

# Risicanalys avseende järnvägsolyckor

Utredning i samband med planarbetet för  
Kålleröd centrum i Mölndals stad

2017-05-18 (Rev. 1)  
~~2016-06-10~~

# Risakanalys avseende olyckor med farligt gods

## Utredning i samband med planarbetet för Kållered centrum i Mölndals stad

### Beställare

Mölndals stad  
Anna Sundin

### Konsult

Wuz risk consultancy AB  
Box 72  
244 22 Kävlinge  
Tel: 046-14 02 01  
Orgnr: 556725-9394  
www.wuz.se

### Uppdragsansvarig

Fredrik Nystedt, brandingenjör LTH, tekn. lic.  
fredrik@wuz.se, 0709-14 01 03

.....

### Kvalitetssäkring

Mattias Delin, brandingenjör, DeBrand Sverige AB  
mattias.delin@debrand.se, 0733-25 80 25

.....

### Dokumenthistorik

<u>Datum</u>	<u>Dokument</u>	<u>Kommentar</u>
2017-05-18	Rev. 1	Rapporten kompletterad med riskbedömning för framtidsprognosen samt ett avsnitt om effekten av högt placerade luftintag
2016-06-10	Rapport	Kontrollerad

## Innehållsförteckning

<b>1</b>	<b>Inledning.....</b>	<b>4</b>
1.1	Omfattning.....	4
1.2	Metod.....	5
1.3	Avgränsningar.....	5
1.4	Styrande dokument.....	5
1.5	Principer och kriterier för riskvärdering.....	7
<b>2</b>	<b>Förutsättningar.....</b>	<b>13</b>
2.1	Planområdet.....	13
2.2	Västkustbanan.....	14
2.3	Kriterier för värdering av risk.....	15
<b>3</b>	<b>Riskidentifiering.....</b>	<b>16</b>
3.1	Transporter av farligt gods.....	16
3.2	Mekanisk skada vid urspårning.....	19
<b>4</b>	<b>Preliminär riskvärdering.....</b>	<b>20</b>
4.1	Risknivå längs Västkustbanan.....	20
4.2	Behov av säkerhetshöjande åtgärder.....	21
<b>5</b>	<b>Utformning av säkerhetshöjande åtgärder.....</b>	<b>23</b>
5.1	Skydd mot brandspridning.....	23
5.2	Utformning av byggnad och område.....	23
<b>6</b>	<b>Slutlig riskvärdering och rekommendationer.....</b>	<b>24</b>
6.1	Allmänt.....	24
6.2	Risikvärdering.....	24
6.3	Rekommendationer.....	25
<b>A.</b>	<b>Sannolikhets- och statistikteori.....</b>	<b>27</b>
<b>B.</b>	<b>Frekvenser för olycka med farligt gods.....</b>	<b>29</b>
B.1	Generella indata.....	29
B.2	Transportstatistik.....	32
B.3	Scenarier.....	34
B.4	Olyckor på Västkustbanan.....	36
<b>C.</b>	<b>Konsekvenser av olyckor med farligt gods.....</b>	<b>40</b>
C.1	Beräkning av konsekvenser.....	40
C.2	Indata.....	49
C.3	Resultat.....	51
<b>D.</b>	<b>Frekvenser och konsekvenser för mekanisk skada vid urspårning.....</b>	<b>56</b>
D.1	Frekvens för urspårning.....	56
D.2	Konsekvenser av urspårning.....	56
<b>E.</b>	<b>Risiknivå utmed Västkustbanan.....</b>	<b>57</b>
E.1	Modell för beräkning av individrisk.....	57
E.2	Modell för beräkning av samhällsrisk.....	61
E.3	Resultat.....	64
<b>F.</b>	<b>Känslighetsanalys.....</b>	<b>67</b>
F.1	Olycksfrekvenser.....	67
F.2	Konsekvenser av olyckor med farligt gods.....	68
F.3	Slutsatser.....	71
<b>G.</b>	<b>Säkerhetshöjande åtgärder.....</b>	<b>72</b>
G.1	Skydd mot brandspridning.....	72
G.2	Högt placerade luftintag.....	72

## 1 Inledning

Wuz risk consultancy AB har på uppdrag av Mölndals stad utfört en analys av olycksrisken avseende transport av farligt gods på Väst kustbanan förbi Källered centrum. En övergripande riskinventering identifierar följande riskkällor för planområdet:

- ♦ Transporter av farligt gods
- ♦ Mekanisk skada vid urspårning

Inga Sevesoanläggningar eller andra farliga verksamheter har identifierats inom eller i planområdets närhet.

### 1.1 Omfattning

Analysen omfattar risker till följd järnvägstrafik och transport av farligt gods på Väst kustbanan vid passage förbi Källered centrum. Analysen avgränsas till området öster om Gamla riksvägen, se Figur 1.



**Figur 1** Utredningen avgränsas till Källered centrum beläget öster om Gamla riksvägen.

Risken analysen besvarar följande centrala frågeställningar.

