



Bilagor till
Riskutredning Solna Albydal 3



Utredning i samband med planarbetet för Solna Access, Solna
kommun

2023-05-12



1. Frekvenser för olycka med farligt gods

1.1. Generella indata

1.1.1. Olycksriktning

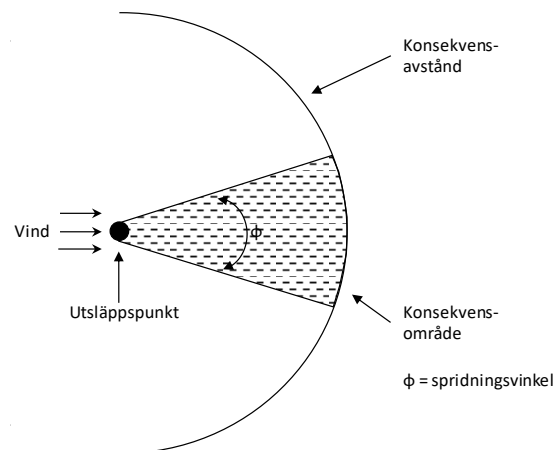
Med "olycksriktning" menas att hänsyn måste tas i vilken riktning som olyckan breder ut sig. Flertalet av scenarierna som kan inträffa är beroende av omgivningsförhållanden som vindriktning, men även olycksförloppets karakteristiska gör att den inte har en cirkulär påverkan. I Tabell 1 redovisas vilken reduktion som måste göras i samband med beräkning av risk.

Tabell 1. Korrektion för olyckans riktning.

Scenario	Beskrivning	Korrigerig
Giftmoln	Utbredning i vindriktningen ¹ (22°)	$22 / 360 = 0,061$
BLEVE	Cirkulär utbredning	1,0
UVCE	Utbredning i vindriktningen ¹ (22°)	$22 / 360 = 0,061$
Jetflamma	Riktning uppåt, mot eller bort ²	$2/3 = 0,67$
Pölbrand	Cirkulär utbredning	1,0
Frätande ämne	Riktning mot eller bort ³	$1/2 = 0,50$
Urspårning	På båda sidor om spåret	1,0

1.1.2. 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 1 visas en schematisk bild av spridningsförloppet. Spridningsvinkeln kan beräknas med en metod som visas i Figur 2.



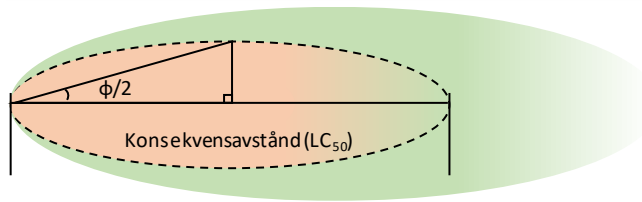
Figur 1. Illustration av konsekvensavstånd, konsekvensområde och spridningsvinkel vid spridning av giftmoln.

Vid halva avståndet till LC50 (se Figur 2) längs utsläppets centrumlinje mäts avståndet i sidled ut till samma koncentration. Denna sträcka är den motstående kateten till halva spridningsvinkeln.

¹ I avsnitt 1.1.2 redovisas hur spridningsvinkeln beräknats.

² Jetflamman antas kunna vara riktad mot området, bort från området eller uppåt. Flammor som är riktade bort från området tas inte med i analysen.

³ Utsläpp av frätande ämne antas kunna ske mot eller bort från området. Utsläpp som riktas bort tas inte med i analysen.



Figur 2. Illustration hur spridningsvinkeln kan beräknas med utgångspunkt i gasspridningsmodellen. Spridningsvinkeln har beräknats för olika väder- och vindförhållanden och redovisas i Tabell 2. Beräkningar har utförts med metodiken redovisad i bilaga 2.

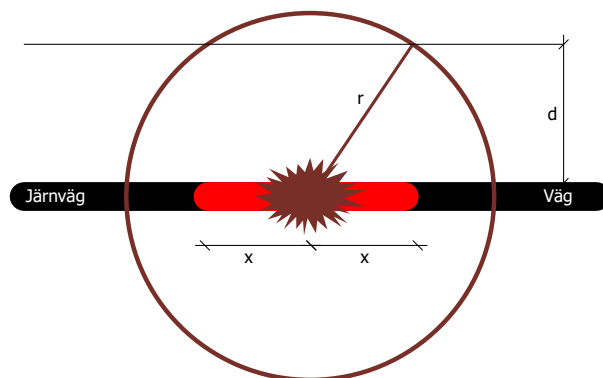
Tabell 2. Sammanställning av spridningsvinkel för olika väder- och vindförhållanden.

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 2) kan det konstateras att spridningsvinkeln kommer vara 22° eller lägre i 95 % av fallen. 22° används som dimensionerande värde i riskanalysen.

1.1.3. 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 3.



Figur 3. 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 sats⁴ kan x beräknas och sannolikheten att olyckan med utbredningen r påverkar avståndet d vid en olycksfrekvens angiven per kilometer blir således:

⁴ Pythagoras sats anger sambandet mellan sidorna i en rätvinklig triangel där kvadraten på hypotenusan är lika med summan av kvadraterna på kateterna.



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

1.2. Transportstatistik (farligt gods)

1.2.1. Uppdelning inom respektive RID-klass

Utöver uppdelningen i olika RID-klasser krävs kännedom om fördelningar inom respektive klass för att kunna göra korrekta beräkningar av risken. Exempelvis omfattar RID-klass 2 "gaser", vilka kan vara brandfarliga, giftiga eller sakna någon av dessa egenskaper. Likaså spelar det stor roll vilken av underklasserna 1.1-1.3 alternativt 1.4 som explosivämnen i RID-klass 1 tillhör. RID-klass 1.4 kan nämligen inte kan ge upphov till skador som påverkar omgivningen. Underlag redovisas i Tabell 3 och bygger på data från Länsstyrelsens i Skåne läns riktlinjer⁵ då detaljerad regional statistik inte finns att tillgå.

På Solnavägen har det antagits att endast ADR-klass 3 och ADR-klass 8 förekommer, och att det inte sker transporter av brandfarliga vätskor som även har giftiga egenskaper.

Tabell 3. Uppdelning av farligt gods inom respektive RID-klass. Klass 4, 7, 8 och 9 redovisas inte i tabellen då det inte finns någon uppdelning i underklasser inom dessa huvudklasser.

ADR/RID-klass	Underklass	Andel inom RID-klass
1	Explosivt	25 %
	Övrigt ⁶	75 %
2	Giftigt	60 %
	Brandfarligt	10 %
	Övrigt ⁶	30 %
3	Brandfarligt, ej giftigt	75 %
	Brandfarligt och giftigt	8 %
	Övrigt ⁶	17 %
5	Explosivt	5 %
	Övrigt ⁶	95 %
6	Flytande	72 %
	Övrigt ⁶	28 %

1.3. Scenarier

Nedan förtydligas huvud- och underklasser och vilka scenarier som analyseras.

