

RI-RA-01

# Riskanalys

Kvidinge 1:20 m.fl., Åstorp

Preliminär

2023-02-01

## Projektinformation

Verksamhetsnamn: Prästamarken  
Fastighetsbeteckning: Kvidinge 1:20 m.fl.  
Ort: Åstorp  
Uppdragsnummer: 220323

---

Uppdragsgivare: Ensucon AB  
Kontaktperson: Gustav Johansson

---

Dokumentbeteckning: RI-RA-01  
Dokumenttitel: Riskanalys  
Status: Preliminär  
Senaste utgåva: 2023-02-01

---

Handläggare: Robin Imskog, (Solvos AB)  
robin@solvos.se  
073-930 14 40

Uppdragsansvarig/granskare: Eric Månsson, Brand och Riskteknik Sverige AB  
eric@brandochrisk.se  
070-563 11 22

### Utgåva och revideringar

Utgåva	Datum	Revidering	Handläggare	Kontrollerad av
1	2023-02-01	Första utgåva	Robin Imskog	Eric Månsson,

## Sammanfattning

Analysen baseras på trafikmängder för år 2018 samt prognos för trafikmängder 2040 med spårspecifik fördelning av farligt gods (RID-klasser) längst Skånebanan.

Inom det planerade planområdet har både individrisk och samhällsrisk generellt visats vara på en acceptabel nivå, främst till följd av det fysiska avståndet mellan bebyggda delar och Skånebanan men också till följd av de typer av farligt gods som enligt underlag passerar området.

Baserat på dagens trafikmängder är individrisken att beakta som *låg* redan efter ett fåtal meter och då prognos för trafikmängder 2040 beaktas efter ca. 20 m.

Samhällsrisk, som det planerade området bidrar med, är även den låg både för trafikmängder för 2018 och för prognos för trafikmängder 2040.

I känslighetsanalysen, där nationell fördelning av farligt gods använts och personantalet inom planområdet ökas, ökar både individ- och samhällsrisk närmast väggkanten. Detta medför att individrisken är att beakta som låg först efter ca 40 m och att samhällsrisk kommer in i ALARP-området för de extrema scenarier där alla personer inom området antas omkomma.

Generellt bedöms riskbilden inom området acceptabel utan att vidare åtgärder vidtas.

Då förskoleverksamhet planeras inom planområdet kan det, trots de låga risknivåerna, vara försvarbart att vidta vissa skyddsreducerande åtgärder.

Då den dominerande riskfaktorn utgörs av spridning av giftig gas, bör för förskolan följande åtgärder övervägas:

- Centralt avstängningsbart ventilationssystem.
- Luftintag placeras på den sida av fastigheten som vetter bort från farligt-godsleden.
- Gasdetektion vid ventilationsintag kopplat till gaslarm. Gaslarm ska vara anpassat för de vanligaste förekommande gaserna (ammoniak, svaveldioxid och klor). Vid larm ska ventilationssystemet stängas av inrymningslarm aktiveras.
- Inrymningslarm som uppmanar personer (eller relevant personal) att ta skydd inomhus och stänga samt fönster och ventilationsöppningar.

# Innehållsförteckning

## 1 Innehåll

<b>2</b>	<b>Inledning</b> .....	<b>1</b>
2.1	Bakgrund.....	1
2.2	Syfte.....	1
2.3	Avgränsningar.....	1
2.4	Underlag.....	1
2.5	Riktlinjer.....	2
<b>3</b>	<b>Förutsättningar och indata</b> .....	<b>2</b>
3.1	Områdesbeskrivning.....	2
3.2	Persontäthet.....	3
3.3	Trafik och olycksfrekvens.....	4
3.4	Transportklasser.....	4
3.5	Godstransporter.....	5
3.6	Vind och väder.....	6
3.7	Scenarios sannolikhet.....	7
3.7.1	Mekanisk påverkan.....	7
3.7.2	Explosion.....	8
3.7.3	Brandfarlig gas - Klass 2.1.....	9
3.7.4	Brandfarlig vätska – Klass 3.....	10
3.7.5	Giftig gas.....	10
3.8	Skadekriterier.....	13
3.9	Övrig indata.....	13
<b>4</b>	<b>Metodik</b> .....	<b>14</b>
4.1	Riskbedömning.....	14
4.1.1	Individrisk.....	15
4.1.2	Samhällsrisk.....	15
4.2	Olycksscenarier.....	16
4.2.1	Dimensionerande scenarier.....	16
4.2.2	Explosion.....	16
4.2.3	Pölbrand.....	16
4.2.4	BLEVE.....	17
4.2.5	Jetflamma.....	17
4.2.6	Spridning av gas.....	17
4.3	Avståndskoefficient.....	17
4.3.1	Individrisk.....	17
4.3.2	Samhällsrisk.....	18
4.4	Riktningkoefficient.....	18
4.4.1	Individrisk.....	18
4.4.2	Samhällsrisk.....	19
<b>5</b>	<b>Resultat</b> .....	<b>20</b>
5.1	Olycksfrekvens.....	20
5.2	Individrisk.....	20

5.2.1	Godsmängder för 2018.....	20
5.2.2	Godsmängder enligt prognos för 2040 .....	21
5.3	Samhällsrisik.....	22
5.3.1	Godsmängder för 2018.....	22
5.3.2	Godsmängder enligt prognos för 2040 .....	22
5.4	Riskreducerande åtgärder.....	23
<b>6</b>	<b>Diskussion.....</b>	<b>24</b>
6.1	Känslighetsanalys .....	25
6.1.1	Ökat personantal.....	25
6.1.2	Nationell fördelning av RID-klasser .....	26
<b>7</b>	<b>Slutsats.....</b>	<b>27</b>

Bilaga A – Tabeller

Bilaga B -Ekvationer

## 2 Inledning

Riskanalysen tas fram utifrån länsstyrelsen vägledning RIKTSAM [1] och baseras på följande frågeställningar:

- Hur många transporter farligt gods passerar området?
- Vilka farligt gods klassade ämnen transporteras längst området?
- Hur sannolik är en farlig godsolycka i närheten (längst en 1 km sträcka) av området?
- Vilka konsekvenser kan en farlig godsolycka medföra området?
- Hur stor är den beräknade risken till följd av dessa sannolikheter och konsekvenser?
- Är denna risk acceptabel eller krävs riskreducerande åtgärder?

### 2.1 Bakgrund

Brand och Riskteknik, har av Ensucon AB fått i uppdrag att ta fram en riskanalys för det planerade planområdet Kvidinge 1:20 m.fl. för att undersöka riskbilden i anslutning till Skånebanan med avseende transporter av farligt gods.

Analysen, baseras på platsspecifika trafikmängder och fördelning av olika typer av farligt gods längst Skånebanan. Analysen behandlar även en ökad framtida godstrafik enligt prognos för 2040.

Denna handling har upprättats utifrån de krav på riskutredning som ställs av Länsstyrelsen i Skåne län i samband med framtagandet av detaljplaner inom 150 meter från farligt-godsled.

### 2.2 Syfte

Syftet med denna rapport är att:

- Fastställa den individrisk som personer inom Kvidinge 1:20 m.fl. förväntas utsättas för.
- Fastställa samhällsrisk som Kvidinge 1:20 m.fl. medför.
- Värdera dessa riskparametrar utifrån planerad bebyggelse.
- Tillhandahålla förslag på eventuella riskreducerande åtgärder

Denna information tillhandahålls som beslutsunderlag för vidare projektering inom området.

### 2.3 Avgränsningar

Denna analys avgränsas till:

- Planområdet (Kvidinge 1:20 m.fl.) så som beskrivs i avsnitt 3.1
- Transporter av RID-märkt farligt god längst Skånebanan i anslutning till det aktuella området.
- Individ- och samhällsrisk med avseende på risker som kan ge allvarliga konsekvenser avseende människoliv.

### 2.4 Underlag

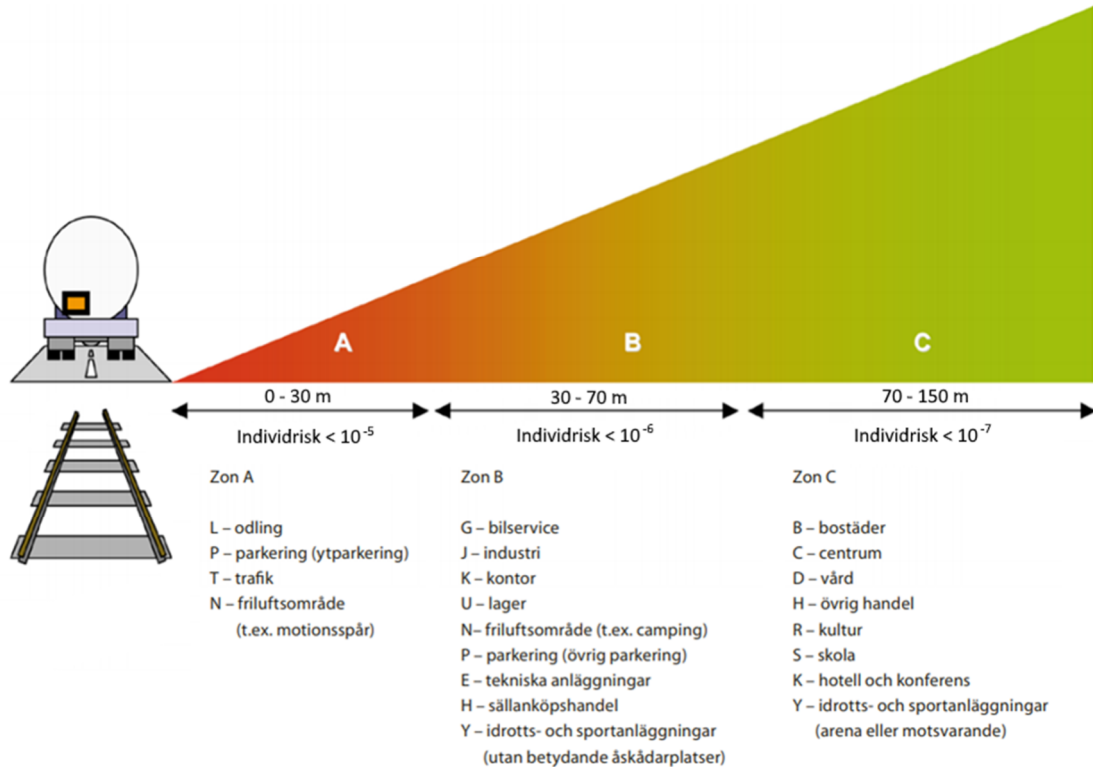
Denna rapport har baserat på följande underlag:

- Detaljplan för del av Kvidinge 1:20 m.fl. "Prästamarken", Dnr 2017/223
- Trafikdata från *Systemanalys för transportsystemet i Skåne 2020* av Regional utveckling, enheten för transport och infrastruktur

- Rälsdata från verktyg "NJDB på webb", Trafikverket

## 2.5 Riktlinjer

Beräknade risk och acceptanskriterier i form av individrisk och samhällsrisk användas för att fastställa huruvida risknivån inom Kvidinge 1:20 m.fl. är acceptabel. Dessa siffror ska dessutom sättas i perspektiv till den typ av bebyggelse som planeras. RIKTSAM [1] ger vägledning enligt Figur 2.1 där olika verksamhetstyper knyts både till ett schablonsavstånd och en acceptabel individrisk.



Figur 2.1: Enligt RIKTSAM förslag på bebyggelse och säkerhetsavstånd till farligt godsled samt acceptabel risknivå

I Figur 2.1 så sammanfaller ALARP-området (se avsnitt 4.1) för individrisk med de säkerhetsavstånd och begränsningar i bebyggelse som förespråkas av RIKTSAM. Känsligare bebyggelse (Zon C) hamnar under den nedre gränsen på  $10^{-7}$  och mindre känslig bebyggelse (Zon A och Zon B) accepteras inom ALARP-området.

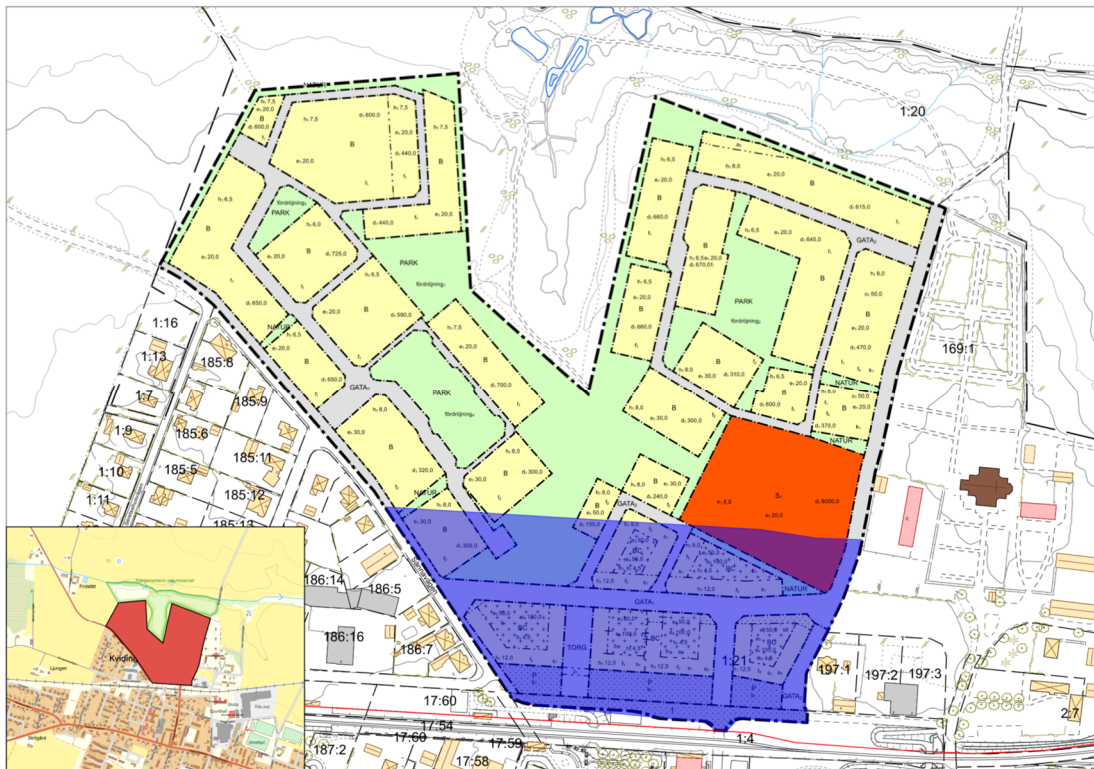
RIKTSAM poängterar att dessa schablons-avstånd kan frångås under förutsättning att en riskanalys baserad på robust modell med konservativa antaganden kan visa att individrisken inte överstiger nivån associerad med aktuell bebyggelsestyp.