- ♦ Hur stor är risknivån med anledning mekanisk skada vid urspårning samt att det transporteras farligt gods på Väst kustbanan?
- ♦ Hur kan riskhänsyn visas och finns det ett behov av åtgärder eller begränsningar för att möjliggöra föreslagen utveckling av Källered centrum?

## 1.2 Metod

Analysen arbetar efter följande frågeschema:

- ♦ Vad kan hända?
- ♦ Hur ofta kan det hända?
- ♦ Vilka blir konsekvenserna?
- ♦ Hur stor är risken?

Se även avsnitt 1.5 om riskvärdering.

## 1.3 Avgränsningar

Med risk avses i dessa sammanhang en sammanvägning av frekvensen för en olycka och dess konsekvens. Rapporten behandlar akuta risker för människors liv, s.k. olycksrisker vilka är relaterade till transport av farligt gods. Följande risker behandlas ej:

- ♦ Risker för egendom, arbetsmiljö och påverkan på miljön.
- ♦ Risker förknippade med buller, vibrationer, elsäkerhet och luftföroreningar i det aktuella området.
- ♦ Risker relaterade till trafiksäkerhet som påkörning av personer, etc.

## 1.4 Styrande dokument

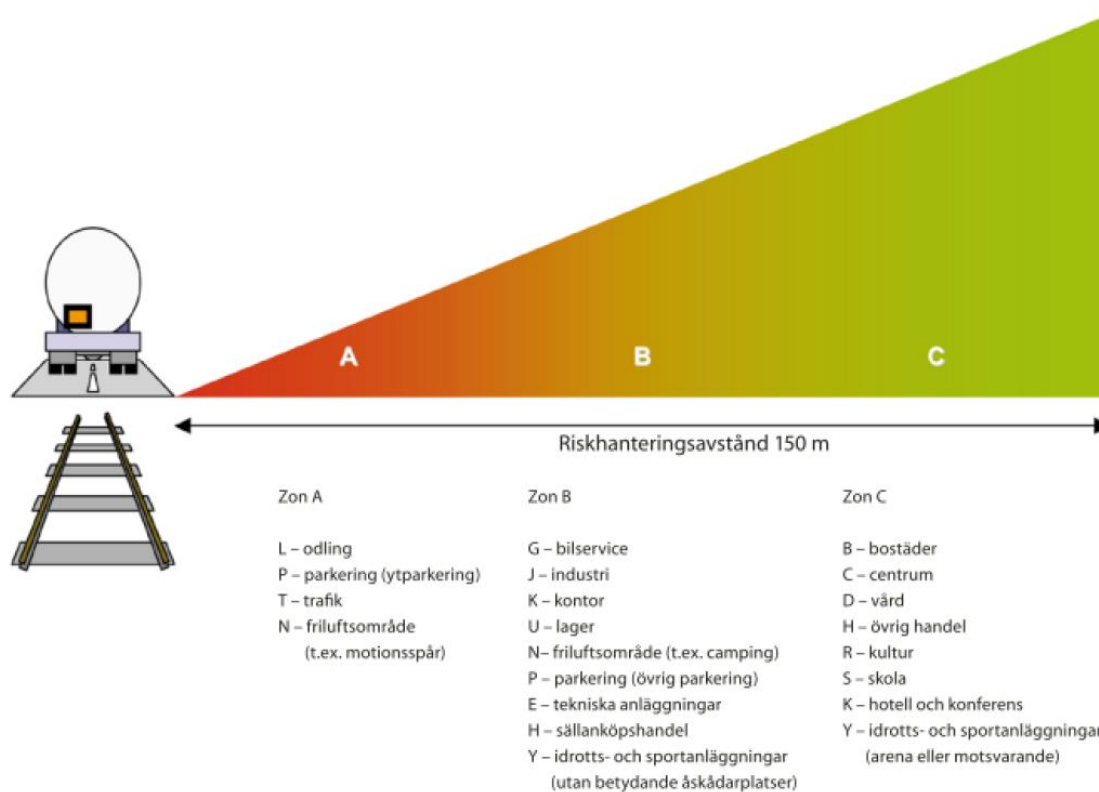
### 1.4.1 Plan- och bygglagen (2010:900)

Plan- och bygglagen (2010:900) anger att bebyggelse och byggnadsverk ska lokaliseras till mark som är lämpad för ändamålet med hänsyn till bl.a. människors hälsa och säkerhet. Vidare ska bebyggelse och byggnadsverk utformas och placeras på den avsedda marken på ett sätt som är lämpligt med hänsyn till bl.a. skydd mot uppkomst och spridning av brand och mot trafikolyckor och andra olyckshändelser.

1.4.2 Riskpolicy från Länsstyrelserna i Skåne, Stockholm och Västra Götalands län  
Länsstyrelsernas i Skånes, Stockholms samt Västra Götalands län gemensamma dokument Riskhantering i detaljplanprocessen<sup>1</sup> anger att riskhanteringsprocessen ska beaktas vid markanvändning inom 150 meter från en transportled för farligt gods. I Figur 2 illustreras lämplig markanvändning i anslutning till transportleder för farligt gods. Zonerna har inga fasta gränser, utan riskbilden för det aktuella planområdet är avgörande för markanvändningens placering. En och samma markanvändning kan därmed tillhöra olika zoner.