Explosivämnen (ADR/RID-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.

⁵ 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.

⁶ Underklassen "Övrigt" betecknar farligt gods som inte kan utgöra en fara för omgivningen.



Gaser (ADR/RID-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. Om utsläpp av brännbara gaser sker kan följande inträffa^{7,8,9}:

- ♦ Ingen antändning, 30 %.
- ♦ UVCE, 50 %.
- ♦ BLEVE, 1 %.
- ♦ Jetflamma, 19 %.

Brandfarliga vätskor (ADR/RID-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.

Följande olyckor beaktas vid utsläpp av brandfarliga vätskor^{7,8}:

- ♦ Ingen antändning, 94 %
- ♦ Fördröjd antändning, 3 % och omedelbar antändning, 3 %

Följande olyckor beaktas vid utsläpp av brandfarliga vätskor med giftiga egenskaper^{7,8}:

- ♦ Ingen antändning med resulterande giftmoln, 94 %
- ♦ Fördröjd antändning, 3 % och omedelbar antändning, 3 %

Oxiderande ämnen och organiska peroxider (ADR/RID-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/RID-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. 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 kontakt¹⁰, givet att de oxiderande ämnen och organiska peroxider kan orsaka en explosion vid blandning med brännbar vätska.

Giftiga ämnen (ADR/RID-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.

⁷ Purdy, G., *Risk analysis of the transportation of dangerous goods by road and rail*, Journal of Hazardous Materials, 33, pp 229-259, 1993

⁸ CPQRA, *Guidelines for Chemical Process Quantitative Risk Analysis*. Center for Chemical Process Safety of the American Institute of Chemical Engineers, New York, 1989.

⁹ Fredén, S., *Modell för skattning av sannolikheten för järnvägsolyckor som drabbar omgivningen*, Rapport 2001:5, Miljösektionen, Banverket, 2001.

¹⁰ 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.



Frätande ämnen (ADR/RID-klass 8)

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

1.4. Olyckor på väg

1.4.1. Olycksfrekvens

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.

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. Antal fordon samt andelen av den tunga trafiken som framför farligt anges i huvudrapporten.

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 kan vara inblandad i en trafikolycka. Detta kan lämpligen göras med en korrigeringsfaktor redovisad i Tabell 4 och beräknad enligt nedanstående modell¹¹:

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

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

Tabell 4. 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 (1,2 olyckor per miljon fordonskilometer).

K_s = Korrigeringsfaktor för olyckor med fler än ett fordon inblandade (1,90).

¹¹ Väg- och Trafikforskningsinstitutet, *Vägtransporter med farligt gods – Farligt gods i vägtrafikolyckor*, rapport nr 387:3, 1994.



Den totala olycksfrekvensen beräknas till 2,3 olyckor per miljon fordonskilometer, och för fordon med farligt gods till $5,3 \times 10^{-4}$ olyckor per år.

1.4.2. Index för farligt godsolycka

VTI¹¹ 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 5. 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. För Solnavägen används värdet 0,03.

Tabell 5. Index för farligt godsolycka¹².

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

1.4.3. Sammanställning av frekvenser för enskilda scenarier

Informationen i avsnitt 1.1.1 samt 1.4.1 och 1.4.2 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.

T är trafikarbetet i form av fordonskilometrar per år.

$N_{\text{ADR-X}}$ är andelen av farligt gods i huvudklass ADR 1-9.

$N_{\text{ADR-X.X}}$ är andelen inom respektive ADR-klass.

$I_{\text{FaGo-olycka}}$ är index för farligt godsolycka.

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

K_{riktn} är en korrigeringsfaktor som tar hänsyn till i vilken riktning olyckan breder ut sig.

I Tabell 6 sammanställs frekvensen för respektive scenario.

Tabell 6. Frekvenser per år för respektive scenario vid vägtransport.

Scenario	Solnavägen
Klass 3 pölbrand (direkt)	2,7E-06
Klass 3 pölbrand (fördröjd)	1,3E-06
Klass 8	2,2E-06
Summa:	6,2E-06

¹² Notera att index för farligt godsolycka för hastigheter större än 80 km/h är baserade på uppgifter för landsbygd då underlag saknas för stad.



De enskilda scenariernas frekvenser i Tabell 6 är den data som frekvensmodellen lämnar över till "riskmodellen". I riskmodellen används ovanstående frekvenser tillsammans med resultatet av konsekvensberäkningarna.

1.5. Olyckor på järnväg

1.5.1. Olycksfrekvens

Fredén¹³ har utvecklat en modell för att uppskatta frekvensen för tågurspårning och kollision. Modellen bygger på trafikintensiteten ofta uttryckt i antal vagnaxelkilometer, tåghastigheten och spårkvaliteten med mera. Betydelsefulla indata redovisas i Tabell 7 nedan. Dimensionerande tågtrafik redovisas i huvudrapporten.

Tabell 7. Indata för beräkning av olycksfrekvens på järnväg.

Parameter	Ostkustbanan 10 godståg	Ostkustbanan 20 godståg	Mälärbanan anslutningsspår	Mälärbanan spår 1-4
Totalt antal tåg per år	65 883	66 795	1 825	34 949
Totalt antal vagnar per år	217 7223	240 535	45 625	114 884
Totalt antal vagnaxlar per år	469 664	549 508	159 688	246 877

I genomsnitt deltar 3,5 vagnar i en urspårning och 5,5 % av vagnarna antas medföra farligt gods. Sannolikheten att en eller flera av dessa vagnar medför farligt gods är $1 - (1 - 0,055)^{3.5} = 18\%$.

I Tabell 8 sammanställs de olika olyckstyperna, intensitetsfaktorerna, exponering och frekvens per år enligt Fredéns modell¹³.

Tabell 8. Beräkning av olycksfrekvens på järnväg.

Olyckstyp	Intensitetsfaktor
Rälsbrott	5,0E-11 / vagnaxelkm
Solkurva	1,0E-5 / spårkm
Spårlägesfel	5,9E-10 / vagnaxelkm
Växel sliten	5,0E-10 / passage
Vagnfel	3,1E-9 / vagnaxelkm
Lastförskjutning	4,0E-10 / vagnaxelkm
Annan orsak	5,7E-8 / tågkm
Okänd orsak	1,4E-7 / tågkm
Kollision i plankorsning	5,0E-8 / tågpassage

I Tabell 9 visas en sammanställning av indata till olycksfrekvenserna för Ostkustbanan. Det har antagits vara 10 växlar utmed Ostkustbanan, 2 utmed Mälärbananans anslutningsspår och 3 utmed Mälärbananans övriga spår.