## 3 Förutsättningar och indata

### 3.1 Områdesbeskrivning

Det planerade området, Kvidinge 1:20 m.fl., är ca 0,16 km<sup>2</sup> stort och kommer primärt att användas för bostäder samt en förskola. Direkt söder om området löper Skånebanan längst en sträcka om ca 200 m. Utöver de befintliga två spåren planeras ett tredje spår, direkt norr om befintliga spår. Avståndet från detta planerade spår till närmaste planerade bostadshus uppgår till ca 50 m och ca 40 m då mätt till bostadens tomtgräns. Ytan mellan bostäder och spår utgörs av mindre känslig användning i form av trafikväg och parkering.

I Figur 3.1 visas ett utklipp från planerad detaljplan över området med aktuellt riskområde inom 150 m av Skånebanan markerat i blått.



Figur 3.1: Planerad detaljplan över området i anslutning till Skånebanan. Planerat nytt spår i rött och riskområde inom 150 m i blått

## 3.2 Persontäthet

Persontätheten inom området har uppskattats utifrån det totala antalet planerade bostäder samt områdets storlek. Totalt har 460 personer antagits kunna befinna inom planområdet baserat på 170 bostäder och antagande att det i varje småhus bor i snitt 2,7 personer [2]. Då områdets area uppgår till cirka 0,16 km<sup>2</sup> erhålls en persontätheten om cirka 2 880 personer/km<sup>2</sup>.

Då området till större del utgörs av bostäder antas 50 % av personerna befinna sig inom området under dagtid. Nattetid antas 100 % av personerna befinna sig inom området.

Under dagtid antas 10 % av befolkningen vistas utomhus och 90 % inomhus. Nattetid antas 1 % av befolkningen vistas utomhus och 99 % inomhus [1].

Följande persontäthet kommer att användas vid beräkning av samhällsrisk:

- Dagtid: 230 personer
- 23 personer utomhus
- 207 personer inomhus
- Nattetid: 460 personer
- 5 personer utomhus
- 455 personer inomhus

Enligt RIKTSAM [1] kan 50 % av transportarbetet på järnväg förväntas ske under dagtid och 50 % under nattid.



### 3.3 Trafik och olycksfrekvens

Underlag för de aktuella transportleden, Skånebanan, har hämtats från *Systemanalys för transportsystemet i Skåne 2020* [3] samt vägverkets verktyg NJDB [4] och begränsas till godståg längst Skånebanan. Underlaget med tillhörande omräkningar till vagnar och vagnaxlar presenteras för idag (2018) samt för framtida prognos 2040.

	2018	2040	Kommentar
Antal godståg per år	3 350	5 475	250 ggr daglig trafik [1] om 13,4 respektive 21,9 enligt Figur 84 i [3]
Antal vagnar per år	93 800	153 300	Baserat på ett typiskt tåg med 28 vagnar enligt RIKTSAM [1]
Antalet vagnaxlar per år	243 880	398 580	Genomsnittligt 2,6 axlar per vagn baserat på 71 % 2-axliga vagnar och 29 % boogie-vagnar enligt fördelning i kap 1.3.2 i [5]

Olycksfrekvens beräknas utifrån den metod som beskrivs i *Modell för skattning av sannolikheten för järnvägsolyckor som drabbar omgivningen* [6] utifrån *Exponering* och *Intensitet*. I Tabell 3.1 presenteras den indata som använts för att beräkna olycksfrekvensen för farligt gods längst en standardsträcka på 1 km längst det aktuella planområdet.

Tabell 3.1 Indata för beräkning av olycksfrekvens för olika olyckstyper.

Olyckstyp	Exponering - 2018	Exponering - 2040	Intensitet	Kommentar
Rälsbrott	243 880 vagnaxel-km	398 580 vagnaxel-km	5,0*E-11	Spårklass A i [6]
Solkurva	1 spår-km	1 spår-km	1,0*E-5	Standard sträcka om 1 km. Spårklass A i [6]
Spårlägesfel	243 880 vagnaxel-km	398 580 vagnaxel-km	4,0*E-10	Snitt värde i [6]
Växel sliten, trasig	2 växlingstillfälle	2 växlingstillfälle	5,0*E-10	Två växlingstillfälle antas finnas i anslutning till området där spår går från ett till två/tre
Vagnfel	243 880 vagnaxel-km	398 580 vagnaxel-km	3,1*E-9	
Lastförskjutning	243 880 vagnaxel-km	398 580 vagnaxel-km	4,0*E-10	
Annan orsak	3 350 tåg-km	5 475 tåg-km	5,7*E-8	
Okänd orsak	3 350 tåg-km	5 475 tåg-km	1,4*E-7	
Kollision, plankorsning	3 350 tåg-km	5 475 tåg-km	5,0*E-8	Plankorsning med bommar (Norra Järnvägsgatan)*

\* Nuvarande sträckning av Norra Järnvägsgatan kommer i framtiden inte korsa spåret. Dock kommer inte planskild korsning komma till stånd förens det blir dubbelspår på järnvägen utan det kommer fortsätta vara en korsning i plan till dess att dubbelspår får ett ekonomiskt beslut hos Trafikverket.










I genomsnitt deltar 3,5 vagnar i en urspårning [5] och 7,5 % av vagnarna antas medföra farligt gods baserat på statistik längst Södra stambanan [1].

### 3.4 Transportklasser

Farligt godstransporter på väg regleras under ADR medan transporter på räls regleras under RID och delas i båda fall in i klasserna 1–9 baserat på dess egenskaper. I Tabell 3.2 redovisas de olika klasserna tillsammans med tillhörande skyltning.

Då aktuella analys endast beaktar rälstransport utgörs transporter av RID-klassat gods.

Tabell 3.2: Farligt gods klasser och tillhörande skyltning

<p><b>Klass 1</b> Explosiva ämnen och föremål</p> 	<p><b>Klass 2</b> 2.1 – Brandfarliga gaser 2.2 – Ej Brandfarliga, ej giftiga gaser 2.3 – Giftiga gaser</p> 	<p><b>Klass 3</b> Brandfarliga vätskor</p> 
<p><b>Klass 4</b> 4.1 - Brandfarliga fasta ämnen 4.2 - Självantändande ämnen 4.3 – Ämnen som utvecklar brandfarliga gaser vid kontakt med vatten</p> 	<p><b>Klass 5</b> 5.1 – Oxiderande ämnen 5.2 – Organiska peroxider</p> 	<p><b>Klass 6</b> 6.1 – Giftiga ämnen 6.2 – Smittförande ämnen</p> 
<p><b>Klass 7</b> Radioaktiva ämnen</p> 	<p><b>Klass 8</b> Frätande ämnen</p> 	<p><b>Klass 9</b> Övriga farliga ämnen</p> 

### 3.5 Godstransporter

Andelen farligt gods i olika RID-klasser har primärt baserats på fördelning längst Skånebanan i den kartläggning som MSB utfört 2006 [7]. Då Skånebanan i underlaget inte medför några transporter av Klass 1 har nationell fördelning för dessa ämnen ansatts för explosiva ämnen.

I Tabell 3.3 redovisas de fördelningar som ligger till grund för analysen. Fördelning i sista kolumnen utgör den fördelning som rapporten baseras på.

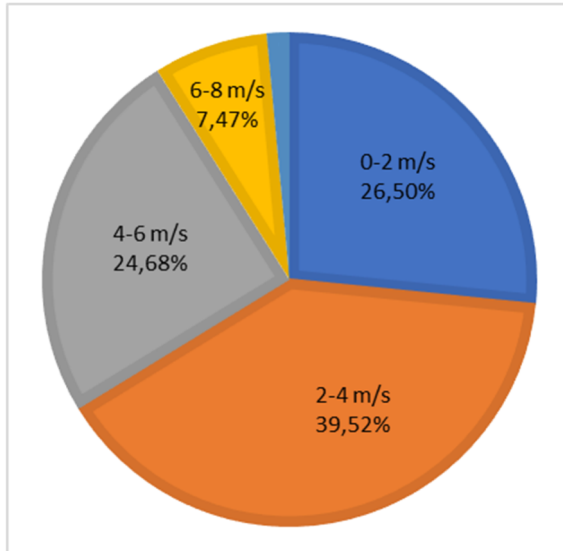
Tabell 3.3: Fördelning av RID-klasser

Klass	RIKTSAM [1] * nationell fördelning	Lokal kartläggning Skånebanan [7]	Anpassad fördelning
Klass 1	0,6 %	0,0%	0,6 %
Klass 2.1	14,46 %	13,8%	13,8%
Klass 2.2	0,5 %	0,0%	0,0%
Klass 2.3	4,8 %	5,6%	5,6%
Klass 3	18,1 %	23,1%	23,1%
Klass 4	6,2 %	0,0%	0,0%
Klass 5	20,0 %	6,1%	6,1%
Klass 6	5,9 %	1,2%	1,2%
Klass 7	0,1 %	0,0%	0,0%
Klass 8	24,4 %	45,1%	44,6%
Klass 9	4,9 %	5,0%	5,0%

\* Fördelning inom Klass 2 baseras på nationell fördelning i Kartläggning av farligt godstransporter MSB 2006 [7] applicerat på andel i RIKTSAM (19,9 %)

### 3.6 Vind och väder

Beräkningar för spridning av brandfarlig och giftig gas har baserats på vind- och väderdata hämtats från SMHI tjänst för meteorologiska observationer [8] och basers på strax under 144 000 mätningar mellan 1995-08-01 och 2022-12-01. I Figur 3.2 har denna data sammanställts.

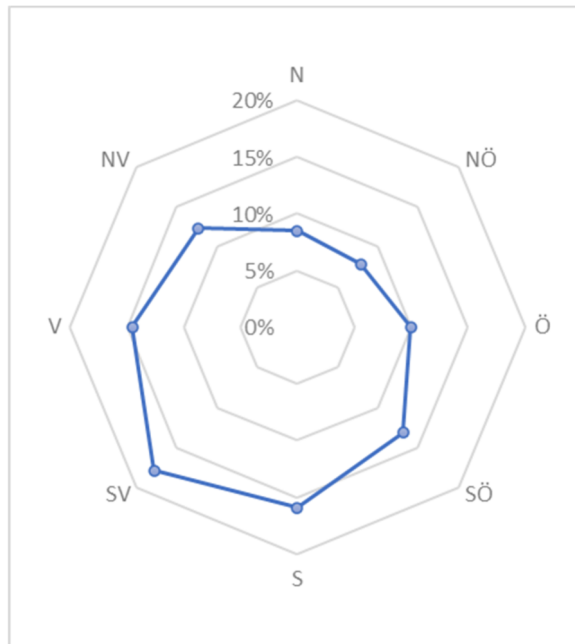


Figur 3.2: Fördelning, vindhastighet, medelvärden under 10 minuter

Stabilitetsklass **F** har antagits råda för vindhastigheter mellan 0-2 m/s stabilitetsklass **D** i övriga fall. Detta baseras på att Klass **D** är ofta förekommande och representerar genomsnittliga förhållanden och Klass **F** utgör ett "värsta tänkbara fall". På så vis utgör "värsta tänkbara"-scenariot hela 26,5 % av beräknade läckor vilket anses konservativt. Sammanställning av scenarier redovisas i Tabell 3.4.

Tabell 3.4: Fördelning av stabilitetsklass och vindhastighet

Sannolikhet	Stabilitetsklass	Vindhastighet
26,5 %	F	2 m/s
39,5 %	D	4 m/s
24,7 %	D	6 m/s
9,3 %	D	8 m/s



Figur 3.3: Vindros för det aktuella området

I Figur 3.3 redovisas sannolikheten för vindriktningar kring det aktuella området. Då Skånebanan går direkt söder om det aktuella området har summan av sannolikheten för vindriktningarna Nord, Nordost och Nordväst inkluderats vid beräkning av sannolikheten för spridning av gaser. För vindriktningarna Öster och Väster som löper längst med Skånebanan har halva sannolikheten inkluderats.

Den totala sannolikheten att vinden är riktad mot det aktuella området har beräknats till 0,41.

## 3.7 Scenarios sannolikhet

För att beräkna den risk som transport av de olika klasserna medför måste sannolikheter ansättas de olika scenarierna. Sannolikheter baseras främst på studier och statistik men i vissa fall måste ingenjörsmässiga antaganden och uppskattningar göras. Då antaganden med avseende på sannolikheter gjorts har dessa antaganden jämförts med vad som anses praxis och/eller bransch-standard.

I Figur 3.5 i slutet av detta kapitel visualiseras sannolikheten för samtliga behandlade scenarier övergripande.

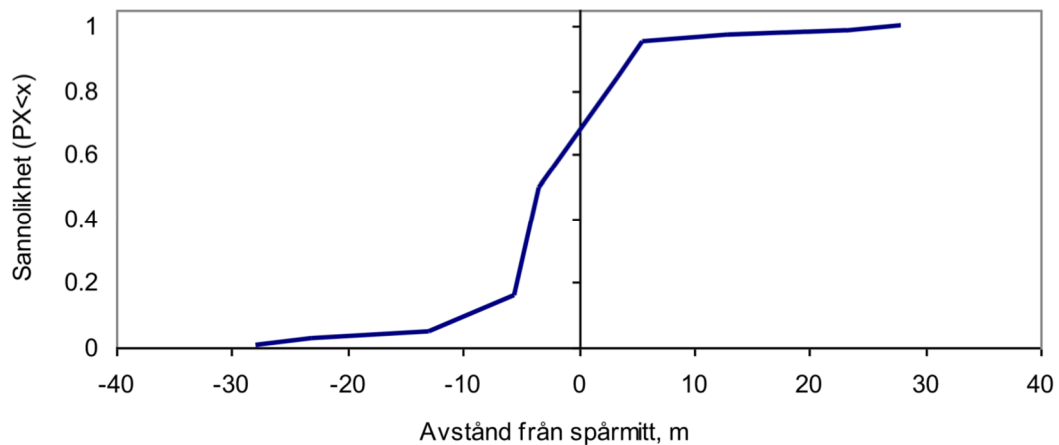
### 3.7.1 Mekanisk påverkan

I Tabell 3.5 redovisas sannolikheten för att ett urspåret tåg hamnar på ett visst avstånd från rälsen enligt *Modell för skattning av sannolikheten för järnvägsolyckor som drabbar omgivningen* [6].