---

<sup>1</sup> Länsstyrelserna i Skåne, Stockholms och Västra Götalands län. *Riskhantering i detaljplanprocessen – riskpolicy för markanvändning intill transportleder för farligt gods*, 2006

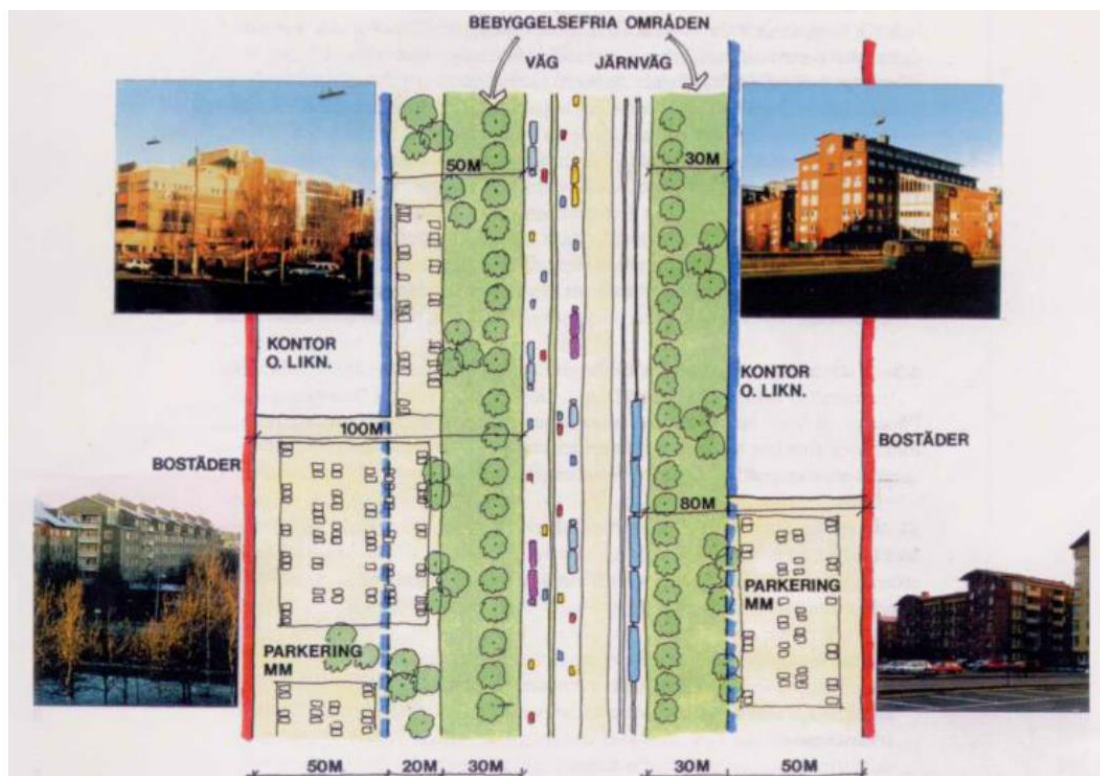


**Figur 2 Zonindelning för riskhanteringsavstånd. Zonerna representerar lämplig markanvändning i förhållande till transportled för farligt gods**

### 1.4.3 Göteborgs översiktsplan

I Översiktsplan för Göteborg<sup>2</sup> anges avstånd som ska beaktas vid utarbetande av nya detaljplaner, se Figur 3.

<sup>2</sup> Stadsbyggnadskontoret i Göteborg. *Översiktsplan för Göteborg - Fördjupad för sektorn transporter av farligt gods*, Bilagor 1-5. 1997.



Figur 3 Fysisk ram kring transportleder för farligt gods invid förnyelseområden.

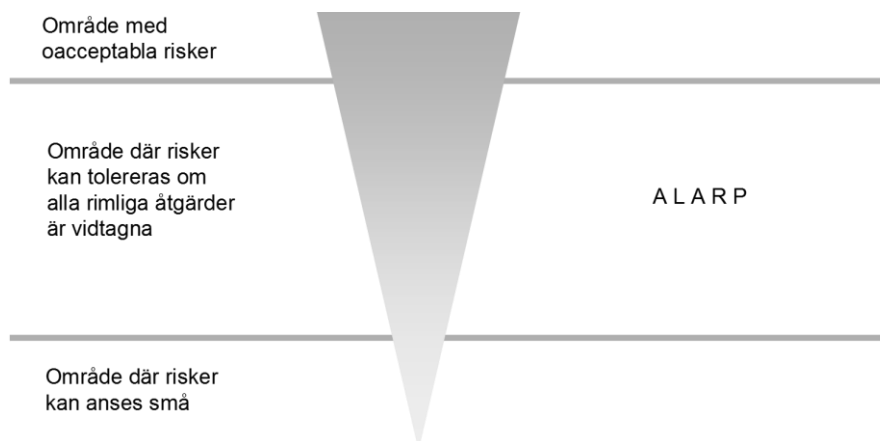
## 1.5 Principer och kriterier för riskvärdering

I detta avsnitt redovisas principer och kriterier för riskvärdering från flera olika källor. Avsnittet är allmänt skrivet och i avsnitt 2.3 redovisas de kriterier för riskvärdering som tillämpas i denna riskanalys.