Tabell 9. Sammanställning av indata olycksfrekvenser för Ostkustbanan.

Olyckstyp	Ostkustbanan 10 godståg		Ostkustbanan 20 godståg	
	Exponering	Frekvens/år	Exponering	Frekvens/år
Rälsbrott	4,7E+05	2,3E-05	5,5E+05	2,7E-05
Solkurva	1,0E+00	1,0E-05	1,0E+00	1,0E-05
Spårlägesfel	4,7E+05	4,0E-04	5,5E+05	4,4E-04
Växel sliten	1,0E+01	3,3E-03	1,0E+01	3,3E-03

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



Olyckstyp	Ostkustbanan 10 godståg		Ostkustbanan 20 godståg	
	Exponering	Frekvens/år	Exponering	Frekvens/år
Vagnfel	4,7E+05	1,5E-03	5,5E+05	1,7E-03
Lastförskjutning	4,7E+05	1,9E-04	5,5E+05	2,2E-04
Annan orsak	6,6E+04	3,8E-03	6,7E+04	3,8E-03
Okänd orsak	6,6E+04	9,2E-03	6,7E+04	9,4E-03
Kollision i plankorsning	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00

I Tabell 10 visas en sammanställning av indata till olycksfrekvenserna för Mälärbanan.

Tabell 10. Sammanställning av indata olycksfrekvenser för Mälärbanan.

Olyckstyp	Mälärbanan anslutningsspär		Mälärbanan spär 1-4	
	Exponering	Frekvens/år	Exponering	Frekvens/år
Rälsbrott	2,5E+05	1,2E-05	1,6E+05	8,0E-06
Solkurva	1,0E+00	1,0E-05	1,0E+00	1,0E-05
Spärlägesfel	2,5E+05	2,1E-04	1,6E+05	5,4E-05
Växel sliten	3,0E+00	5,2E-04	2,0E+00	1,8E-05
Vagnfel	2,5E+05	7,7E-04	1,6E+05	5,0E-04
Lastförskjutning	2,5E+05	9,9E-05	1,6E+05	6,4E-05
Annan orsak	3,5E+04	2,0E-03	1,8E+03	1,0E-04
Okänd orsak	3,5E+04	4,9E-03	1,8E+03	2,6E-04
Kollision i plankorsning	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00

I Tabell 11 visas en sammanställning av olycksfrekvenserna för urspärning för berörda järnvägsbanor.

Tabell 11. Olycksfrekvenser för urspärning.

Olycksfrekvens per år	Ostkustbanan 10 godståg	Ostkustbanan 20 godståg	Mälärbanan anslutningsspär	Mälärbanan spär 1-4
Urspärning (total)	1,8E-02	1,9E-02	1,0E-03	8,5E-03
Urspärning (persontåg)	1,8E-02	1,8E-02	0,0E+00	8,2E-03
Urspärning (godståg)	5,5E-04	1,1E-03	1,0E-03	2,6E-04
Urspärning (godståg med farligt gods)	9,8E-05	1,9E-04	1,8E-04	4,7E-05

1.5.2. Index för farligt godsolycka

Fredén anger ett index för farligt godsolycka på 0,3, vilket anger sannolikheten för utsläpp av farligt gods, givet att en järnvägsolycka inträffar när tåget framförs i den för banan eller fordonet högsta tillåtna hastigheten. Tjockväggiga tankar (RID-klass 2) har ett index för farligt godsolycka på 0,01.

Explosivämnen i RID-klass 1 kan inte hanteras på samma sätt som övrigt farligt gods. Detta beror på att 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 vagnbrand, genom kollisionsvåld eller genom defekt material/förpackning. Statistik från Storbritannien visar på en frekvens för detonation på $1,1 \cdot 10^{-9}$ per vagnkilometer¹⁴.

1.5.3. Sammanställning av frekvenser för enskilda scenarier

Informationen i avsnitt 1.1.1 samt 1.5.1 används för att beräkna frekvenserna för respektive scenario enligt nedanstående modell:

¹⁴ HMSO, *Major hazard aspects of the transport of dangerous substances – report and appendices*, Advisory Committee on Dangerous Substances, Health & Safety Commission, London, 1991.



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

där:

OF är olycksfrekvensen.

$N_{\text{RID-X}}$ är andelen av farligt gods i huvudklass RID-klass 1–9.

$N_{\text{RID-X.X}}$ är andelen inom respektive RID-klass.

$I_{\text{FaGo-olycka}}$ är index för farligt godsolycka.

$P_{\text{kons|RID-X.X}}$ är sannolikheten att ett visst scenario inträffar givet utsläpp i en specifik underklass.

K_{riktn} är en korrigeringsfaktor som tar hänsyn till i vilken riktning olyckan breder ut sig.

I Tabell 12 sammanställs frekvensen för respektive scenario.

Tabell 12. Frekvenser per år för respektive scenario vid järnvägstransport.

Scenario	Ostkustbanan 10	Ostkustbanan 20	Mälarbanan	Mälarbanan
	godståg	godståg	anslutningsspår	spår 1-4
Klass 1 detonation	3,2E-10	6,4E-10	6,4E-10	1,6E-10
Klass 2 BLEVE	3,3E-10	6,6E-10	6,1E-10	1,6E-10
Klass 2 jetflamma	4,2E-09	8,3E-09	7,7E-09	2,0E-09
Klass 2 UVCE	4,2E-09	8,3E-09	7,7E-09	2,0E-09
Klass 2 giftmoln	1,2E-08	2,4E-08	2,2E-08	5,8E-09
Klass 3 pölbrand (direkt)	1,4E-06	2,9E-06	2,7E-06	6,9E-07
Klass 3 pölbrand (fördröjd)	7,2E-07	1,4E-06	1,3E-06	3,5E-07
Klass 3 giftmoln	3,0E-08	5,9E-08	5,5E-08	1,4E-08
Klass 5 detonation	9,7E-10	1,9E-09	1,8E-09	4,6E-10
Klass 6 giftmoln	2,0E-08	4,0E-08	3,7E-08	9,7E-09
Klass 8	2,8E-06	5,5E-06	5,1E-06	1,3E-06
Summa:	5,0E-06	1,0E-05	9,3E-06	2,4E-06

De enskilda scenariernas frekvenser i Tabell 12 är den data som frekvensmodellen lämnar över till "riskmodellen". I riskmodellen används ovanstående frekvenser tillsammans med resultatet av konsekvensberäkningarna.

2. Konsekvenser av olyckor med farligt gods

2.1. 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.