Tabell 3.5 Avstånd från spår vid urspårning [6]

Avstånd från spår	0 – 1	1 – 5	5 – 15	15 – 25	>25
Resandetåg	69 %	16 %	2 %	2 %	0 %
Godståg	64 %	18 %	5 %	2 %	2 %

I Figur 3.4 redovisas även sannolikheten att en urspårad vagn hamnar ett visst avstånd från spåret enligt RIKTSAM [1].



Figur 3.4 Sannolikhet att urspårad vagn hamnar ett visst avstånd från spår

Som framgår är det osannolikt att ett tåg hamnar längre än 25 m från spåret.

Enligt *Modell för skattning av sannolikheten för järnvägsolyckor som drabbar omgivningen* [6] sannolikheten för att en vagn skall hamna mer än 15 meter från spåret efter en urspårning vid höga hastigheter (> 30 km/h) cirka 2 % och för lägre hastigheter (< 30 km/h) 0 %.

Även om det aktuella planområdet, som markerat på underlaget, börjar redan ca 10 m från där det planerade tredje spåret kan antas ligga så är avståndet till planerade byggnader betydligt längre.

Avstånd från huvudspår där tåg kan förväntas passera med full hastighet:

- till närmaste planerade byggnad uppgår till ca 60 m.
- till närmaste tomtgräns uppgår till ca 50 m.
- till parkering närmast spåret uppgår till ca 30 m
- till planområdet uppgår till ca 20 m

Avstånd från det planerade tredje spåret där tåg kan förväntas passera med reducerad hastighet:

- till närmaste planerade byggnad uppgår till ca 50 m.
- till närmaste tomtgräns uppgår till ca 40 m.
- till parkering närmast spåret uppgår till ca 30 m
- till planområdet uppgår till ca 10 m

Baserat på dessa avstånd kommer analysen ej att vidare beakta konsekvenser till följd av mekanisk påverkan vid eventuell urspårning.

### 3.7.2 Explosion

Scenarier som antas kunna medföra explosion utgörs av transporter med antingen RID-klass 1 eller RID-klass 5. För scenarier som innefattar explosion baseras beräkningar på data för TNT.

### 3.7.2.1 Klass 1

Inom klass 1 (explosiva ämnen) är det främst klass 1.1 (massexplosiva ämnen) som kan orsaka skada för personer i samband med en olycka. Det finns begränsat med statistik över hur mycket av klass 1 som utgörs av klass 1.1 men enligt RIKTSAM kan 25 % av RID-klass 1 antas utgöras av klass 1.1 [1].

På järnväg är det tillåtet att lasta upp till maximalt 25 ton explosivämnen. Det är dock ovanligt med så stora laster eftersom strikta samlastningsregler gäller för explosiva ämnen. En grov uppskattning är att laster om 25 ton utgör cirka 2 % av antalet transporter med RID klass 1, och övriga 98 % antas förenklat utgöra mindre laster om 1 ton.

Explosion antas ske antingen genom kraftig stöt i samband med urspårning eller kollision, alternativt till följd av brand.

Enligt RIKTSAM sker en explosion till följd av stötinitiering i samband med olycka i 4 % av fallen [1].

Under perioden 1994–1999 rapporterades i Sverige i snitt 66 fordonsbränder per år. Under samma period rapporterades i snitt 15 700 trafikolyckor med personskada per år [9]. Baserat på detta uppskattas sannolikheten för brand i fordon vid olycka till 0,4 %. Det bedöms konservativt att applicera denna siffra även på tåg. Sannolikheten att branden sprider sig till lasten antas uppgå till 50 %.

### 3.7.2.2 Klass 5

Oxiderande ämnen (klass 5.1) och organiska peroxider (klass 5.2) brukar vanligtvis inte leda till personskador, förutom om de kommer i kontakt med brännbart, organiskt material (t.ex. bensen, motorolja etc.). Blandningen kan då leda till självantändning och kraftiga explosionsförlopp.

Då brand i klass 5 begränsas till närområdet antas konservativt olycka med klass 5 ämnen antas alltid medföra explosion. Mindre brand beaktas således inte i denna analys utan antas antingen ingå i resultaten för explosion eller endast medföra försumbara konsekvenser.

5 % av Klass 5 transporter kan förväntas ge upphov till explosion vid kontakt med organiska ämnen. Det uppskattats att oxiderande ämne och organiska ämnen kommer i kontakt med varandra i 50 % av olyckorna och att det är en sannolikhet på 10 % att explosion sker vid kontakt. [10].

Olycka antas ske i två olika storlekar:

- En tank med cirka 400 liter diesel, vilket leder till att en explosiv blandning motsvarande cirka 4 ton TNT. Detta antas utgöra 90 % av utsläppen.
- Ett större utsläpp motsvarande 16 ton TNT. Detta antas utgöra 10 % av utsläppen.

### 3.7.3 Brandfarlig gas - Klass 2.1

För scenarier som innefattar brandfarlig gas baseras beräkningar på data för gasol (propan) då detta både utgör ett vanligt förekommande ämne och medför stora konsekvenser.

Enligt *"Risk analysis of the transportation of dangerous goods by road and rail"* [11] kan sannolikheten för omedelbar antändning (jetflamma och BLEVE) av gasol ansättas till:

- 10 % vid litet läckage
- 15 % mellanstort läckage (beräknat medelvärde av stort och litet)
- 20 % för stort läckage

Motsvarande sannolikhet för fördröjd antändning (gasmolnsexplosion) anges till:

- 0 % vid litet läckage

- 25 % mellanstort läckage (beräknat medelvärde av stort och litet)
- 50 % för stort läckage

Kvarstående sannolikheter att ingen antändning sker ansätts därmed till:

- 90 % vid litet läckage
- 60 % mellanstort läckage (beräknat medelvärde av stort och litet)
- 30 % för stort läckage

Då all brandfarlig gas antas transporteras i tjockväggiga tankar har sannolikheten för skadeutfall (index) satts till 1 % [5].

Sannolikhet för respektive hålstorlek ansätts enligt Tabell 3.8.

### 3.7.3.1 BLEVE

BLEVE (Boiling Liquid Expanding Vapor Explosion) kan ske då en tank utsätts för plötslig värmepåverkan så att dess innehåll släpps ut momentant i ett kraftigt eldklot. För att en BLEVE ska uppstå krävs dels en extern värmekälla i form av att en brand eller jetflamma samt att behållarens tryckavlastning inte fungerar eller är otillräcklig. I "*Risk analysis of the transportation of dangerous goods by road and rail*" kommenteras att sannolikheten att BLEVE skulle uppstå vid vägtransportolycka är mycket osannolik då detta kräver jetflammapåverkan från en tank till en annan. Med detta i åtanke har sannolikheten satts till 1 % [1].

### 3.7.3.2 Jetflamma

Jetflamma uppstår när antändningen sker omedelbart och i direkt anslutning till ett läckage som strömmar ut ur en tank under högt tryck. Då sannolikheten för omedelbar antändning ansätts till 10 %, 15 % respektive 20 % enligt avsnitt 3.7.3 och BLEVE har antagits utgöra 1 % av utfallen oavsett läckagets storlek kvarstår 9 %, 14 % respektive 19 % sannolikhet för att jetflamma ska uppstå vid litet, mellan och stort läckage.

### 3.7.3.3 Gasmolnsexplosion

Gasmolnsexplosion uppstår när antändningen av ett läckage är fördröjd och brandfarlig gas ges tid att sprida ut sig över ett större område. Av denna anledning ökar sannolikheten för att explosions sker med läckagestorleken enligt avsnitt 3.7.3 (0 %, 25 % respektive 50 %).

## 3.7.4 Brandfarlig vätska – Klass 3

För scenarier som innefattar brandfarlig vätska baseras beräkningar på data för bensen då detta utgör ett vanligt förekommande och ämne med hög kemiskt bunden energi.

Enligt *Farligt gods* [5] kan sannolikheten för antändning av bensen som transporteras på räls ansättas till 12 %. Samtliga scenarier där utsläpp av brandfarlig vätska leder till antändning har i analysen behandlats som pöl bränder i olika storlekar.

Då all brandfarlig vätska antas transporteras i tunnväggiga tankar har sannolikheten för skadeutfall (index) satts till: [5]

25 % vid litet hål

4 % vid mellanstort hål

1 % vid stort hål

Sannolikhet för respektive hålstorlek ansätts enligt Tabell 3.8.

### 3.7.5 Giftig gas

För scenarier som innefattar giftig gas baseras beräkningar på data för svaveldioxid som utgör ett av de giftigaste ämnena som transporteras på svenska vägar. Då all form av utsläpp av giftig

gas anses kritiskt, utgör samtliga utsläpp utgöra ett skadescenario. Det är därmed endast storleken av utsläppet som varierar tillsammans med de väderparametrar som presenteras i 3.6.

#### 3.7.5.1 Klass 2.3

Då all giftig gas i klass 2.3 antas transporteras i tjockväggiga tankar har sannolikheten för skadeutfall (index) satts till 1 % [5].

#### 3.7.5.2 Klass 6

Klass 6 innefattar giftiga ämnen såsom kvicksilverföreningar och cyanider men även smittförande ämnen, till exempel bakterier, levande virus och laboratorieprover.

För att personskada ska uppstå vid en olycka med RID-klass 6 ämnen krävs att personer kommer i direkt kontakt, alternativt få i sig det farliga ämnet. I *Göteborgs Översiktsplan* [12] bedöms denna risk vara försumbar varvid klass 6 ämnen ej behandlas.

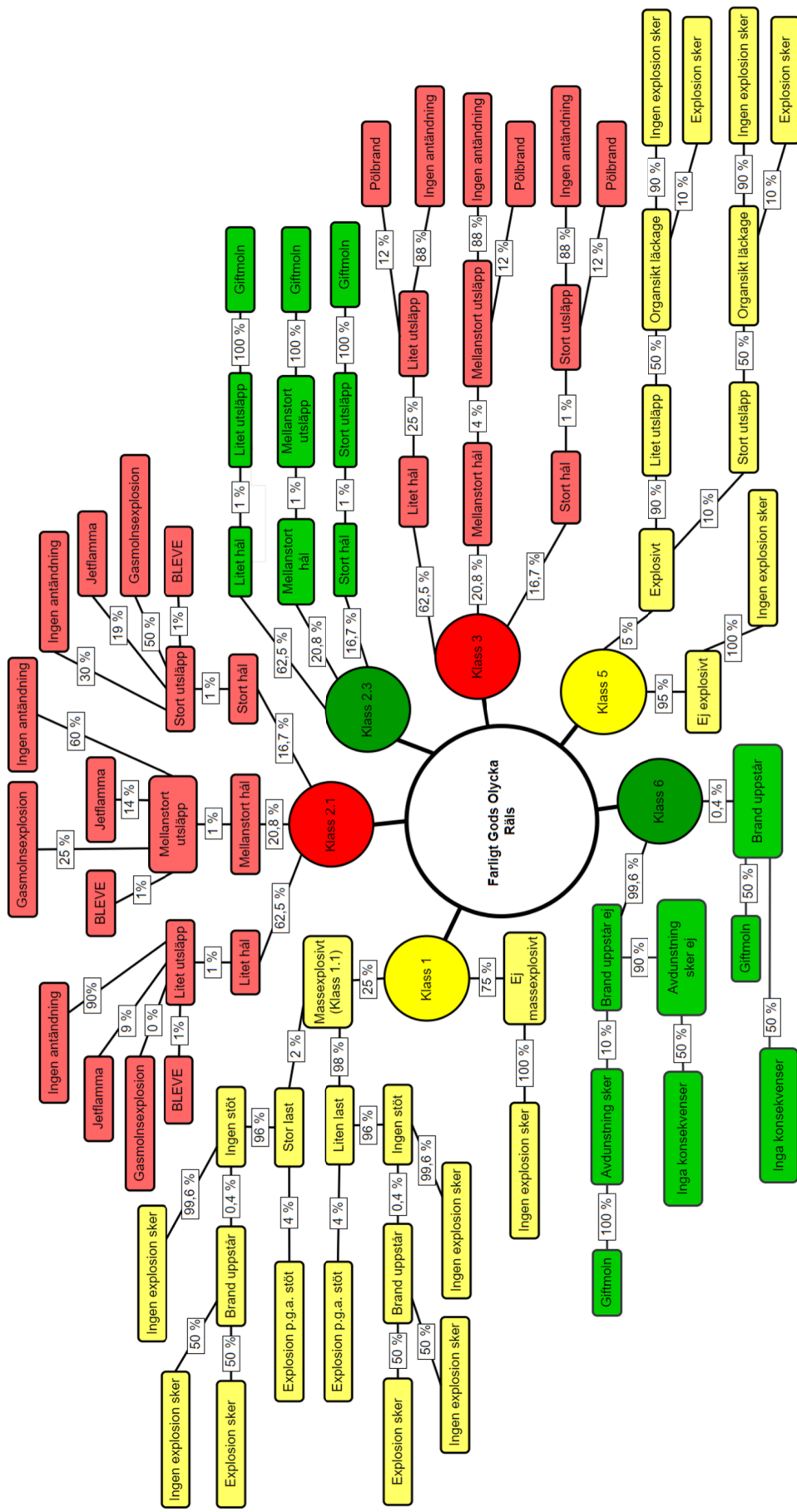
För att det giftiga ämnet ska medföra ett skadeområde bortom olycksplatsen krävs att ämnet övergår i gasform, antingen via att en brand uppstår alternativt via avdunstning.

Risken att en brand uppstår uppskattas på samma vis som för klass 1 till 0,4 % [9] och risken att uppkommen brand sprider sig till det giftiga ämnet till 50 %.

Risken att det giftiga ämnet är flytande och avdunstar i signifikant mängd vid atmosfärstryck uppskattas till 10 %.

Källstyrkan från samtliga avdunstande klass 6 läckage antas kunna likställas vid ett litet läckage från tryckkondensera giftig gas.





Figur 3.5: Visualisering av beaktade scenarier samt dess sannolikhet

### 3.8 Skadekriterier

Samtliga scenarier syftar att identifiera avståndet och område där personer förväntas omkomna. Beroende på typ av olycka så bestäms detta utifrån olika kriterier. I Tabell 3.6 sammanställs skadekriterierna (där personer antas omkomma) för de olika scenarierna.