### 1.5.1 Allmänt

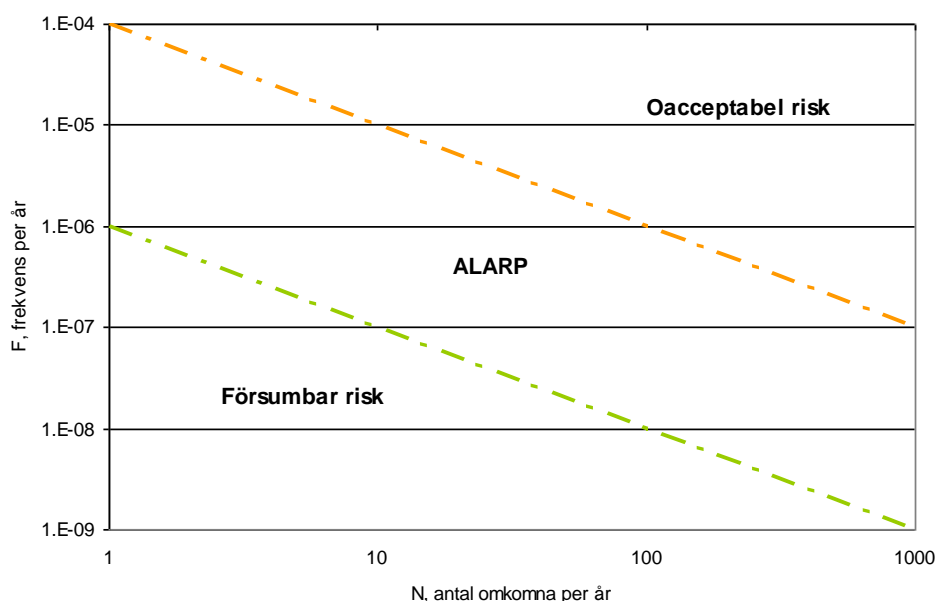
Kriterier för riskvärdering kommer att användas för att avgöra om risknivån är acceptabel eller inte. Acceptanskriterierna uttrycks vanligen som sannolikheten för att en olycka med en given konsekvens skall inträffa. Risker kan delas in i tre kategorier. De kan anses vara acceptabla, acceptabla med restriktioner eller oacceptabla. Figur 4 nedan beskriver principen för riskvärdering<sup>3</sup>.

<sup>3</sup> Davidsson, G., Lindgren, M., Mett, L., *Värdering av risk*. (SRV FoU rapport P21-182/97). Karlstad: Räddningsverket, 1997.



**Figur 4** Princip för uppbyggnad av riskvärderingskriterier.

Om en risk anses vara acceptabel med restriktioner innebär det att man befinner sig i ett område som vanligtvis benämns "ALARP", vilket är en förkortning av "As Low As Reasonable Practicable". Befinner sig risken för en olycka inom detta område bör riskerna reduceras så mycket som är möjligt utifrån samhällsekonomiska och praktiskt perspektiv. Konkret innebär det en kombination av olika riskreducerande åtgärder som t.ex. separering (avstånd till transportleden), differentierad bebyggelse, hastighetsbegränsning och utformning av spårområde. I Figur 5 visas hur ALARP-zonen kan definieras med kvantitativa mått.



**Figur 5** Illustration av ALARP-zonen för riskmättet "samhällsrisk".



### 1.5.2 Tillämpning av riskpolicyn

Länsstyrelsen i Skåne län presenterar ett system för riskvärdering i sina riktlinjer för bebyggelseplanering intill rekommenderade färdvägar för transport av farligt gods i Skåne (RIKTSAM)<sup>4</sup>. Riktlinjerna bygger på den zonindelning som presenteras i riskpolicyn (se avsnitt 1.4.2) och kan beaktas som en praktisk tillämpning av denna. Nedanstående faktorer bestämmer hur marken kan användas:

- ♦ Persontätheten i en byggnad/ ett område. Många personer på samma plats innebär större sannolikhet för ett stort skadeutfall. Indirekt ger ökad persontäthet ett större antal personer.
- ♦ Satus på personer (vakna/sovande). Vakna personer har bättre möjlighet att inse fara och att påverka sin säkerhet.
- ♦ Förmåga att inse fara och möjlighet att själv påverka sin säkerhet. "Rätt" ålder och full rörlighet ger bättre möjligheter att påverka sin situation.
- ♦ Kännedom om byggnader och område. Kunskap om byggnader och område ger en större trygghet och möjlighet att agera än i okända byggnader eller område.