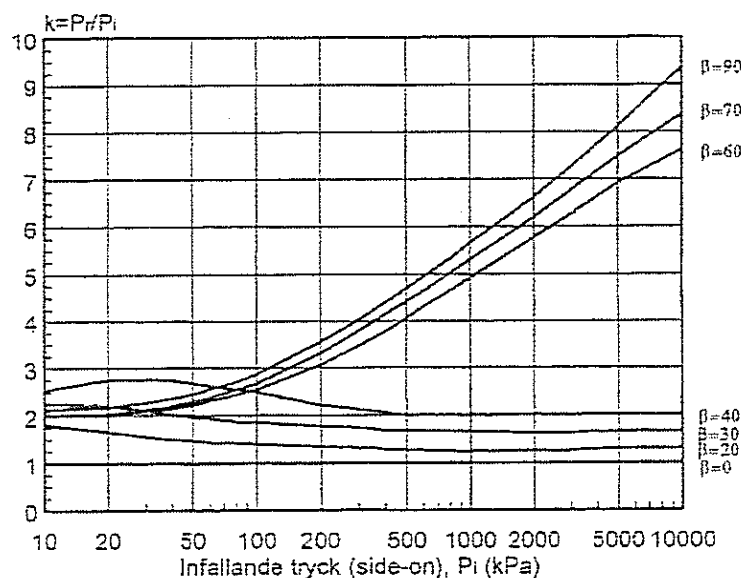
Om inget annat anges kommer beräkningsmetodik och ekvationer från ovanstående referens.



2.1.1. Detonation

Beräkning av tryckverkan vid detonation av explosivämne i RID-klass 1 och RID-klass 5 utförs enligt nedanstående metodik¹⁵:

- ◆ 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 4 kan det infallande fria trycket på ett givet avstånd beräknas. Det fria trycket används sedan för att uppskatta skador på människor och egendom.



Figur 4. Maximalt övertryck respektive kvot mellan reflekterat- och infallande tryck där $\beta = 90$ innebär vinkelrätt tryckinfall (dimensionerande värde).

2.1.2. Avdunstning

Massflödet vid avdunstning behöver bedömas för att kunna uppskatta effekterna av spridning i luft vid utsläpp av giftig brandfarlig vätska i ADR/RID-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 ekvationer¹⁶ enligt nedan. Traditionellt används alternativa metoder inom andra ingenjörsciensdiscipliner, men jämförande beräkningar visar att de olika metoderna överensstämmer väl¹⁶. Nedanstående ekvationer gäller för vätskor vars kokpunkt är högre än omgivningens temperatur.

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

¹⁵ Fischer, S. m.fl., *Vådautsläpp av brandfarliga och giftiga gaser och vätskor. Metoder för bedömning av risker*. Försvarets Forskningsanstalt, Stockholm, 1998.

¹⁶ Andersson, B., *Introduktion till konsekvensberäkningar, några förenklade typfall*, Institutionen för Brandteknik, Lunds universitet, Lund, 1992.



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

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

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

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

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

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

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

där

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

$Y_{F_{\infty}}$ = Massfraktion bränsle i luften ovanför bränsleytan.

Y_{FR} = Massfraktion bränsle i vätskepoLEN.

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.

Pr_{luft} = Prandtls tal för luft, dimensionslöst = 0,71.

u = Vindhastighet, m/s.

D_{eq} = Pölens ekvivalenta diameter¹⁷, m.

A = Pölens area, m.

ν = Kinematisk viskositet för luft = $15,08 \cdot 10^{-6}$ m²/s.

h = Konvektivt värmeövergångstal, W/m²K.

k_{luft} = Konduktivitet för luft = 0,02568 W/mK.

Q'' = Massflöde från ytan, kg/m²s.

Q = Massflöde från ytan, kg/s.

$C_{P_{luft}}$ = Värmekapacitet för luft = 1 J/gK.

¹⁷ Den ekvivalenta diametern används för att skapa en cirkel med samma area som själva vätskepoLEN.



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 avdunstade vätskan antänds gäller inte denna modell, utan modellen för beräkning av konsekvensen av en pölbrand (se avsnitt 2.1.7).

2.1.3. 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).

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

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

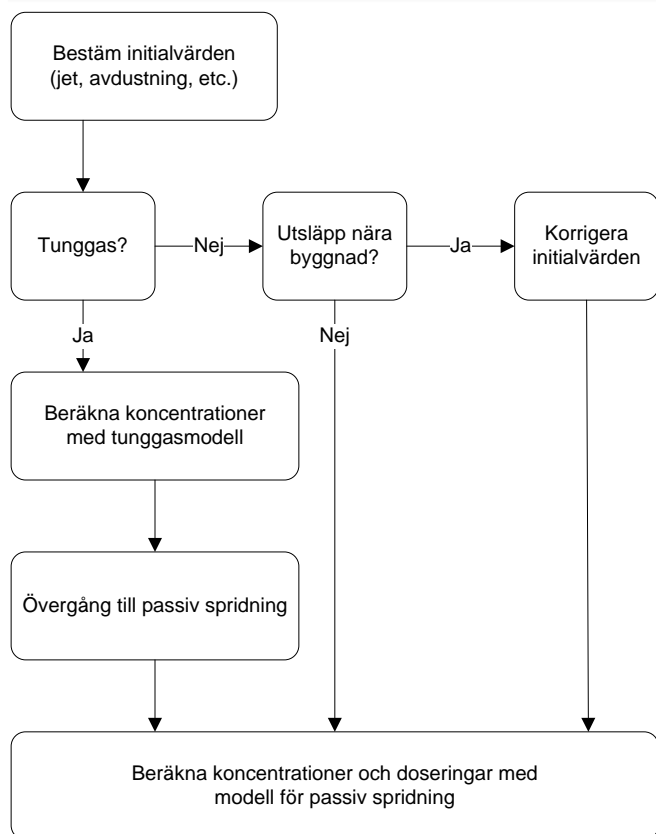
där,

- Q = Massflödet, kg/s.
- C_d = Kontraktionsfaktor för vätskeutströmning.
- A = Hålstorlek, m².
- P_0 = Tanktryck, Pa.
- P_a = Atmosfärstryck, Pa.
- v_f = Specifik volym hos vätskefas, m³/kg.
- F = Rörelsemängdsflöde i jetstråle, N.

2.1.4. Spridning i luft

Följande flödesschema¹⁸ för utsläpp används för att uppskatta spridning i luft:

¹⁸ Fischer, S. m.fl., *Vådautsläpp av brandfarliga och giftiga gaser och vätskor. Metoder för bedömning av risker*. Försvarets Forskningsanstalt, Stockholm, 1998.