Tabell 3.6: Skadekriterier för olika scenarier

Scenario	Skadekriterium	Kommentar
Explosion	247 [kPa]	260 kPa utgör 50 % dödlighet. [13] 247 kPa är närmaste siffra som sammanfaller med Tabell 4,1 i B02-111 [14]
BLEVE	$10^7 [(W/m^2)^{4/3}]$	$s_{50}^*$ utgör förbestämd enhet där hälften av utsatta personer förväntas omkomma. [15]
Gasmolnsexplosion	0,01413 [kg/m <sup>3</sup> ] (1 vol-%)	Halva den undre brännbarhetsgränsen hos propan. [13]
Giftig gas	2 088 [mg/m <sup>3</sup> ] (798 ppm)	LD <sub>50</sub> för svaveldioxid enligt RIKTSAM [1]
Jetflamma	R <sub>s,50</sub> [m]	Förbestämd enhet där hälften av utsatta personer förväntas omkomma. [16]
Pölbrand	16,2 [kW/m <sup>2</sup> ]	Strålningskriteriet för 50 % döda vid exponering under 30 sekunder enligt RIKTSAM [1]

### 3.9 Övrig indata

Källstyrkan ( $Q$  [kg/s]) för gasol (propan) är hämtad från Tabell 9.2 RIKTSAM [1].

Hålstorlek ( $A$  [m<sup>2</sup>]) har därefter beräknats för de tre olika hålstorlekarna "Liten", "Medel" och "Stort" enligt ekvation 5:4 i FOA-handboken [13]:

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

Där:

$C_d$	Kontraktionsfaktor för vätskestråle	[-]
$P_a$	Atmosfärtryck	[Pa]
$P_0$	Tanktryck i hålets nivå	[Pa]
$v_f$	Specifik volym	[m <sup>3</sup> /kg]

Denna storlek har sedan använts för att beräkna källstyrkan för svaveldioxid i Tabell 3.7.

Tabell 3.7: Fördelning av hålstorlek vid beräkning av källstyrka, gasol och svaveldioxid baserat på RIKTSAM [1]

Håltyp	Håldiameter	Hålarea	Källstyrka	
			Gasol	Svaveldioxid
Litet	10 mm	0,8 cm <sup>2</sup>	1 kg/s	1,6 kg/s
Medel	30 mm	7,1 cm <sup>2</sup>	12 kg/s	18,9 kg/s
Stort	110 mm	95,0 cm <sup>2</sup>	160 kg/s	252 kg/s

Fördelning av hålstorlekar förutsatt att läckage sker presenteras i Tabell 3.8.

Tabell 3.8: Fördelning av hålstorlekar förutsatt att läckage sker

Transporttyp	Tanktyp	Håltyp	Sannolikhet
Järnväg	Tjockväggig eller tunnväggig	Litet	62,5 %
		Medel	20,8 %
		Stort	16,7 %

Utsläppsmängder vid farligt-godsolycka presenteras i Tabell 3.9.

Tabell 3.9: Utsläppsmängder av bensin vid farligt-godsolycka baserat på Farligt gods [5]

Håltyp	Järnväg
Litet	180 kg
	0,3 m <sup>3</sup>
Medel	1 980 kg
	3 m <sup>3</sup>
Stort	34 800 kg
	50 m <sup>3</sup>

Ämnesspecifika konstanter presenteras i Tabell 3.10.

Tabell 3.10: Ämnesspecifika konstanter

Konstant	Symbol	Luft	Bensin	Gasol (Propan)	Svaveldioxid
Massavbrining	$\dot{m}''_{\infty}$	-	0,055 kg/m <sup>2</sup> s	-	-
Förbränningskonstanter	$k\beta$	-	2,1 m <sup>-1</sup>	-	-
Förbränningsvärme	$\Delta h_c$	-	43,7 kJ/kg	46 000 kJ/kg	-
Specifik värme (gas)	$C_{pg}$	1 200*	-	1 480 J/kg K	510 J/kg K
Strålningsandel	$\chi_e$	-	0,35	0,35	-
Ångbildningsvärme	$H_{fg}$	-	-	371 590 J/kg	380 480 J/kg
Molvikt	$m_g$	29 g/mol	-	44,1 g/mol	64 g/mol
Densitet (gas)	$\rho$	1,29 kg/m <sup>3</sup>	-	-	-
Stökiometrisk blandning	$\chi_{SB}$	-	-	0,0558 kg/m <sup>3</sup>	-

\*Fuktig luft

## 4 Metodik

### 4.1 Riskbedömning

Risken inom området kvantifieras med avseende på individrisk och samhällsrisk uttryckt i sannolikheten för en oönskad händelse och de negativa konsekvenserna i form av dödsfall. Vid beräkningar antas att samtliga personer som vistas utomhus inom skadeområdet omkommer och samtliga personer utanför skadeområdet överlever. Inomhus antas en viss andel av personer inom skadeområdet omkomma beroende på olycksscenario. Dessa presenteras i Avsnitt 4.2.2 – 4.2.6.

Riskenivåerna delas in i tre olika kategorier:

- Acceptabel risk
- ALARP (As Low As Reasonably Practicle) område
- Oacceptabel risk

ALARP-området används för att indikera att även om riskenivån inte är klassad som oacceptabel ska riskreducerande åtgärder vidtagas förutsatt att kostnaden står i proportion till erhållen riskreduktion.

#### 4.1.1 Individerisk

Individerisken uttrycks som frekvens per år och beräknas på olika avstånd från vägkanten genom:

$$Risk_{Individ} = \sum Olyckor_{FD} \cdot P_{Klass} \cdot P_{Scen} \cdot K_{Avstånd} \cdot K_{Riktning}$$

Där:

$Olyckor_{FD}$	Olycksfrekvensen för farligt gods längst en 1 km sträcka beräknat enligt Avsnitt 3.3
$P_{Klass}$	Sannolikheten att olycka innefattar transport med en viss typ av farligt gods enligt 3.3.
$P_{Scen}$	Sannolikheten att en olycka med en viss typ av farligt gods medför olycksscenario enligt 3.6, 3.7 och 3.9.
$K_{Avstånd}$	Avståndskoefficient enligt 4.3.1
$K_{Riktning}$	Riktningkoefficient enligt 4.4.1

ALARP-området för individerisken ligger mellan  $10^{-5}$  och  $10^{-7}$  [1].

#### 4.1.2 Samhällsrisik

Samhällsrisken uttrycks med hjälp av en kumulativ FN-kurva där sannolikheten för varje scenario  $Risk_{Samhäll,F}$  beräknas enligt:

$$Risk_{Samhäll,F} = Olyckor_{FD} \cdot P_{Klass} \cdot P_{Scen}$$

Där:

$Olyckor_{FD}$	Olycksfrekvensen för farligt gods längst en 1 km sträcka beräknat enligt Avsnitt 3.3
$P_{Klass}$	Sannolikheten att olycka innefattar transport med en viss typ av farligt gods enligt 3.3.
$P_{Scen}$	Sannolikheten att en olycka med en viss typ av farligt gods medför olycksscenario enligt 3.6, 3.7 och 3.9.

Antalet omkomna  $Risk_{Samhäll,N}$  för varje scenario beräknas enligt:

$$Risk_{Samhäll,N} = A_{SO} \cdot PT \cdot K_{Avstånd} \cdot K_{Riktning}$$

Där:

$A_{SO}$	Skadeområde	[m <sup>2</sup> ]
$PT$	Persontätheten inom området	[p/m <sup>2</sup> ]
$K_{Avstånd}$	Avståndskoefficient enligt 4.3.2	[-]
$K_{Riktning}$	Riktningkoefficient enligt 4.4.2	[-]
$K_{Inomhus}$	Koefficient för reducerad dödlighet inomhus enligt 4.4.2	[-]

ALARP-området för samhällsrisik börjar mellan  $10^{-4}$  och  $10^{-6}$  för en person och minskar sedan med antalet omkomna [1].

## 4.2 Olycksscenarier

Utifrån de olika godsklasserna ska relevanta olycksscenarier studeras. Då RID-klasser delas in efter sin primära riskfaktor har sekundära risker så som exempelvis att en brand även kan medföra giftig rök ej beaktat. I Tabell 4.1 redovisas samtliga potentiella olycksscenario som beaktas för respektive klass. Scenarierna baseras på Tabell 4.10 i *Handbok för riskanalyser* [17].

Ej brandfarliga, ej giftiga gaser i klass 2.2, brandfarliga fasta ämnen i klass 4, radioaktiva ämnen i klass 7, frätande ämnen i klass 8 och övriga ämnen i klass 9 utgör normalt ingen fara för omgivningen då konsekvenserna koncentreras till olyckans närhet och har av denna anledning inte inkluderats i Tabell 4.1.

Tabell 4.1: Potentiella olycksscenarier för de olika godsklasserna

Klass 1	Klass 2.1	Klass 2.3	Klass 3	Klass 5	Klass 6
Explosion	BLEVE	Giftmoln	Pölbrand	Explosion	Giftmoln
	Gasmolnsexplosion/ gasmolnsbrand				
	Jetflamma				

### 4.2.1 Dimensionerande scenarier

Dimensionerande scenarier baseras på:

- Transporter av farligt gods identifierade i avsnitt 3.5
- Potentiella olycksscenarier identifierade i avsnitt 4.2

Utifrån dessa faktorer har följande dimensionerande scenarier identifierats:

- Explosion
- BLEVE
- Gasmolnsexplosion
- Jetflamma
- Giftmoln
- Pölbrand

Använda ekvationer redovisas Bilaga B.

### 4.2.2 Explosion

Beräkning av skadeområde vid explosion används TNT-metoden som beskrivs i *MSB dokument B02-111* [14] och där övertrycket på olika avstånd beräknas utifrån en given mängd TNT.

Även inomhus antas samtliga personer inom skadeområdet omkomma.

Använda ekvationer redovisas i avsnitt B.1 i Bilaga B.

### 4.2.3 Pölbrand

Skadeområdet från en pölbrand beräknas enligt den metodik som beskrivs i kapitel 7 i *FOA-handboken* [13] där hela läckaget antas sprida ut sig på marken innan antändning sker. Pölbrandens area har antagits begränsas av både mängden bränsle och tillgänglig markyta.

Beräkningar har dock begränsats till en maximal utsläppsmängd om 5 m<sup>3</sup>.

Baserat på pölens area approximeras branden till en cylinder där höjd och strålning beräknas enligt de ekvationer som redovisas i avsnitt B.5 i Bilaga B. Cylindern placeras med ytterkant som tangerar väggkant.

Enligt Enligt *Guideline for quantitative risk assessment* [18] kan personer inomhus generellt anses skyddas från dödlig strålning. Om strålningsnivåer överstiger 35 kW/m<sup>2</sup> kan dock byggnaden antas börja brinna och samtliga personer inomhus antas omkomma. Vid beräkning av samhällsrisik antas därmed andelen personer som omkommer inomhus beskrivas av kvoten av hela skadearean och den skadearea där strålningen överstiger 35 kW/m<sup>2</sup>.

#### 4.2.4 BLEVE

Beräkning av skadeområdet från scenario som resulterar i BLEVE har beräknats enligt den metodik som beskrivs i kapitel 11 i *FOA-handboken* [13] i kombination med beräkningar för strålningsdos enligt *Green Book* [15].

På samma vis som för pölbrand ansätts andelen omkomna personer inomhus till kvoten mellan skadearean där strålningen överstiger 16,24 kW/m<sup>2</sup> skadearea där strålningen överstiger 35 kW/m<sup>2</sup>.

Använda ekvationer redovisas i avsnitt B.2 i Bilaga B.

#### 4.2.5 Jetflamma

Skadeområdet från en jetflamma beräknas enligt den metodik som presenteras i *Guidelines for Chemical Process Quantitative Risk Analysis* [16] och görs i två steg:

- Beräkning av flammans dimensioner baserat på utsläppets storlek.
- Beräkning av avståndet längst jetflammans sida där strålningen medför 50 % dödlighet efter 10 sekunders strålningsdos.

Konservativt antas samma kritiska avstånd för strålning från flammans front.

Utifrån resultaten för pölbrand och BLEVE ansätts andelen omkomna personer inomhus till 50 %.

Använda ekvationer redovisas i avsnitt B.4 i Bilaga B.

#### 4.2.6 Spridning av gas

Beräkning av skadeområdet från scenario som resulterar i utsläpp av giftig och brandfarlig gas med fördröjd antändning har beräknats enligt den metodik som beskrivs i kapitel 8 i *FOA-handboken* [13].

Gasspridning i luft görs i två steg; *tunggasspridning* och *passiv spridning* som sedan slås samman till en sammanhängande bild av gasspridningen.

Använda ekvationer redovisas i avsnitt B.3 i Bilaga B.

##### 4.2.6.1 Giftig gas

Enligt *Guideline for quantitative risk assessment* [18] kan andelen personer som omkommer inomhus vid giftiga gasutsläpp generellt sättas till 10 %.

##### 4.2.6.2 Gasmolnexplosion

Kritisk koncentration ansätts till halva den undre brännbarhetsgränsen för att ta höjd för både explosion och strålningspåverkan till närområdet.

Även inomhus antas samtliga personer inom skadeområdet omkomma.

### 4.3 Avståndskoefficient

#### 4.3.1 Individrisk

Risken för olycka enligt Avsnitt 3.3 baseras på en standardsträcka på 1 km. Vid beräkning av individrisk måste denna anpassas efter skaderadien för varje scenario. Exempelvis medför en olycka med en skaderadie på 50 m som sker 400 m bort från området inga konsekvenser inom

området. Baserat på Pytagoras sats och avståndet från vägen så beräknas avståndskoefficienten ( $K_{Avstånd}$ ) att påverkas av en olycka enligt sambandet:

$$K_{Avstånd} = \frac{2\sqrt{r^2 - x^2}}{1\,000}$$

Där:

$r$  Skaderadien enligt för scenariot [m]

$x$  Avståndet från vägkanten [m]

### 4.3.2 Samhällsrisk

Vid beräkning av samhällsrisk behöver avståndskoefficienten inte behandlas i samma detalj då beräkning av risken att en olycka påverkar en viss punkt inom området inte krävs. I stället räcker det att fastställa huruvida olyckan påverkar området som helhet ej inte. Under förutsättning att beräknat skadeområde inte överstiger det aktuella områdets area kan vi ansätta avståndskoefficienten ( $K_{Avstånd}$ ) till kvoten mellan transportledens sträcka längst området ( $S_{Område}$ ) och standardsträckan på 1 km ( $S_{Standard}$ ) enligt:

$$K_{Avstånd} = \frac{S_{Område}}{S_{Standard}}$$

Då skadeområdets area överstiger det aktuella områdets area ansätts avståndskoefficienten för samhällsrisken till 1. Detta för att begränsa det maximala antalet omkomna personer till antalet personer inom området.