Utifrån ovanstående faktorer definieras två huvudsakliga kategorier av markanvändning:

- ♦ *Mindre känslig bebyggelse* avser sådan bebyggelse och markanvändning som omfattar få och vakna<sup>5</sup> personer.
- ♦ *Känslig bebyggelse* avser sådan bebyggelse och markanvändning som omfattar utsatta<sup>6</sup> eller många personer.

Dessa kategorier kompletteras med ytterligare två kategorier för att täcka in möjlig markanvändning:

- ♦ *Bebyggelsefritt* avser sådan bebyggelse där det endast finns ett fåtal människor, vilka inte upprätthåller sig stadigvarande på platsen.
- ♦ *Normalkänslig bebyggelse* avser sådan bebyggelse och markanvändning som omfattar färre personer än känslig bebyggelse, samtidigt som personerna får vara sovande, givet att de har god lokal kännedom.

---

<sup>4</sup> Länsstyrelsen i Skåne län, *Riktlinjer för riskhänsyn i samhällsplaneringen – bebyggelseplanering intill väg och järnväg med transport av farligt gods*, Rapport "Skåne i utveckling", 2007:06.

<sup>5</sup> Vakna personer definieras som bebyggelse där ej nattvistelse finns, dvs. ej bostäder eller hotell.

<sup>6</sup> Utsatta personer definieras om personer med nedsatt förmåga att själva inse fara och påverka sin säkerhet, t ex vårdbehövande eller barn. Bostäder kan i de flesta fall anses inrymma utsatta personer.

### 1.5.3 DNV:s föreslagna kriterier

I Sverige finns inget nationellt beslut om vilket tillvägagångssätt eller vilka kriterier som ska tillämpas vid riskvärdering inom planprocessen. Praxis vid riskvärderingen är att använda Det Norske Veritas (DNV) förslag på riskkriterier gällande individ- och samhällsrisk<sup>7</sup>.

För *individrisk* föreslog DNV följande kriterier:

- ♦ Övre gräns för område där risker, under vissa förutsättningar, kan accepteras:  $10^{-5}$  per år
- ♦ Övre gräns för område där risker kan kategoriseras som låga:  $10^{-7}$  per år

För *samhällsrisk* föreslog DNV följande kriterier:

- ♦ Övre gräns för område där risker under vissa förutsättningar kan tolereras:  $F=10^{-4}$  per år för  $N=1$  med lutning på F/N-kurva: -1
- ♦ Övre gräns för område där risker kan kategoriseras som låga:  $F=10^{-6}$  per år för  $N=1$  med lutning på F/N-kurva: -1

Samhällsrisk avser  $1 \text{ km}^2$  med den tillkommande bebyggelsen placerad i mittpunkt och beräknas med frekvenser för 1 km transportled.

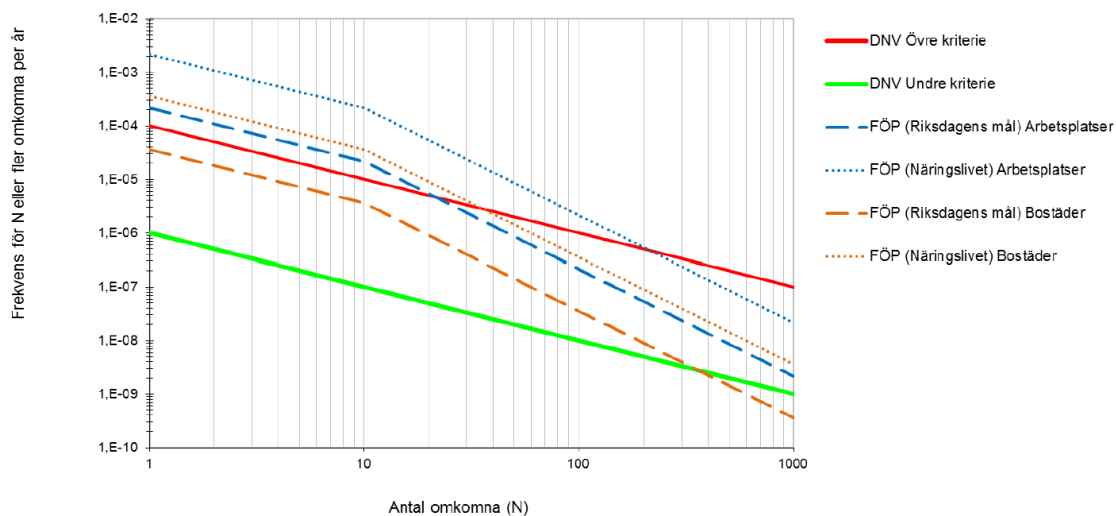
### 1.5.4 Stadsbyggnadskontoret i Göteborgs föreslagna aversionskurvor

Stadsbyggnadskontoret i Göteborg har, i sin översiktsplan fördjupad för sektorn transporter av farligt gods<sup>8</sup>, redovisat aversionskurvor för samhällsrisk som kan jämföras med de riskkriterier som DNV föreslagit (se avsnitt 1.5.3). Aversionskurvorna i Göteborgs översiktsplan finns dock i olika versioner för tillämpning på arbetsplatser respektive på bostäder och gäller tät typbebyggelse på var sida om en 2 km lång riskkälla/transportled. DNV:s kriterier gäller generellt för  $1 \text{ km}^2$  med centrum i en förmodad olycksplats. Därför har aversionskurvorna i FÖP anpassats att gälla längs en 1 km lång riskkälla när kurvorna jämförs i Figur 6.