Figur 5. Flödesschema¹⁸ för kontinuerliga utsläpp.

Källmodell

Källmodellen kan antingen vara modellen för avdunstning i avsnitt 2.1.2 eller modellen för bestämning av källstyrka vid utsläpp av tryckkondenserade gaser i avsnitt 2.1.3.

Bestäm initialvärden

Värden för den initiala utspädningsprocessen¹⁸ 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

σ_{y0}, σ_{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:

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

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.

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, kg/m³.

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.

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 σ_y och σ_z används som initiala värden (σ_{y0} och σ_{z0}) i modellen för passiv spridning.

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, kg/m³.

Q = Utsläppets källstyrka, kg/s.

σ_y, σ_z = Dispersionskoefficienter i sid- och höjded

u = Vindhastigheten, m/s.

H = Utsläppets höjd, m

Dispersionskoefficienterna som styr spridning i sid- och höjded 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 γ 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 korrigering 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 13. Konstanter för olika stabilitetsklasser.

Stabilitetsklass	a_y	b_y	γ_y	a_z	b_z	γ_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} .

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

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

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

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

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

σ_{y0} och σ_{z0} är de initiala dispersionskoefficienterna, vilka väljs utifrån riktlinjerna i avsnitt 0

2.1.5. 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.
τ	= Andel av strålningen som transmitteras genom luften.
p_w	= Vattens ångtryck, Pa
q_r	= Avgiven strålning, kW/m ² .
X_E	= Strålningsandel.
Δh_c	= Förbränningsvärme, kJ/kg.
q_x	= Mottagen strålning, kW/m ² .

Avståndet till 50 % dödlighet beräknas genom att bestämma det avstånd där mottagande strålning är lika med gränsvärdet för kritisk strålningspåverkan enligt avsnitt 2.2.3. Sedan har eldklotets radie lagts till detta avstånd för att få en korrekt angivelse i förhållande till platsen där olyckan inträffar.

2.1.6. 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.

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

där

$R_{s,50}$	= Riskavstånd till 50 % dödlighet, m.
t	= Exponeringstid vid strålningspåverkan, s.
Q	= Utsläppets källstyrka, kg/s (se avsnitt 2.1.3).

2.1.7. 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 ² .
Δh_c	= Förbränningsvärme, kJ/kg.
A_p	= Pölens area, m ² .
q_r	= Avgiven strålning, kW/m ² .



X_e = Strålningsandel.

F_{12} = Synfaktor.

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

q_x = Mottagen strålning, kW/m².

τ = Andel av strålningen som transmitteras genom luften, se avsnitt 2.1.5.

Avståndet till 50 % dödlighet beräknas genom att bestämma det avstånd där mottagande strålning är lika med gränsvärdet för kritisk strålningspåverkan enligt avsnitt 2.2.3. Sedan har pölens diameter lagts till detta avstånd för att få en korrekt angivelse i förhållande till platsen där olyckan inträffar.

2.1.8. 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.

2.2. Indata

2.2.1. Väder- och vindförhållanden

Väder- och vindförhållanden har betydelse när konsekvenserna av utsläpp av gaser (brännbara eller giftiga) ska bedömas. I Tabell 14 redovisas de värden som använts vid konsekvensberäkningarna.

Tabell 14. 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

2.2.2. Ämnesspecifika data

I nedanstående tabeller ges väsentliga indata, vilka är de samma som använts i Länsstyrelsen i Skåne läns riktlinjer¹⁹.

Tabell 15. 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 16. Fördelning av hålorlek. 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 %

¹⁹ 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.



Sannolikheten för de olika hålstorlekarna kommer från Räddningsverket²⁰, medan de olika hålstorlekarna bygger på uppskattningar från bland annat Cox²¹ och CPQRA²².

Tabell 17. 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 ³]	830	1330	1460	605	750
Utsläppt mängd	[ton]	15-25	15-25	15-25	15-25	15-25
Förbränningsvärme	[kJ/kg]	34845	-	-	46000	45000
Strålningsandel	[-]	0,30	-	-	0,30	0,30
Ångtryck	[kPa]	60	0,067		833	
Kokpunkt	[°C]	34	188			
Tanktryck	[kPa]			230	535	
Förbränningshastighet	[m/s]					0,0001
Förbränningshastighet	[kg/m ² /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 HMSO²³ och antar en fördelning enligt Tabell 18 nedan.

Tabell 18. 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 %		

Massan som deltar i explosionen är direkt relaterad till hur stor mängd bränsle som blandas med det oxiderande ämnet. För järnväg kan en tank med 25 ton oxiderande ämne kollidera med en vagn innehållande en stor mängd brandfarlig vätska. Den blandning som kan bildas motsvarar cirka 25 ton massexplösiv vara.

2.2.3. Skadekriterier

Risken analysen berör skador på människor och de skadekriterier för exponering av giftiga gaser, värmestrålning och tryck som används redovisas i Tabell 19 nedan. Skadekriterierna representerar LC₅₀-värden, det vill säga den koncentration där 50 % av en population förväntas omkomma, vilka beräknats med probitfunktion för angiven exponeringstid.

²⁰ Räddningsverket, *Farligt Gods – riskbedömning vid transport. Handbok för riskbedömning av transporter med farligt gods på väg eller järnväg*, 1996.

²¹ Cox, A.W., Lees, F.P., Ang, M.L., *Classification of Hazardous Locations*, ISBN 0-85295-258-9, Institution of Chemical Engineers, Warwickshire 1990.

²² Center for Chemical Process Safety of the American Institute of Chemical Engineers, *Guidelines for Chemical Process Quantitative Risk Analysis*, New York, 1989.

²³ HMSO, *Major hazard aspects of the transport of dangerous substances – report and appendices*, Advisory Committee on Dangerous Substances, Health & Safety Commission, London, 1991.



Tabell 19. Skadekriterier för giftiga gaser, värmestrålning²⁴ och tryck.

Skadeverkan	Kritisk påverkan
Explosion – tryck ²⁵	260 kPa
Explosion – värmestrålning ²⁶	43 kW/m ²
Värmestrålning – BLEVE ²⁶	31 kW/m ²
Värmestrålning – brandfarliga varor ²⁶	14 kW/m ²
Toxicitet – giftig gas ²⁷	2 200 mg/m ³ (860 ppm)
Toxicitet – lättflyktig, giftig vätska ²⁸	4 900 mg/m ³ (2 000 ppm)
Toxicitet – giftig vätska ²⁹	186 mg/m ³ (35 ppm)

2.3. 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 (LC₅₀) 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 riskmått. 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 CPQRA³⁰. 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.

2.3.1. Konsekvensområde, enbart skyddsavstånd

I Figur 6 visas konsekvensområdet i form av en statistisk fördelning när olyckans utbredning inte påverkas av någon säkerhetshöjande åtgärd.