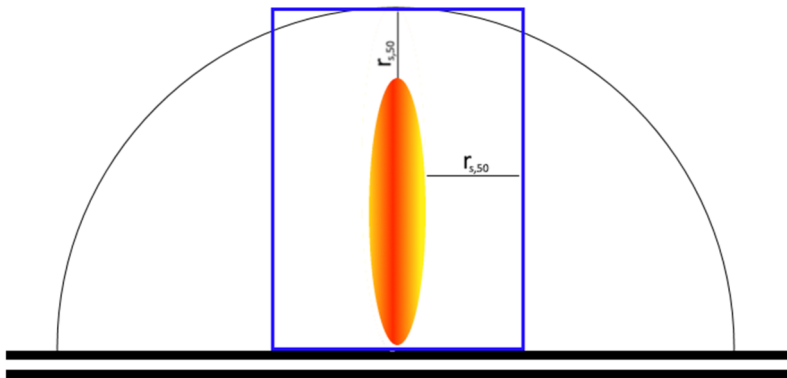
## 4.4 Riktningkoefficient

### 4.4.1 Individrisk

Avståndskoefficienten i avsnitt 4.3 förutsätter ett cirkulärt skadeområde baserat på skaderadien. Detta stämmer väl överens med scenarierna för BLEVE, explosion och pölbrand som breder ut sig i alla riktningar vilket medför en avståndskoefficient på 1. För jetflamma samt brandfarlig och giftig gas som sprids i luften måste sannolikheten dock justeras med en mer nyanserad riktningkoefficient.

#### 4.4.1.1 Jetflamma

För jetflamma har riktningkoefficient approximerats som skadeområdet delat på arean i en cirkel vars radie utgörs av skaderadien. För de tre olika utsläppsstorlekarna hamnar riktningkoefficienten mellan 0,26 - 0,28. Då en riktningkoefficient på 0,5 motsvarar 100 % negativt utfall under förutsättning att jetflamman riktas åt det aktuella området bedöms denna siffra konservativ. I Figur 4.1 visualiseras de båda areorna.

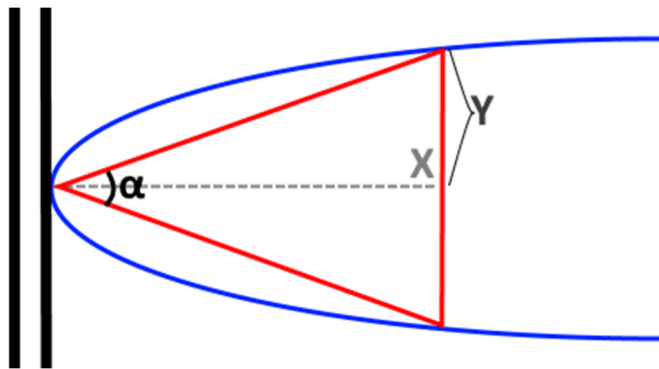


Figur 4.1: Skadeområde från jetflamma markerat i blått inuti halvcirkeln med radie = skaderadie

#### 4.4.1.2 Spridning av gas

För gaser som sprids med vinden har riktningskoefficient beräknats för varje meter in på området. Detta beräknas genom att gasmolnet (fram till avstånd  $X$ ) har approximerats som en likbent triangel med höjden  $X$  och basen motsvarande molnets bredd i  $Y$ -led ( $2 \cdot Y$ ). Spridningsvinkeln  $\alpha$  kan därmed beräknas enligt:

$$\alpha = 2 \cdot \tan^{-1} \left( \frac{Y}{X} \right)$$



Figur 4.2: Beräkning av spridningsvinkeln  $\alpha$

Spridningsvinkeln används slutligen för att beräkna riktningskoefficient enligt:

$$K_{\text{riktning}} = \frac{\alpha}{360}$$

Då spridning av gaser är väldigt beroende av vindriktning har även data över vindriktningar inkluderats vid beräkning av sannolikhet att gasplymen sprids över det aktuella området. Riktningskoefficient multipliceras därmed med summan sannolikheten för de vindriktningar som påverkar området. Se Avsnitt 3.6.

#### 4.4.2 Samhällsrisk

På samma vis som för avståndskoefficienten så kräver samhällsrisken inte att riktningskoefficienten studeras i samma detalj. Likt för individrisken ansätts riktningskoefficienten till 1 för BLEVE, explosion och pölbrand.

För jetflamma och spridning av gas är endast huruvida spridningen sker mot eller bort från området av intresse. Riktningskoefficienten jetflamma har därmed ansätts till 0,5 medan riktningskoefficienten för gasspridning ansätts till sannolikheten att vindriktningen är riktad mot området enligt Avsnitt 3.6.



## 5 Resultat

### 5.1 Olycksfrekvens

Baserat på den indata som redovisas i avsnitt 3.3 erhålls olycksfrekvens för respektive olyckstyp på Skånebanan enligt Tabell 5.1.

Tabell 5.1: Beräknad olycksfrekvens för olika olyckstyper.

Olyckstyp	2018 Frekvens per år	2040 Frekvens per år
Rälsbrott	1,22E-05	1,99E-05
Solkurva	1,00E-05	1,00E-05
Spårlägesfel	9,76E-05	1,59E-04
Växel sliten, trasig	3,35E-05	5,48E-05
Vagnfel	7,56E-04	1,24E-03
Lastförskjutning	9,76E-05	1,59E-04
Annan orsak	1,91E-04	3,12E-04
Okänd orsak	4,69E-04	7,67E-04
Kollision, plankorsning	1,68E-04	2,74E-04
Total sannolikhet för olycka	1,83E-03	2,99E-03

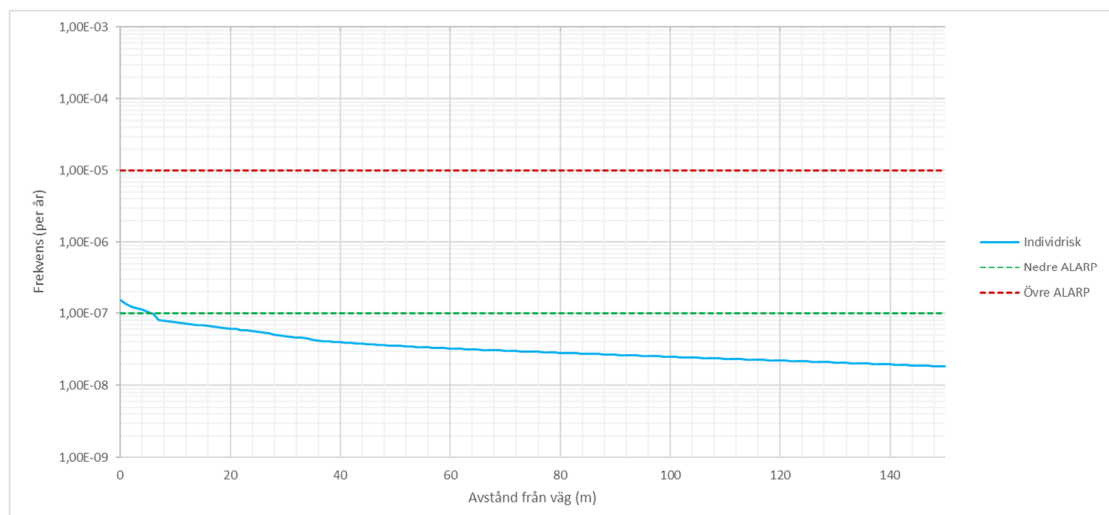
Då 7,5 % av vagnarna medför farligt gods och urspårning i genomsnitt påverkar 3,5 vagnar beräknas sannolikheten att olycka utgör farligt gods olycka enligt:  $1-(1-0,075)^{3,5} = 24\%$ .

Totals uppgår sannolikheten för farligt gods olycka till **4,38E-04** per år för 2018 och **7,14E-04** per år för 2040.

## 5.2 Individrisk

### 5.2.1 Godsmängder för 2018

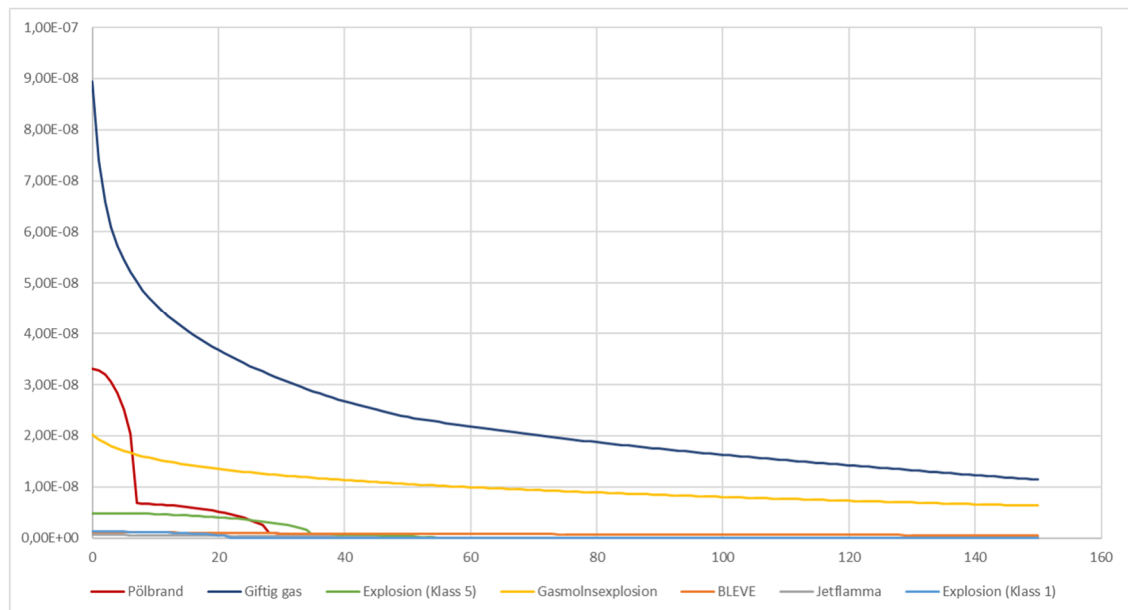
I Figur 5.1 redovisas den totala individrisken som en funktion av avståndet från Skånebanan baserat på godsstatistik från 2018.



Figur 5.1: Beräknad individrisk som en funktion av avståndet från Skånebanan baserat på godsstatistik från 2018

Som framgår av Figur 5.1 så understiger individrisken redan efter ca 5 m den nedre ALARP-gränsen.

För att ge en bättre bild av vilka ämnen som bidrar med vilken risk så har grafen även delats upp efter olycksscenario.

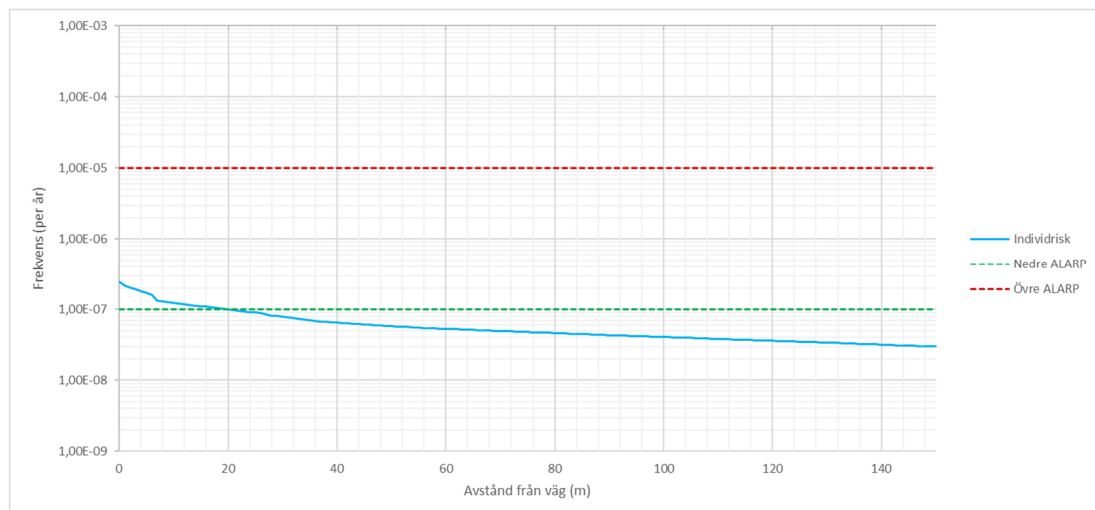


Figur 5.2: Riskbidrag uppdelat på scenario - 2018

Det framgår i Figur 5.2 att giftig gas utgör den i särklass största risken följt av pölbrand i direkt anslutning till spåret och gasmolnsexplosion längre bort från spåret.

## 5.2.2 Godsmängder enligt prognos för 2040

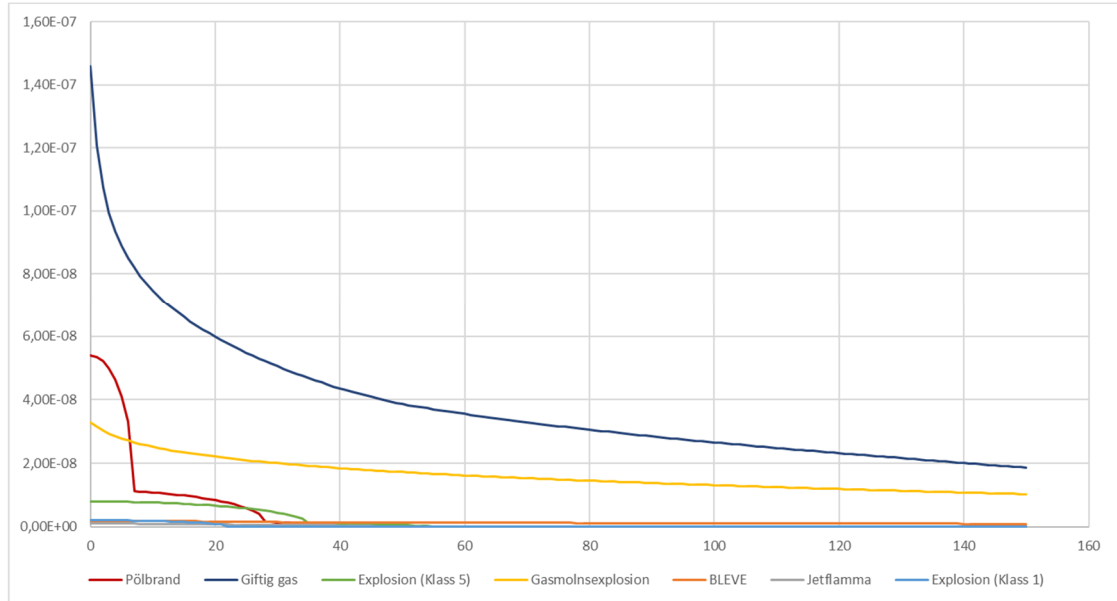
I Figur 5.3 redovisas den totala individrisken som en funktion av avståndet från Skånebanan baserat på godsprognos för 2040.