---

<sup>7</sup> Davidsson, G., Lindgren, M., Mett, L., *Värdering av risk*. (SRV FoU rapport P21-182/97). Karlstad: Räddningsverket, 1997.

<sup>8</sup> Stadsbyggnadskontoret i Göteborg. *Översiktsplan för Göteborg - Fördjupad för sektorn transporter av farligt gods*, Bilagor 1-5. 1997.



**Figur 6** Föreslagna kriterier på samhällsrisk enligt DNV och de aversionskurvor för riskvärdering som redovisas i FÖP Göteborg.

### 1.5.5 Länsstyrelsen i Skåne läns riktlinjer (RIKTSAM)

För *individrisk* anger RIKTSAM följande kriterier:

#### Bebyggelsefritt (zon A)

- ◆ Individrisknivån överstiger  $10^{-5}$  per år i en robust modell.
- ◆ Exempel på lämplig markanvändning i denna zon är parkering (P), trafik (T), odling (L), friluftsområde (N) eller tekniska anläggningar (E).

#### Mindre känslig bebyggelse (zon B)

- ◆ Individrisknivån är i intervallet  $10^{-5}$  –  $10^{-6}$  per år i en robust modell.
- ◆ Exempel på lämplig markanvändning i denna zon är handel (< 3000 m<sup>2</sup>), industri (J), bilservice (G) och lager (U).

#### Bebyggelse med normal känslighet (zon C)

- ◆ Individrisknivån är i intervallet  $10^{-6}$  –  $10^{-7}$  per år i en robust modell.
- ◆ Exempel på lämplig markanvändning i denna zon är småhusbebyggelse (B), övrig handel (H), kontor i ett plan, dock ej hotell (K), idrotts- och sportanläggningar utan betydande åskådarplats (Y), centrum (C), kultur (R).

#### Känslig bebyggelse (zon D)

- ◆ Individrisknivån  $10^{-7}$  per år i en robust modell.
- ◆ I denna zon finns inga begränsningar i markanvändningen. Exempel på lämplig markanvändning är flerbostadshus i flera plan (B), kontor i flera plan, inkl. hotell (K), vård (D), skola (S) och idrotts- och sportanläggningar med betydande åskådarplats (Y).

För *samhällsrisk*<sup>9</sup> anger RIKTSAM följande kriterier:

- ♦ Frekvensen ska understiga  $10^{-5}$  per år där  $N=1$ .
- ♦ Frekvensen ska understiga  $10^{-7}$  per år där  $N=100$ .

Vidare anger RIKTSAM att åtgärder ska vidtas som förhindrar utsläpp av brandfarliga vätskor från att leda till brandspridning till byggnad och att utformningen av byggnad och område sker med hänsyn tagen till riskerna.

---

<sup>9</sup> Samhällsrisk avser 1 km<sup>2</sup> med den tillkommande bebyggelsen placerad i mittpunkt och beräknas med frekvenser för 1 km transportled. Samhällsrisk skall presenteras i sin helhet i F/N diagram.

## 2 Förutsättningar

### 2.1 Planområdet

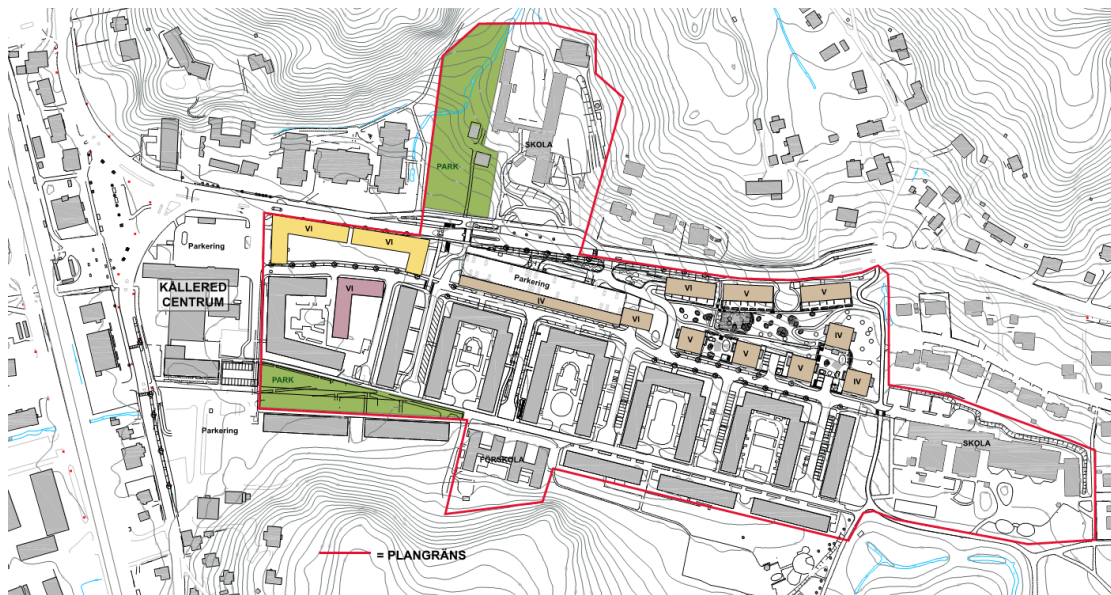
Källered centrum ligger på östra sidan om Västkustbanan. I området finns centrumbebyggelse, handel och bostäder. I Figur 7 visas ett flygfoto över området.