²⁴ Strålningsnivåerna gäller oskyddad hud och någon skyddseffekt av kläder har inte tagits hänsyn till vid beräkning av skadekriterierna.

²⁵ HMSO, *Major hazard aspects of the transport of dangerous substances – report and appendices*, Advisory Committee on Dangerous Substances, Health & Safety Commission, London, 1991.

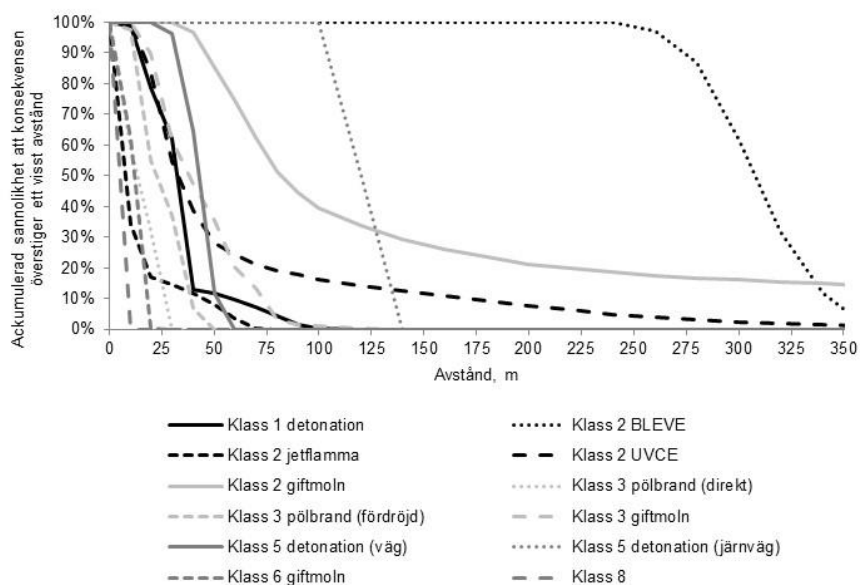
²⁶ Eldklotets varaktighet för explosion är cirka 7 sekunder och för BLEVE cirka 11 sekunder. För värmestrålning från pölbränder gäller en exponeringstid på 30 s. Beräkningar av kritisk strålning sker enligt metodik redovisas i "CPR 16E, *Methods for the determination of possible damage*. Committee for the prevention of disasters, The Netherlands, 1992".

²⁷ Representeras av svaveldioxid, 30 minuters exponering.

²⁸ Representeras av propylenoxid, 30 minuters exponering.

²⁹ Representeras av dimetylsulfat, 30 minuters exponering (TEEL-3).

³⁰ CPQRA, *Guidelines for Chemical Process Quantitative Risk Analysis*. Center for Chemical Process Safety of the American Institute of Chemical Engineers, New York, 1989.



Figur 6. 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 6 kan översättas till ett medelvärde för olyckan samt med ett konfidensintervall, inom vilket det är 95 % säkerhet att konsekvens inträffar. I Tabell 20 redovisas dessa värden.

Tabell 20. 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 jettflamma → 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 (järnväg) → tryck	120	140
Klass 6 giftmoln → förgiftning	5	10
Klass 8 → frätskada	5	10

Syftet med Tabell 20 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.



3. Frekvenser och konsekvenser för mekanisk skada vid urspårning

3.1. Frekvens för urspårning

Alla urspårningar leder inte till negativa konsekvenser för omgivningen. Huruvida personer i omgivningen skadas eller ej beror på hur långt ifrån rälsen en vagn hamnar efter urspårning. I Tabell 21 visas den viktade fördelningen för avstånd från spår som vagnar från person- respektive godståg förväntas hamna efter urspårning. Det viktade värdet bygger på uppgifter i bilaga 1.

Tabell 21. Avstånd från spår för urspårade vagnar³¹.

Avstånd från spår	Mälarbanans anslutningsspår	Mälarbanan spår 1-4	Ostkustbanan 10 godståg	Ostkustbanan 20 godståg
0-1 m	77,3%	77,3%	77,3%	77,1%
1-5 m	18,1%	18,1%	18,1%	18,1%
5-15 m	2,4%	2,4%	2,4%	2,5%
15-25 m	2,2%	2,2%	2,2%	2,2%
>25 m	0,1%	0,1%	0,1%	0,1%

3.2. Konsekvenser av urspårning

I samband med urspårningar antas dödlig påverkan uppstå på alla människor som befinner sig inom det avstånd på vilket tåget hamnar. Risker för mekanisk påverkan på människor eller byggnader är oberoende av om det rör sig om persontåg eller godståg. Riskerna begränsas till området närmast banan, cirka 25–30 meter, vilket är det avstånd som urspårade vagnar i de flesta fall hamnar inom.

4. Risknivåer utmed transportleder för farligt gods

4.1. Modell för beräkning av individrisk

4.1.1. 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 1. Dessa frekvenser kombineras med sannolikhetsfördelningen för konsekvensens utbredning redovisad i bilaga 2 och sannolikheten att ett område påverkas från bilaga 1. Beräkningsgången exemplifieras i avsnitt 4.1.2 och 4.1.3.

³¹ Fredén, S., *Modell för skattning av sannolikheten för järnvägsolyckor som drabbar omgivningen*, Rapport 2001:5, Miljösektionen, Banverket, 2001.



Urspårningsolyckor

För urspårningsolyckor används frekvensen för järnvägsolycka tillsammans med sannolikheten att ett område påverkas från bilaga 1. Beräkningsgången är lika den som exemplifieras i avsnitt 4.1.2 och 4.1.3.

4.1.2. Sannolikheten att en olycka når en viss punkt som en funktion av avståndet från transportleden

I bilaga 1 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, vilken sedan används i riskberäkningarna.

4.1.3. Beräkning av individrisk

Individrisken beräknas med en upplösning om 5 meter, det vill säga beräknas var femte meter från vägkanten genom att multiplicera olycksfrekvensen för en olycka med en viss ADR/RID-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 i huvudrapporten.

4.2. Modell för beräkning av samhällsrisk

Beräkningar av samhällsrisk syftar till att försöka uppskatta skadefallet när en olycka väl inträffar. Skadefallet 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.