Figur 5.3 Beräknad individrisk som en funktion av avståndet från Skånebanan baserat på godsprognos för 2040

Som framgår av Figur 5.3 så medför den ökade trafiken att individrisken understiger den nedre ALARP-gränsen efter ca 20 m i stället för 5 m i grundscenariot.

Delats riskbidraget upp efter olycksscenario erhålls följande grafen i



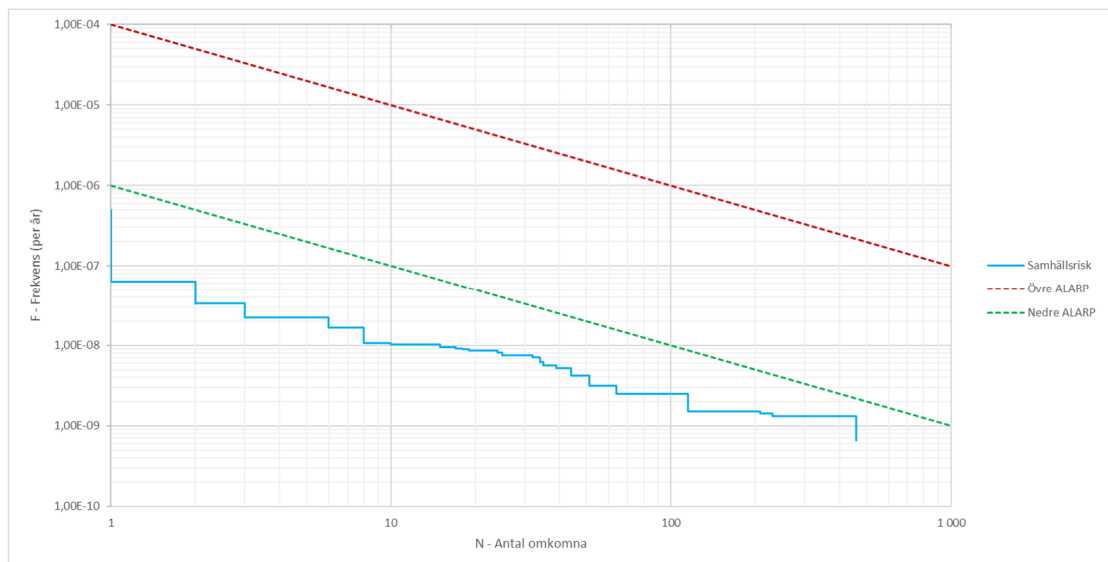
Figur 5.4 Riskbidrag uppdelat på scenario - 2040

Då den ökade trafikmängden slår lika hårt mot samtliga olycksscenarier är Figur 5.4 snarlik Figur 5.2.

## 5.3 Samhällsrisk

### 5.3.1 Godsmängder för 2018

I Figur 5.5 redovisas den kumulativa samhällsrisk inom området baserat på godsstatistik från 2018.

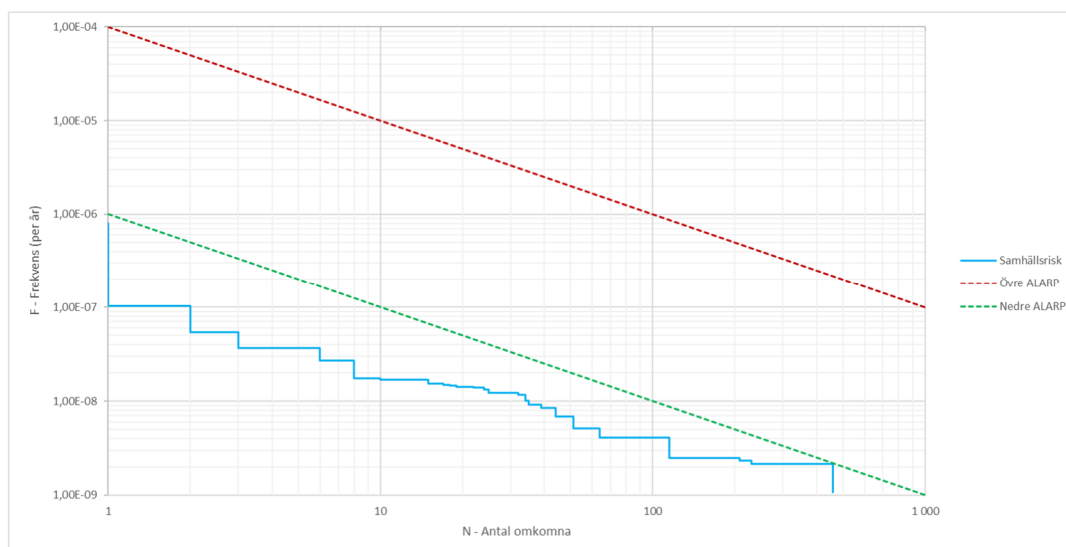


Figur 5.5 Beräknad samhällsrisk presenterad som FN-kurva -2018

Som framgår av Figur 5.5 så understiger samhällskrisen den nedre ALARP-gränsen med god marginal.

### 5.3.2 Godsmängder enligt prognos för 2040

I Figur 5.6 redovisas den kumulativa samhällsrisk inom området baserat på godsprognos för 2040.



Figur 5.6 Beräknad samhällsrisk presenterad som FN-kurva - 2040

Som framgår av Figur 5.6 så medför den ökade godsmängden att samhällsrisken kommer närmare under den nedre ALARP-gränsen. Nedre ALARP-gränsen korsars dock aldrig och samhällsrisken inom området är att beakta som låg även då framtida ökad transportmängd beaktas.

## 5.4 Riskreducerande åtgärder

Då beräknad individrisk understiger den nedre ALARP-gränsen ca. 5 alt. 20 m bort från spåret och närmaste planerad byggnad ligger på ett avstånd om ca. 50 m från spåret hamnar samtliga planerade byggnaderna på mark med *låg* individrisk.

Då även samhällsrisken faller en bra bit under den nedre ALARP-gränsen är det svårt att kräva att några riskreducerande åtgärder vidtas enbart utifrån den beräknade riskbilden.

Då området innefattar förskoleverksamhet bör riskreducerande åtgärder dock övervägas trots de låga risknivåerna. Detta eftersom:

- Barn bedöms ofta som mer skyddsvärda än vuxna.
- Barn kan inte förväntas förflytta sig bort från en olycka på samma sätt som vuxna.
- De skadekriterier som använts i denna analys är generellt baserade data som rör vuxna och barn tendera att vara känsligare i de flesta avseenden.

Då det dominerande olycksscenarioet utgörs av spridning av giftig gas bör följande åtgärder övervägas vid upprättande av förskola:

- Centralt avstängningsbart ventilationssystem.
- Luftintag placeras på den sida av fastigheten som vetter bort från farligt-godsleden.
- Gasdetektion vid ventilationsintag kopplat till gaslarm. Gaslarm ska vara anpassat för de vanligaste förekommande gaserna (ammoniak, svaveldioxid och klor). Vid larm ska ventilationssystemet stängas av inrymningslarm aktiveras.
- Inrymningslarm som uppmanar personer (eller relevant personal) att ta skydd inomhus och stänga samt fönster och ventilationsöppningar.

Notera att ovan åtgärder inte utgör krav utifrån beräknad riskbild utan endast nämns då förskola är att beakta som särskilt känslig verksamhet.

## 6 Diskussion

Resultaten i Avsnitt 5.2 och 5.3, visar på att riskbidraget som Skånebanan medför generellt är litet, främst till följd av det fysiska avståndet om ca 50 m från planerat spår till närmaste planerade byggnad men också som en konsekvens av den typ av farligt gods som passerar området.

Som framgår i Figur 5.2 och Figur 5.4 så utgör brandfarlig vätska, brandfarlig gas och giftig gas majoriteten av riskbidraget. Detta är rimligt då dessa tre ämnen i underlaget utgör ca. 84 % av alla scenarier som beaktats. Brandfarlig vätska har ett relativt kort skadeavstånd som generellt inte når fram till de byggnader som planeras närmaste spåret. Brandfarlig och giftig gas däremot kan under fel väderförhållanden påverka ett mycket stort område.

Brandfarlig gas har antagits döda alla inom skadeområdet, både inomhus och utomhus. I flera av de olycksscenarier som modellerats innebär detta att samtliga personer inom området omkommer. Även om ett tillräckligt stort läckage med brandfarlig gas teoretiskt skulle kunna sträcka sig över hela planområdet bedöms det inte troligt en tågolycka av denna storlek inte skulle medföra att personer inom området reagerar och försöker ta sig därifrån. På samma vis förväntas personer vid en olycka som medför spridning av giftig gas söka skydd inomhus. Denna typ av mänskligt beteende har konservativt bortsätts från i analysen.

En variabel som inte direkt beaktats är att ett urspårande tåg hamnar längre norr ut och att eventuell farligt gods olycka därmed sker närmare den planerade bebyggelsen. En kraftig urspårning där vagnar slungas längre bort från spåret är troligast att ske på det södra spåret där tåg som inte planerar att stanna förväntas passera. Då samtliga beräkningar har utgått från ett fiktivt spår, 10 m närmare planområdet, har denna osäkerhet dock indirekt behandlats. Enligt Avsnitt 3.7.1 är sannolikheten att en vagn skall hamna mer än 15 meter från spåret efter en urspårning vid höga hastigheter (> 30 km/h) cirka 2 %. Dessutom är det lika sannolikt att urspårning sker bort från aktuellt planområde som att det sker mot det.

Individrisken påverkas endast av åtgärder som reducerar risken *att* en olycka sker medan samhällsrisken påverkas av både åtgärder som reducerar risken *att* en olycka sker och åtgärder som reducerar konsekvenserna *när* en olycka skett. Av denna anledning beror individrisken främst på ansatta sannolikheter avseende tågolycka och läckage av farligt gods medan samhällsrisken påverkas av samtliga antaganden i analysen.

Majoriteten valda sannolikheter är direkt hämtade från *RIKTSAM* [1], *Farligt gods* [5] och *Modell för skattning av sannolikheten för järnvägsolyckor som drabbar omgivningen* [6]. Även om osäkerheter alltid finns med avseende på huruvida valda sannolikheter representerar verkligheten kan det med hög säkerhet sägas att valda sannolikheter är hämtade från normgivande och allmänt vedertagna källor. Sannolikheter hämtade från dessa dokumentet bedöms därmed ej kräva ytterligare känslighetsanalys.

Då sannolikheter hämtats från andra källor är oftast för att nyansera de ibland grova antaganden som görs i *RIKTSAM* och *Farligt gods*. Exempel på detta utgörs av:

- Olycksstatistik används för att uppskatta risken för att en brand uppstår och leder till massexplosion alternativt spridning av giftiga klass 6 ämnen. Detta görs konservativt utöver den 4 % risk för explosion som anges i *RIKTSAM* för RID-klass 1.1.
- Då *RIKTSAM* bedömer risker med RID-klass 5 så pass små att det inte behandlas har information hämtats på annat håll.

- Alternativt underlag har använts för att beakta att risken för fördröjd användning beror på läckagets storlek. RIKTSAM använder samma fördelning oavsett storlek på läckage.

Då dessa nyanseringar bedöms ha relativt liten inverkan på resultatet krävs ingen känslighetsanalys av dessa variabler.

En variabel att beakta är fördelning mellan olika RID-klasser. Som redovisas i Tabell 3.3 har en anpassad fördelning legat till grund för beräkningarna i denna analys. Denna anpassade fördelning har i stort baserats på lokal fördelning mellan RID-klasser med undantaget att nationella data för RID-klass 1 använts för även beakta explosion. Om hela det nationella underlaget i stället används kan riskbilden förändras ytterligare.

Då samhällsrisken redovisar förväntat antal omkomna personer är denna kraftigt beroende av antalet personer som vistas inom området. Fler människor medför potentiellt fler dödsfall. I analysen har ett nationellt medelvärde för småhus om 2,7 personer använts men det är inte omöjligt att ett större antal personer skulle kunna vistas inom området.

## 6.1 Känslighetsanalys

Baserat på resonemangen ovan kommer känslighetsanalys att utföras med avseende på:

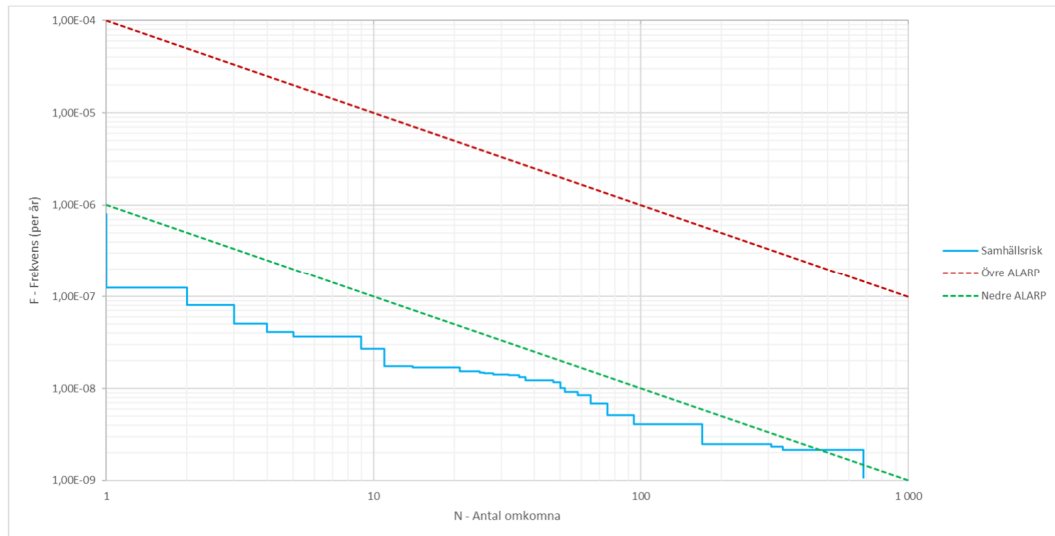
- Ökat personantal inom området (4 personer per bostad och en ökning på ca 48 %)
- Nationell fördelning av RID-klasser

Känslighetsanalys baseras konservativt på prognos för 2040.