**Figur 7** Flygfoto över Källered centrum.

Pågående planarbete för Källered centrum syftar till att möjliggöra för fler bostäder, handels- och centrumverksamheter, samt att rusta upp stadsmiljön och skapa attraktiva mötesplatser. Planområdets omfattning visas i Figur 8.





**Figur 8 Planområdets omfattning.**

Planområdet ligger inom det riskhanteringsavstånd på 150 m från transportled för farligt gods (Väst kustbanan) som anges i Länsstyrelsernas riskpolicy (se avsnitt 1.4.2).

## 2.2 Väst kustbanan

Planområdet ligger i närheten av Väst kustbanan. Avståndet mellan närmsta befintliga spår och planområdets västra kant är c:a 130 m. Väst kustbanan används både för persontrafik och godstrafik och passerar området med dubbelspår. Järnvägen ligger i nivå med intilliggande mark.

Järnvägen har modern standard med fjärrblockering (andra tåg blockeras från att komma in på samma delsträcka) och ATC. Godståg förflyttar sig i ca 100 km/h. Järnvägen trafikeras av en omfattande godstrafik och i Tabell 1 redovisas nuvarande trafik (år 2015), basprognosen för år 2030 och en framtidsprognos.

Basprognosen utgår från att Väst länken öppnat för trafik, men att dubbelspår mot Borås ännu inte är byggt. Framtidsprognosen gäller för ett senare skede med väsentligt högre trafikering.

**Tabell 1 Nuläge och prognoserat antal tåg på Väst kustbanan (medelvardagsdygn).**

	Nuläge (2015)	Basprognos (2030)	Framtidsprognos
Resandetåg	178	262	235
Godståg	17	28	60
Totalt:	202	290	295

## 2.3 Kriterier för värdering av risk

I avsnitt 1.4 beskrivs de styrande dokumenten och i avsnitt 1.5 redovisas principer och kriterier för riskvärdering. I detta avsnitt redovisas vilka kriterier som används för riskbedömningen av lämplig markanvändning med hänsyn till olyckor på järnvägen. Föreslagna kriterier följer de riktlinjer som Länsstyrelsen i Skåne län anger med motivet att dessa på ett nyanserat sätt anger hur bebyggelse intill en transportled kan utformas för att ta hänsyn till olika personers särskilda förutsättningar och det resonemang om en ALARP-zon som DNV föreslår.

Föreslagen bebyggelse för Källered C kan klassificeras som antingen *normalkänslig* (zon C) eller *känslig bebyggelse* (zon D), se avsnitt 1.5.2 och 1.5.5. För dessa bebyggelsetyper tillämpas följande riskkriterier:



















- ♦ För *normalkänslig bebyggelse* ska individrisknivån understiga  $10^{-6}$  per år.
- ♦ För *känslig bebyggelse* ska individrisknivån understiga  $10^{-7}$  per år.
- ♦ Oavsett bebyggelsetyp ska samhällsriskerna utmed en sträcka på 1 km förbi området understiga  $10^{-5}$  per år för  $N = 1$  och  $10^{-7}$  per år för  $N = 100$ .
- ♦ Åtgärder ska *alltid* vidtas för skydd mot spridning av brand.
- ♦ Utformning av byggnad och område ska ske med hänsyn tagen till riskerna i de fall där bebyggelse uppförs inom riskhanteringsavståndet på 150 m från transportleden för farligt gods.

## 3 Riskidentifiering

### 3.1 Transporter av farligt gods

#### 3.1.1 Transportklasser (RID)









Transport av farligt gods på land regleras i RID<sup>10</sup> för transport på järnväg. I RID delas farligt gods in i klasser beroende på vilka farliga egenskaper som ämnet har (se Figur 9 och Figur 10).

Klass	Etikettförlagor
<b>Klass 1</b> Explosiva ämnen och föremål	   
<b>Klass 2</b> Gaser	    
<b>Klass 3</b> Brandfarliga vätskor	 
<b>Klass 4.1</b> Brandfarliga fasta ämnen, självreaktiva ämnen och fasta okänsliggjorda explosivämnen	
<b>Klass 4.2</b> Självtändande ämnen	
<b>Klass 4.3</b> Ämnen som utvecklar brandfarliga gaser vid kontakt med vatten	 
<b>Klass 5.1</b> Oxiderande ämnen	
<b>Klass 5.2</b> Organiska peroxider	 

Figur 9 Indelning av farligt gods i RID-klasser.