4.2.1. Indata

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

Befolkningstäthet

Befolkningstätheten karakteriseras med följande schablonvärden:

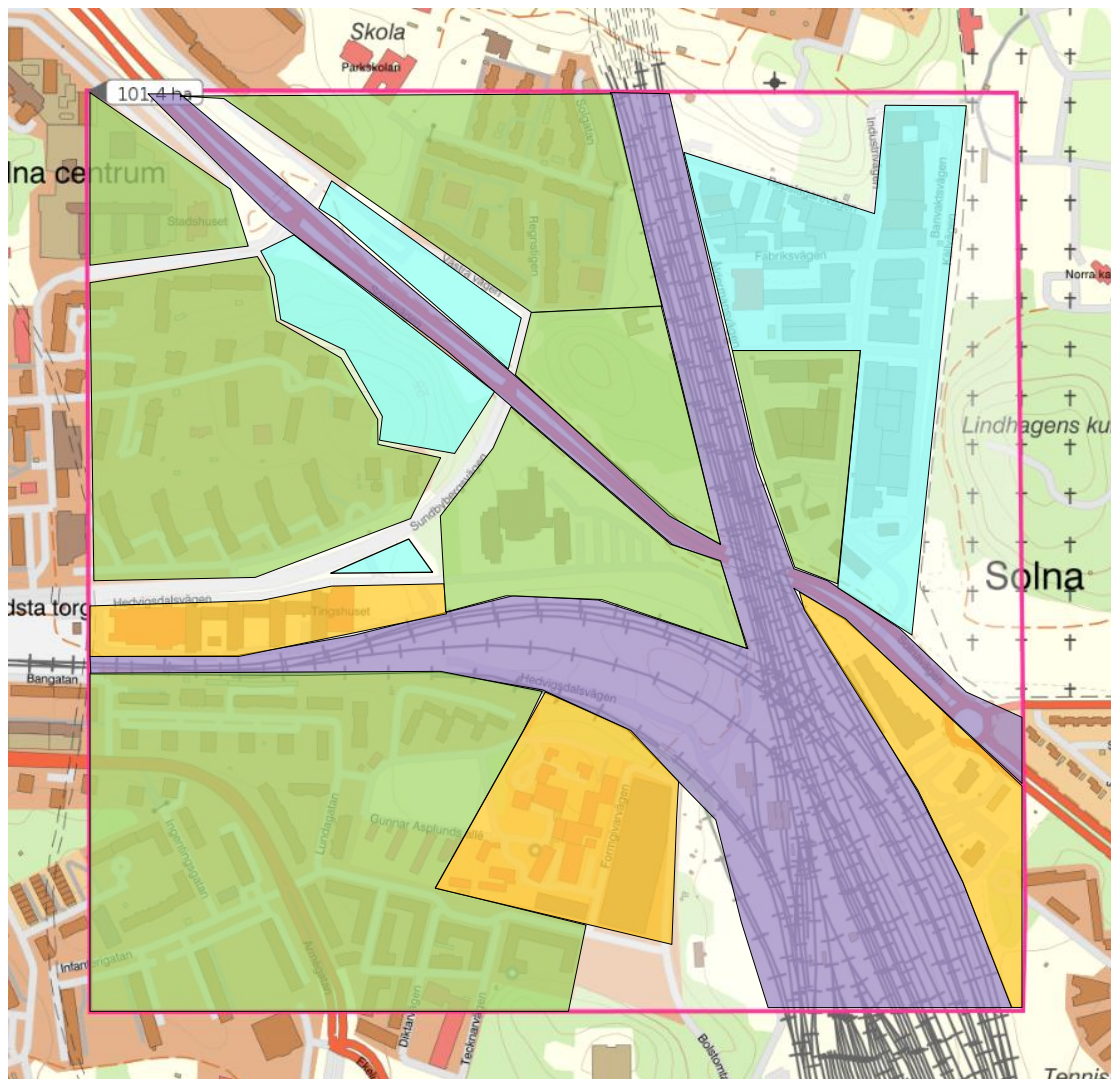
- ♦ Tät stadsbebyggelse – 10 000 personer/km².
- ♦ Stadsbebyggelse – 5 000 invånare/km².
- ♦ Bostads- och industriområde – 2 500 invånare/km².

I Figur 7 har ett område på 1 km² kategoriserats översiktligt med avseende på typ av bebyggelse, som grund för bedömning av samhällsrisk. Persontätheten inom området kommer till viss del variera över dygnet. Där det planeras för både kontor, centrum och bostäder kan det däremot förväntas vara en något jämnare persontäthet till följd av en överlappning av personer inom kontor och bostäder.

- ♦ Grönt: Tät stadsbebyggelse, flerbostadshus, centrum, känsliga verksamheter, kontorskomplex (hög till mycket hög persontäthet)



- ◆ Ljusblå: områden för framtida utveckling av stadsbebyggelse, enligt översiktsplan, dock ej antagna/konkreta planer (bedöms som hög persontäthet)
- ◆ Orange: Verksamhetsområde med mindre kontorsbebyggelse (låg till medel persontäthet)
- ◆ Lila: Väg- och järnvägsområde (mycket låg persontäthet)
- ◆ Ommarkerade områden (mycket låg persontäthet)



Figur 7. Uppdelning av ett 1 km² stort område i olika typer av verksamheter samt tillhörande persontäthet. ©Lantmäteriet, redigerad av Briab.

Vid beräkning av samhällsrisk används en persontäthet på 10 000 personer/km² i det studerade området på 1 km². Detta bedöms ta hänsyn till obebyggda ytor, nuvarande markanvändning samt kommande utveckling.

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 natten³². Dagtid antas råda mellan 08:00-18:30 och natt mellan 18:30-08:00. Dessa värden bedöms vara relevanta även för planområdet.

³² TNO, *Guideline for quantitative risk assessment*, CPR 18E.



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.
- ◆ Rektangulär utbredning vid urspårning.

Påverkansområdet (m^2) 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 spridningsvinkeln³³ ($A = \varphi \Pi r^2$).

4.2.2. 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.

Tabell 22. Modell för beräkning av samhällsrisk.

Fråga	Svarsalternativ	Kommentar
Vilken tidpunkt?	Dag Natt	Bestämmer hur många människor som är utomhus. Se bilaga 4.
Vilket scenario?	Urspårning 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 1 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 Rektangulärt	Avgör hur stor yta som påverkas av olyckan. Se bilaga 4.

³³ Mer information om spridningsvinkeln (φ) finns i bilaga 1.



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 samhällsrisken 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^{34,35}.

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

Skadeverkan	Andel inomhus som omkommer
Urspårning	50 %
Tryckskada	50 %
Brännskada (pölbrand)	0 %
Brännskada (övrigt)	5 %
Förgiftning	10 %
Frätskada	0 %

Samhällsriskberäkningar utförs för samtliga vägar och järnvägar utan hänsyn till andra säkerhetshöjande åtgärder än själva skyddsavståndet. För vissa transportleder där samhällsrisken i grundfallet ligger i området där risker inte kan beaktas som små görs kompletterande samhällsriskberäkningar för att undersöka effekten av ytterligare säkerhetshöjande åtgärder.