### 6.1.1 Ökat personantal

Då ökat personantal endast påverkar samhällsrisken redovisas inte individrisken i detta scenario.

Då personantalet inom området ökas från 460 personer till 680 personer närmare sig kurvan den nedre delen av ALARP-området något. Detta blir dock tydligt i de scenarier då samtliga personer inom planområdet antas omkomma (Gasmolnsexplosion) i och med att kurvad då passerar in i ALARP-området.

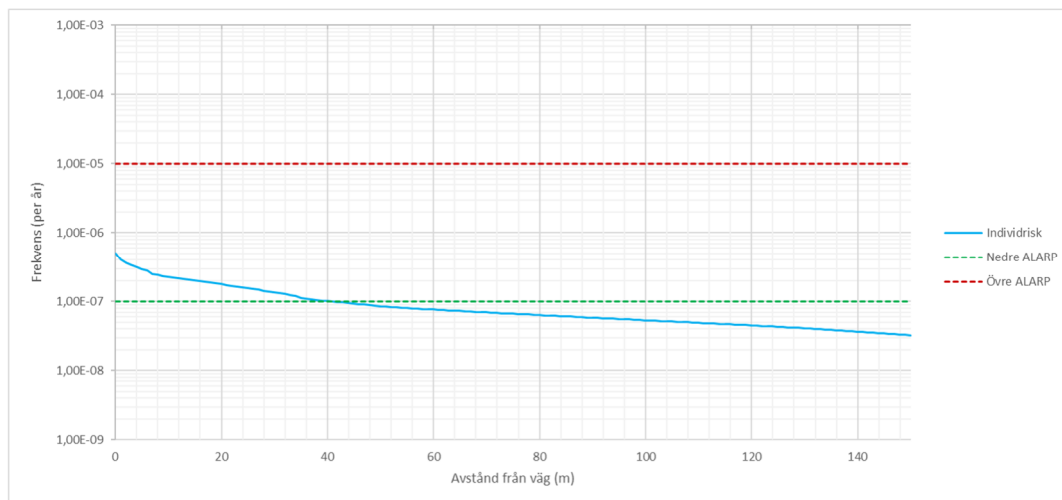


Figur 6.1 Beräknad samhällsrisk vid ökat personantal presenterad som FN-kurva

Som tidigare nämnts så anses dock dessa scenarier, där samtliga personer inom området beräknas omkomma, inte utgöra ett särskilt troligt scenario.

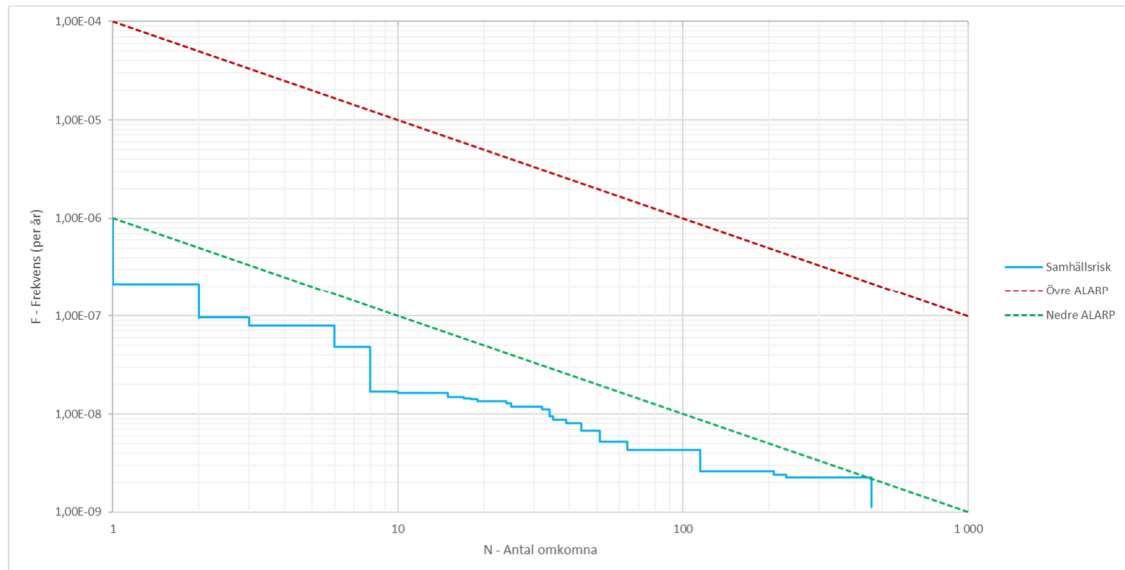
## 6.1.2 Nationell fördelning av RID-klasser

Då fördelning av RID-klasser påverkar både individrisk och samhällsrisk redovisas båda dessa förändringar.



Figur 6.2 Beräknad individrisk som en funktion av avståndet från Skånebanan vid nationell fördelning av RID-klasser

Som framgår av Figur 6.2 så medför nationell fördelning av RID-klasser att individrisken understiger den nedre ALARP-gränsen efter ca 40 m i stället för 20 m i grundscenariot för 2040. Då ingen bebyggelse planeras inom 50 m av det närmaste planerade spåret tillhandahålls fortfarande tillräckligt säkerhetsavstånd.



Figur 6.3 Beräknad samhällsrisik vid nationell fördelning av RID-klasser presenterad som FN-kurva

Skillnaden i samhällsrisik mellan Figur 5.5 och Figur 6.3 är marginell.

## 7 Slutsats

Det kan konstateras att trafiken längst Skånebanan medför oacceptabel risk inom spårets direkta närhet och i känslighetsanalysen upp till 40 m från spåret. Då ingen känslig bebyggelse planeras inom ca 50 m av spåret medför detta dock att riskbilden reduceras tillräckligt fram till de första byggnaderna så att all planerad bebyggelse sker på mark med acceptabel risk.

Inom de delar där bebyggelse planeras understiger individrisken ALARP-området och planområdet som helhet medför acceptabel samhällsrisik.

Då förskoleverksamhet planeras inom planområdet kan det, trots de låga risknivåerna, vara försvarbart att vidta vissa skyddsreducerande åtgärder. Dessa redovisas i Avsnitt 5.4.

Utifrån detta bedömer Brand och Riskteknik att riskbilden inom området är acceptabel.



## Referenser

- [1] C.-A. Stenberg, Riktlinjer för riskhänsyn i samhällsplaneringen - Bebyggelseplanering intill väg och järnväg med transport av farligt gods, Länsstyrelsen i Skåne län, 2007.
- [2] SCB, "Hushållens boende 2017," 2018. [Online]. Available: <https://www.scb.se/hitta-statistik/statistik-efter-amne/hushallens-ekonomi/inkomster-och-inkomstfordelning/hushallens-boende/pong/statistiknyhet/hushallens-boende>. [Använd 2022].
- [3] Regional utveckling, enheten för transport och infrastruktur , Systemanalys för transportsystemet i Skåne 2020, Region Skåne, 2020.
- [4] Trafikverket, "NJDB på webb," 2019. [Online].
- [5] Räddningsverket, "Farligt Gods - Riskbedömning vid transport," Statens räddningsverk, Karlstad, 1996.
- [6] Fréden S., "Rapport 2001:5 - Modell för skattning av sannolikheten för järnvägsolyckor som drabbar omgivningen," Banverket, Miljösektionen, 2021.
- [7] MSB, "Kartläggning av farligt godstransporter," 2006.
- [8] SMHI, "Ladda ner meteorologiska observationer," [Online]. Available: <https://www.smhi.se/data/meteorologi/ladda-ner-meteorologiska-observationer>.
- [9] Statens institut för kommunikationsanalys (SIKA), "Vägtrafikskador 2004 - Rapport 2005:14," Statistiska centralbyrån, Stockholm, 2005.
- [10] Nystedt, Fredrik, "Riskutredning avseende närhet till Södra stambanan," Briab Brand & Riskingenjörerna AB, Malmö, 2017.
- [11] G. Purdy, "Risk analysis of the transportation of dangerous goods by road and rail," Elsevier Science Publishers B.V, Amsterdam, 1993.
- [12] Göteborgs kommun, "Översiktsplan för Göteborg – Fördjupad för sektorn transporter av farligt gods," Göteborg, 1997.
- [13] Försvarsverkets Forskningsanstalt , "Vårdautsläpp av brandfarliga och giftiga gaser och vätskor - Metoder för bedömning av risker," Statens Räddningsverk, Styrelsen för Svensk Brandforskning, Arbetsmiljöfonden, 1998.
- [14] Morgan Johansson, "Beräkningsanvisning för last - TNT-explosion i det fria," MSB, 2012.
- [15] Committee for the prevention of disasters, CPR 16E - Methods for the determination of possible damage., Den Haag, 1992.

- [16] Center for Chemical Process Safety of the American Institute of Chemical Engineers, Guidelines for Chemical Process Quantitative Risk Analysis, New York: CPQRA, 1989.
- [17] Räddningsverket, "Handbok för riskanalyser," Räddningsverket, 2003.
- [18] Directorate-General for Social Affairs and Employment, "Guidelines for quantitative risk assessment: Purple Book (CPR 18E)," Committee for Prevention of Disasters by Hazardous Materials, Nederländerna, 2005.
- [19] B. Karlsson och J. G. Quintiere, Enclosure Fire Dynamics, 1999.

## Bilaga A Tabeller

FOA-handbokens Tabell 8.10 med tillägg för  $K_s$  och  $\beta$

Stabilitet	$a_y$	$b_y$	$y_y$	$a_z$	$b_z$	$y_z$	$K_s$	$\beta$
A	0,32	0,0004	0,5	0,24	0,001	-0,5	1	0,08*
B	0,32	0,0004	0,5	0,24	0,001	-0,5	1	0,08*
C	0,22	0,0004	0,5	0,20	0	0	1	0,08*
D	0,16	0,0004	0,5	0,14	0,0003	0,5	1	0,08
E	0,11	0,0004	0,5	0,08	0,0015	0,5	1,75	0,06
F	0,11	0,0004	0,5	0,08	0,0015	0,5	3,5	0,04

\*För instabil skiktning (Pasquill A-C) saknas experimentaldata, men det kan visas att användning av  $b = 0,08$  inte underskattar koncentrationerna.

Relevanta kolumner ur Tabell 4.1 i B02-111 [14]

Z [m/kg <sup>1/3</sup> ]	$P_s^+$ [kPa]
0,1	30 830
0,2	15 300
0,3	8 996
0,4	5 745
0,6	2 747
0,8	1 521
1	935
1,2	620
1,4	437
1,6	322
1,8	247
2	195
2,4	130
3	82
4	46
5	31
6	23
7	18
8	15
10	11
12	9
16	6
20	5

## Bilaga B Ekvationer

### B.1 Explosion

Det skalade avståndet ( $Z$  [ $\text{m}/\text{kg}^{1/3}$ ]) beräknas med ekvation 3.1 och 3.2 i B02-111 [14] enligt:

$$Z = \frac{r}{(\alpha \cdot W)^{1/3}}$$

Där:

$r$	Avståndet från explosionens center	[m]
$\alpha$	Belastningssituations faktor (1,8 vid halvsfärisk utbredning)	
$W$	Mängd TNT	[kg]

Baserat på  $Z$  har övertrycket  $P_s^+$  utlästs från Tabell 4,1 i B02-111 [14]; se Bilaga A.

### B.2 BLEVE

BLEVE:ns diameter ( $D_{BLEVE}$  [m]) och varaktighet ( $t_{BLEVE}$  [s]) är hämtade från ekvation 11:11 och 11:12 i FOA-handboken [13] och beräknas enligt:

$$D_{BLEVE} = 6,5 \cdot M_{utsläpp}^{1/3}$$

$$t_{BLEVE} = 0,85 \cdot M_{utsläpp}^{0,26}$$

Där:

$M_{utsläpp}$	Utsläppets massa	[kg]
---------------	------------------	------

BLEVE:ns utgående strålning ( $\dot{q}_{BLEVE}''$  [ $\text{kW}/\text{m}^2$ ]) baseras på att hela förbränningen fördelas över ytan på en sfär och varaktigheten ( $t_{BLEVE}$  [s]) och beräknas genom:

$$\dot{q}_{BLEVE}'' = \frac{M_{utsläpp} \cdot \Delta h_c \cdot X_e}{t_{BLEVE} \cdot \pi \cdot D_{BLEVE}^2}$$

Där:

$\Delta h_c$	Förbränningsvärme	[kJ/kg]
$X_e$	Strålningsandel	[-]

Synfaktorn ( $F_{BLEVE \rightarrow x}$ ) mellan och punkt X härleds från ekvation 11:28 i FOA-handboken [13] med vinkeln 0 och beräknas enligt:

$$F_{BLEVE \rightarrow x} = \frac{D^2}{4 \cdot X^2}$$

Infallande strålning ( $q_x$  [ $\text{kW}/\text{m}^2$ ]) från BLEVE:n till punkt X beräknas enligt:

$$q_x = F_{BLEVE \rightarrow x} \cdot \dot{q}_{BLEVE}''$$

Strålningsdosen ( $E_x''$ ) i punkt X beräknas enligt ekvation 3.3 i Green Book [15]:

$$E''_x = t_{BLEVE} \cdot q_x^{4/3}$$

Skadeområdet ( $A_{SO}$  [m<sup>2</sup>]) beräknas som halva arean av en cirkel med radien  $X_{Kritisk}$ :

$$A_{SO} = \frac{\pi \cdot X_{Kritisk}^2}{2}$$

Där:

$X_{Kritisk}$  Avståndet till kritisk strålning upphör [m]

