och olika avstånd från utsläppspunkten givet stabilitetsklass D och 5 m/s.**



**Figur 11. Relativ koncentration på olika höjder och olika avstånd från utsläppspunkten givet stabilitetsklass F och 2 m/s.**

Båda figurerna visar att högt placerade luftintag skulle ge en påtaglig minskning av koncentrationen inomhus vid ett utsläpp med giftig gas. Effekten blir större ju närmre utsläppspunkten som byggnaden är placerad och ju högre luftintaget är placerat. Men, det är framför allt aktuella väder- och vindförhållanden som styr. Vid stabil skiktning så trycks gasmolnet ner mot marken av den ovanliggande luften, vilket ger mindre utblandning i höjded. För detta fall har luftintagets placering mycket stor betydelse inom hela riskhanteringsområdet. Sammanfattningsvis ger en placering av luftintag på cirka 8 meters höjd ovan mark möjlighet till en påtaglig riskminskning.



## H. Beskrivning av ALOHA och indata till beräkningar

### H.1 ALOHA

ALOHA är ett beräkningsprogram som bland annat används för att simulera konsekvenser av kemikalieutsläpp till atmosfären. Programmet kan även modellera andra typer av olyckor, exempelvis BLEVE, jetbrand, pölbrand och gasmolnsexplosioner. Programmet tillhandahålls av EPA – United States Environmental Protection Agency, och fullständig teknisk dokumentation finns att hämta på deras hemsida<sup>51</sup>.

### H.2 Indata

#### SITE DATA:

Location: HUDDINGE, SWEDEN  
Building Air Exchanges Per Hour: 0.34 (sheltered single storied)  
Time: February 12, 2022 1128 hours ST (user specified)

#### CHEMICAL DATA:

Chemical Name: TOLUENE  
CAS Number: 108-88-3                      Molecular Weight: 92.14 g/mol  
AEGL-1 (60 min): 67 ppm   AEGL-2 (60 min): 560 ppm   AEGL-3 (60 min): 3700 ppm  
IDLH: 500 ppm   LEL: 11000 ppm   UEL: 71000 ppm  
Ambient Boiling Point: 110.6° C  
Vapor Pressure at Ambient Temperature: 0.029 atm  
Ambient Saturation Concentration: 28,968 ppm or 2.90%

#### ATMOSPHERIC DATA: (MANUAL INPUT OF DATA)

Wind: 4 meters/second from SW at 10 meters  
Ground Roughness: urban or forest   Cloud Cover: 10 tenths  
Air Temperature: 20° C                      Stability Class: D  
No Inversion Height                      Relative Humidity: 50%

#### SOURCE STRENGTH:

Direct Source: 0.057 kilograms/min   Source Height: 4 meters

---

<sup>51</sup> <https://www.epa.gov/cameo/aloha-software>



---

Release Duration: 60 minutes

Release Rate: 57 grams/min

Total Amount Released: 3.42 kilograms