5. Diskussion om modell och indata

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) och i de fall där specifika indata saknas har värden, fördelningar och annan betydelsefull information hämtats från RIKTSAM.

³⁴ TNO, *Guideline for quantitative risk assessment*, CPR 18E.

³⁵ Stadsbyggnadskontoret i Göteborg. *Översiktsplan för Göteborg - Fördjupad för sektorn transporter av farligt gods*, Bilagor 1-5. 1997.



5.1. Beräkningsmodeller

Modellerna som används för att beräkna konsekvenser av olyckor bygger i huvudsak på information som finns tillgänglig i den så kallade FOA-handboken³⁶. I stort är det samma modeller som RIKTSAM bygger på, med undantag av vissa förbättringar. Bland annat modelleras utsläpp av giftiga gaser med både jet- och tunggassteg, vilket RIKTSAM inte gör. Detta ger mer realistiska (och längre) konsekvensområden i föreliggande riskanalys.

5.1.1. 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 VTI³⁷:

- ♦ 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 Räddningsverket³⁸ där håldiametrar på 3, 9 respektive 31 mm används, vilket ger källstyrkor på 0,1–20 kg/s. En brittisk studie³⁹ 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

³⁶ Fischer, S. m.fl., *Vådautsläpp av brandfarliga och giftiga gaser och vätskor. Metoder för bedömning av risker*. Försvarets Forskningsanstalt, Stockholm, 1997.

³⁷ Väg- och Trafikforskningsinstitutet, *Konsekvensanalys av olika olycksscenarier vid transport av farligt gods på väg och järnväg*, rapport nr 387:4, 1994.

³⁸ Räddningsverket, *Farligt gods – riskbedömning vid transport*, 1996.

³⁹ HMSO, *Major hazard aspects of the transport of dangerous substances – report and appendices*, Advisory Committee on Dangerous Substances, Health & Safety Commission, London, 1991.



enlighet med metodik redovisad i CPQRA⁴⁰ är att anta att alla 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 LC₅₀-värde. LC₅₀-värdet kan bestämmas med kännedom om exponering och tid. CPR 18E⁴¹ har använts som inspiration för de exponeringstider som används, vilka är 30 minuter för giftig gas och 30 sekunder för brännskada.

5.2. 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.

6. Säkerhetshöjande åtgärder

6.1. Skydd mot brandspridning

En pölbrand uppkommer vid utsläpp och antändning av brandfarliga vätskor. Strålningsvärmern från dessa bränder är intensiv samtidigt som den avtar exponentiellt med avståndet. strålningsnivån ska understiga det värde på 14 kW/m² som ger upphov till 2:a gradens brännskador respektive det värde på 15 kW/m² som ger brandspridning till byggnader⁴².

För att kunna bedöma på vilket avstånd som det finns risk för brandspridning görs beräkningar av värmestrålning för en dimensionerande pölbrand⁴³ på 200 m², vilket ger en flamma som är 21 meter hög och 16 meter bred. Utgående strålning från branden är 43 kW/m² 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.

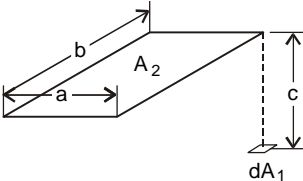
⁴⁰ Center for Chemical Process Safety of the American Institute of Chemical Engineers, *Guidelines for Chemical Process Quantitative Risk Analysis*, New York, 1989.

⁴¹ TNO, *Guideline for quantitative risk assessment*, CPR 18E.

⁴² Boverkets allmänna råd om analytisk dimensionering av brandskydd i byggnader, BBRAD3, BFS 2011:27 med ändringar t.o.m. 2013:12.

⁴³ Brandens yta på 200 m² motsvarar ytan som ett stort läckage av en hel tank, cirka 20 m³, resulterar i. Kolväten brinner med en förbränningshastighet på 0,1 kg/m²s, vilket ger en effektutveckling på cirka 370 MW för en pöl på 200 m².




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

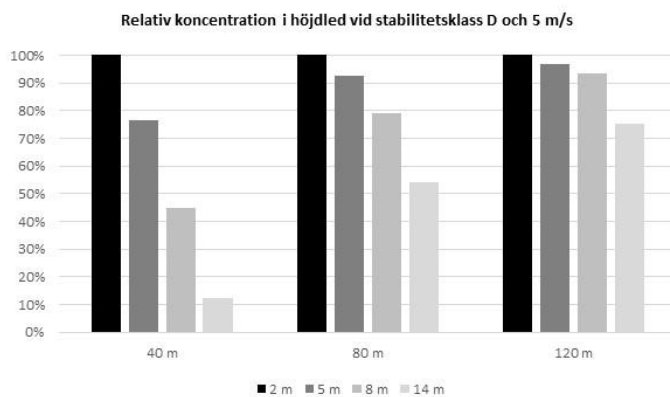
$a/2 = 8 \text{ m}$
 $b/2 = 10,5 \text{ m}$
 $c = 15 \text{ m}$
 $4 \times F_{d1-2} = 4 \times 0,079 = 0,32$

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 15 meter. Om byggnader inom 30 meter från transportleden skyddas mot brandspridning fås ett skydd som är tillfredsställande i de allra flest fall. Om det finns förutsättningar för att begränsa spridningen av vätskor kan ett skyddsavstånd på 20 meter från kanten där vätskor bromsas upp. Exempel på detta är mitten på ett dike, nedre kanten på en vall eller kanten hos en mur som vetter mot transportleden.

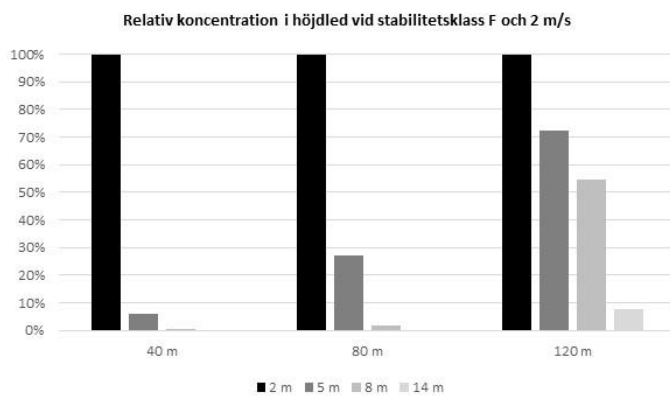
6.2. Högt placerade luftintag

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 2.1.4 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 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 höjled 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 8 och Figur 9 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 8. Relativ koncentration på olika höjder och olika avstånd från utsläppspunkten givet stabilitetsklass D och 5 m/s.



Figur 9. 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.