## B.3 Gasspridning i luft

Den effektiva molvikten ( $m_{ge}$  [g/mol]) beräknas enligt ekvation 8:33 i FOA-handboken [13]:

$$m_{ge} = m_g \left[ 1 + \frac{h_{fg} + c_{pg}(T_a - T_f)}{c_{pa} \cdot T_a} \right]$$

Där:

$m_g$  Gasens molvikt [g/mol]

$h_{fg}$  Ångbildningsvärme hos vätskan [J/kg]

$c_{pg}$  Gasens specifika värme [J/kg K]

$T_a$  Omgivande temperatur [K]

$T_f$  Gasens temperatur [K]

$c_{pa}$  Specifika värme för fuktig luft [J/kg K]

"Längdskala för buoyancy" ( $L_b$  [m]) beräknas med hjälp av ekvation 8:34 i FOA-handboken [13] enligt:

$$L_b = g \left( 1 - \frac{m_a}{m_{ge}} \right) \cdot \frac{Q}{\rho_a \cdot U^3}$$

Där:

$g$  Tyngdaccelerationen [m/s<sup>2</sup>]

$m_a$  Densiteten för luft [kg/m<sup>3</sup>]

$\rho_a$  Densiteten för luft [kg/m<sup>3</sup>]

$Q$  Massflödet [kg/s]

$U$  Vindhastigheten [m/s]

### B.3.1 Tunggasspridning

Avståndsvillkor för tunggasmodellens giltighet ( $x_{MAX}$  [m]) beräknas med hjälp av ekvationerna 8:35 och 8:35 i FOA-handboken [13] enligt:

$$x_{MAX} = \frac{0,037 \cdot L_b}{(\sigma'_{yp})^3} - \frac{\sigma_{y0}^{3/2}}{0,35 \cdot L_b^{1/2}}$$

Tillsammans med ekvation 8:36 och 8:27 i FOA-handboken [13]:

$$\sigma'_{y0} = \sigma'_{z0} = 0,6 \sqrt{\frac{Q}{\rho_a \cdot U} \cdot \frac{m_g + m_a}{m_g}} \quad \& \quad \sigma'_{yp} = \beta \left(\frac{z_0}{z_{03}}\right)^{0,2}$$

Där:

$\beta$	Konstant som beror på stabilitetsklass	[-]
$z_0$	Skrovlighetslängd	[m]
$z_{03}$	Referenslängd skrovlighet, 0,03	[m]

Koncentration längst X-axeln ( $x$ ) beräknas med hjälp av ekvation 8:22 i FOA-handboken [13] enligt:

$$\chi(x, 0, 0) = \frac{85Q \cdot K_r^{-1} \cdot K_s}{(x + \sqrt{85\pi \cdot K_r^{-1} \cdot K_s \cdot \sigma_{z0} \cdot \sigma_{y0}})^2 \cdot U} \quad \& \quad K_r = \left(\frac{z_0}{z_{01}}\right)^{0,2}$$

Där:

$x$	Avståndet från källan [m]	
$\sigma_{y0}$	Normalfördelning längst Y-axeln i källan (ofta 0)	[m]
$\sigma_{z0}$	Normalfördelning längst Z-axeln i källan (ofta 0)	[m]
$z_{01}$	Referenslängd skrovlighet, 0,01	[m]

Avståndet till kritisk koncentration ( $\chi$  [kg/m<sup>3</sup>]) längst Y-axeln ( $y$  [m]) härleds från ekvation 8:22 i FOA-handboken [13] och beräknas enligt:

$$\chi(x, y, 0) = \frac{Q}{\pi \cdot \sigma_y \cdot \sigma_z \cdot U} \cdot e^{-\left(\frac{y^2}{2 \cdot \sigma_y^2}\right)} \rightarrow y = \mp \sqrt{\left|2 \cdot \sigma_y^2 \ln\left(\frac{\chi \cdot \pi \cdot \sigma_y \cdot \sigma_z \cdot U}{Q}\right)\right|}$$

Tillsammans med ekvation 8:37 och 8:38 i FOA-handboken [13]:

$$\sigma_y = (\sigma_{y0}^{3/2} + 0,35 \cdot L_b^{1/2} \cdot x)^{2/3} \quad \& \quad \sigma_z = \frac{(x + \sqrt{85\pi \cdot K_r^{-1} \cdot K_s \cdot \sigma_{z0} \cdot \sigma_{y0}})^2}{85\pi \cdot K_r^{-1} \cdot K_s \cdot \sigma_y}$$

Där:

$K_s$	Konstant som beror på stabilitetsklass	[-]
-------	----------------------------------------	-----

### B.3.2 Passiv spridning

När  $x > x_{MAX}$  är inte längre modellen för tunggasspridning giltig.  $x_{MAX}$  ansätts då som  $x_0$  i modell för passiv spridning tillsammans med nya värden för  $\sigma$  där  $\sigma_y(x_{MAX})$  används som  $\sigma_{y0}$  och  $\sigma_z(x_{MAX})$  som  $\sigma_{z0}$ .

Baserat på ekvation 8:42 i FOA-handboken [13] beräknas  $x_{y0}$  för  $y_y = 0,5$  enligt:

$$x_{y0} = \frac{\left(\frac{\sigma_{y0}}{K_{rp} \cdot K_{yt}}\right)^2 \cdot b_y + \frac{\sigma_{y0}}{K_{rp} \cdot K_{yt}} \sqrt{\left(\frac{\sigma_{y0}}{K_{rp} \cdot K_{yt}}\right)^2 b_y^2 + 4a_y^2}}{2a_y^2}$$

och baserat på ekvation 8:44 i FOA-handboken [13] beräknas  $x_{z0}$  för  $y_z = 0,5$  enligt:

$$x_{z0} = \frac{\left(\frac{\sigma_{z0}}{K_{rp}}\right)^2 \cdot b_z + \frac{\sigma_{z0}}{K_{rp}} \sqrt{\left(\frac{\sigma_{z0}}{K_{rp}}\right)^2 b_z^2 + 4a_z^2}}{2a_z^2}$$

Där:

$b_y, a_y, b_z,$  och  $a_z$  är hämtade från Tabell 8.10 i FOA-handboken [13]

$K_{rp}$  Skrovlighetskonstant (1 för bebyggt område) [-]

$K_{yt}$  Kvoten medelvärdesbildningstiden och medelvärdetiden  
(1 då dessa är samma) [-]

Koncentration längst X-axeln ( $x$ ) beräknas med hjälp av ekvation 8:26 i FOA-handboken [13] enligt:

$$\chi(x, 0, 0) = \frac{Q}{\pi \cdot \sigma_z \cdot \sigma_y \cdot U}$$

Tillsammans med ekvation 8:41 och tabell 8.10 i FOA-handboken [13]:

$$\sigma_y = \frac{a_y(x + x_{y0})}{(1 + b_y(x + x_{y0}))^{y_y}} \cdot K_{rp} \cdot K_{yt} \quad \& \quad \sigma_z = \frac{a_z(x + x_{z0})}{(1 + b_z(x + x_{z0}))^{y_z}} \cdot K_{rp} \cdot$$

$y_y$  och  $y_z$  är hämtade från Tabell 8.10 i FOA-handboken [13].

Avståndet till kritisk koncentration ( $\chi$  [kg/m<sup>3</sup>]) längst Y-axeln ( $y$  [m]) beräknas på samma vis som för tunggasspridning.

Skadeområdet ( $A_{S0}$  [m<sup>2</sup>]) beräknas som summan av plymens bredd ( $2 \cdot \chi(x, y, 0)_{Kritisk}$ ) för varje meter mellan utsläppskällan och  $\chi(x, 0, 0)_{Kritisk}$ :

$$A_S = \sum_0^{\chi(x,0,0)_{Kritisk}} 1 \cdot 2 \cdot \chi(x, y, 0)_{Kritisk}$$

Där:

$\chi(x, 0, 0)_{Kritisk}$  Avstånd; kritisk koncentration, X-axeln [m]

$\chi(x, y, 0)_{Kritisk}$  Avstånd; kritisk koncentration längst plymens centerlinje, Y-axeln [m]

Detta medför att skadeområdet överskattas nära källan men felet avtar sedan  $\chi(x, 0, 0)_{kritisk}$ .

## B.4 Jetflamma

Jetflammans längd ( $L_{jet}$  [m]) beräknas med hjälp av ekvation 2.2.66 i *Guidelines for Chemical Process Quantitative Risk Analysis* [16] enligt:

$$L_{jet} = 9,1 \cdot \dot{m}_{utsläpp}^{0,5}$$

Där:

$\dot{m}_{utsläpp}$       Utsläppet hastighet      [kg/s]

Jetflammans bredd vid flamfronten ( $W_{jet}$  [m]) beräknas med hjälp av ekvation 2.2.67 i *Guidelines for Chemical Process Quantitative Risk Analysis* [16] enligt:

$$W_{jet} = 0,25 \cdot L_{jet}$$

Slutligen beräknas avståndet ( $r_{s,50}$  [m]) längst jetflammans sida där strålningen medför 50 % dödlighet efter 10 sekunders strålningsdos ( $t$  [s]). Detta görs med hjälp av ekvation 2.2.67 i *Guidelines for Chemical Process Quantitative Risk Analysis* [16] enligt:

$$r_{s,50} = 1,9 \cdot t^{0,4} \cdot \dot{m}_{utsläpp}^{0,47}$$

Skadeområdet ansetts konservativt som en kvadrat med sidorna ( $L_{jet} + r_{s,50}$ ) och ( $W_{jet} + 2 \cdot r_{s,50}$ ).

## B.5 Pölbrand

Pölbrandens teoretiska area ( $A_{teori}$  [m<sup>2</sup>]) beräknas enligt ekvation 7:6 och 7:7 i FOA-handboken [13]:

$$A_{teori} = \frac{V_{utsläpp}}{\delta}$$

Där:

$V_{utsläpp}$       Utsläppets volym      [m<sup>3</sup>]

$\delta$               0,01                              [m]

Tillgänglig uppsamlingsarea ( $A_{uppsamling}$  [m<sup>2</sup>]) beräknas enligt:

$$A_{uppsamling} = S_{avrinning} \cdot S_{väg}$$

Där:

$S_{väg}$               Vägens bredd från vägkant till vägkant      [m]

$S_{avrinning}$       Avståndet mellan två avrinningspunkter      [m]



Pölbrandens dimensionerande area ( $A_{pöl}$  [m<sup>2</sup>]) beräknas enligt:

$$A_{pöl} = \text{Min} [A_{\text{uppsamling}}, A_{\text{teori}}]$$

Pölbrandens dimensionerande diameter ( $D_{pöl}$  [m]) beräknas enligt:

$$D_{pöl} = 2 \sqrt{\frac{A_{pöl}}{\pi}}$$

Pölbrandens massavbränning ( $\dot{m}''_{pöl}$  [(kg/s)/m<sup>2</sup>]) beräknas enligt ekvation 3.6 i Enclosure Fire Dynamics [19]:

$$\dot{m}''_{pöl} = \dot{m}''_{\infty} \cdot (1 - e^{-k\beta D_{pöl}})$$

Där:

$\dot{m}''_{\infty}$	Ämnets massavbränning för oändligt stor pölbrand	[(kg/s)/m <sup>2</sup> ]
$k\beta$	Ämnesspecifika tabellvärde	[m <sup>-1</sup> ]

Pölbrandens flamhöjd ( $h_{pöl}$  [m]) beräknas enligt ekvation 11:4 i FOA-handboken [13]:

$$h_{pöl} = D_{pöl} \cdot 4.2 \left[ \frac{\dot{m}''_{pöl}}{\rho \cdot \sqrt{g \cdot D_{pöl}}} \right]^{0,61}$$

Där:

$\rho$	Densiteten för luft	[kg/m <sup>3</sup> ]
$g$	Tyngdaccelerationen (9,81)	[m/s <sup>2</sup> ]

Pölbrandens utgående strålning ( $\dot{q}''_{pöl}$  [kW/m<sup>2</sup>]) baseras på ekvation 3.5 i Enclosure Fire Dynamics [19] delat på arean av en cylinder med höjden  $h_{pöl}$  och beräknas genom:

$$\dot{q}''_{pöl} = \frac{\dot{m}''_{pöl} \cdot \Delta h_c \cdot A_{pöl} \cdot \chi_e}{D_{pöl} \cdot \pi \cdot h_{pöl}}$$

Där:

$\Delta h_c$	Förbränningsvärme	[kJ/kg]
$\chi_e$	Strålningsandel	[-]

Synfaktorn ( $F_{pöl \rightarrow x}$ ) mellan pölbranden och punkt X baseras på ekvation 11:14 – 11:20 i FOA-handboken [13] och beräknas enligt:

$$F_{pöl \rightarrow x} = \sqrt{F_h^2 + F_v^2}$$

$$F_h = \frac{1}{\pi} \left[ \tan^{-1} \sqrt{\frac{x_r + 1}{x_r - 1}} - \frac{x_r^2 - 1 + h_r^2}{\sqrt{AB}} \tan^{-1} \sqrt{\frac{(x_r - 1)A}{(x_r + 1)B}} \right]$$

$$F_v = \frac{1}{\pi} \left[ \frac{1}{x_r} \tan^{-1} \left( \frac{h_r}{\sqrt{x_r^2 - 1}} \right) + \frac{h_r(A - 2x_r)}{x_r \sqrt{AB}} \tan^{-1} \sqrt{\frac{(x_r - 1)A}{(x_r + 1)B}} - \frac{h_r}{x_r} \tan^{-1} \sqrt{\frac{x_r + 1}{x_r - 1}} \right]$$

$$A = (x_r + 1)^2 + h_r^2$$

$$B = (x_r - 1)^2 + h_r^2$$

$$h_r = \frac{2h_{pöl}}{D_{pöl}}$$

$$x_r = \frac{2x}{D_{pöl}}$$

Där:

$x$  Avståndet mellan pölbrandens center och punkten  $x$  [m]

Skadeområdet ( $A_{SO}$  [m<sup>2</sup>]) beräknas som halva arean av en cirkel med radien  $X_{kritisk}$ :

$$A_{SO} = \frac{\pi \cdot X_{kritisk}^2}{2}$$

Där:

$X_{kritisk}$  Avståndet till kritisk strålning upphör [m]

Infallande strålning ( $q_x$  [kW/m<sup>2</sup>]) från pölbranden till punkt  $X$  beräknas enligt:

$$q_x = F_{p \rightarrow x} \cdot q_{pöl}$$