<sup>10</sup> RID är europeiska föreskrifter för transport av farligt gods på Järnväg. I Sverige används den nationella anpassningen RID-S (MSBFS 2015:2).



Klass	Etikettförlagor
<b>Klass 6.1</b> Giftiga ämnen	
<b>Klass 6.2</b> Smittförande ämnen	
<b>Klass 7</b> Radioaktiva ämnen	   
<b>Klass 8</b> Frätande ämnen	
<b>Klass 9</b> Övriga farliga ämnen och föremål	

Figur 10 Indelning av farligt gods i RID-klasser.

### 3.1.2 Möjliga olyckor

Huvuddelen av olyckorna med farligt gods inblandat är i grunden järnvägsolyckor och åtgärder för att förbättra järnvägssäkerheten medverkar därför också till att minska risken för en olycka med farligt gods. Det finns andra händelser än trafikolyckor som kan ge ett utsläpp av farligt gods, t.ex. tågbränder och handhavandefel vid lastning, kan också ge upphov till farligtgodsolyckor. En brittisk studie<sup>11</sup> visar att andelen sådana händelser är i storleksordningen 5 % och det antas därmed att dessa händelser inryms i de konservativa skattningar av olycksfrekvenserna som rapporten bygger på.

Farligt gods utgörs av flera olika ämnen vars fysikaliska och kemiska egenskaper varierar. Vid ett utsläpp kan olika typer av konsekvenser inträffa beroende på ämnets egenskaper. Principiellt kan en indelning ske i massexplosiva ämnen, giftiga kondenserade gaser, brandfarliga kondenserade gaser, giftiga vätskor, brandfarliga vätskor och frätande vätskor. Fyra olika typer av konsekvenser kan härledas; brand, explosion och utsläpp av giftiga och frätande kemikalier.

Massexplosiva ämnen kan detonera vid olyckor och transport. Skadeverkan är en blandning av strålnings- och tryckskador. Tryckkondenserade gaser är lagrade under tryck i vätskeform. Vid utströmning kommer en del av vätskan att förångas och övergå i gasform. Utströmningen ger upphov till ett gasmoln som driver i väg med vinden. Vätskor som strömmar ut breder ut sig på marken och bildar vätskepölar. Beroende av vätskans flyktighet kommer avdunstningen att gå olika fort.

<sup>11</sup> HMSO, *Major hazard aspects of the transport of dangerous substances – report and appendices*, Advisory Committee on Dangerous Substances, Health & Safety Commission, London, 1991.

Brand och explosion kan uppstå sekundärt efter ett utsläpp av brandfarlig gas eller vätska. Antänds en vätskepöl uppstår en pölbrand och om en gas antänds direkt vid utsläppskällan uppstår en jetflamma. Vid utströmning av brandfarlig gas används ofta termerna UVCE<sup>12</sup> och BLEVE<sup>13</sup>. UVCE inträffar om ett gasmoln antänds på ett längre avstånd från utsläppskällan och BLEVE är ett resultat av att en pga. värmepåverkan kokande vätska (tryckkondenserad gas) släpps ut momentant från en bristande tank och exploderar med stor kraft. En BLEVE är att beakta som en sekundär konsekvens av en farligt godsolycka då den kräver en kraftig uppvärmning till följd av en brand för att kunna inträffa.

Ovanstående konsekvenser kan härledas till farligt gods i RID-klass 1, 2, 3, 6 och 8. Brandfarliga fasta ämnen i RID-klass 4, oxiderande ämnen och organiska peroxider i RID-klass 5, radioaktiva ämnen i RID-klass 7 och övriga ämnens i klass 9 utgör normalt ingen fara för omgivningen då konsekvenserna koncentreras till fordonets närhet. Det finns naturligtvis undantag, t ex kan oxiderande organiska peroxider (klass 5) som blandas med brandfarliga vätskor (klass 3) orsaka explosioner. Föroreningar i en tank med väteperoxid (klass 5) kan orsaka ett skenande sönderfall med en tanksprängning som följd.

### 3.1.3 Val av olycksscenarier

Vid transport av farligt gods utgör nedanstående olycksförlopp de dimensionerande olycksscenarierna:

- ♦ Detonation av *massexplosiva ämnen* som ger tryckverkan och brännskador.
- ♦ Utsläpp och antändning av kondenserad *brännbar gas* som kan ge upphov till BLEVE, gasmolnsexplosion, gasmolnsbrand och jetflamma, vilket leder till brännskador och i vissa fall även tryckpåverkan.
- ♦ Utsläpp av kondenserad *giftig gas* som ger förgiftning vid inandning.
- ♦ Utsläpp och antändning av mycket *brandfarliga vätskor* vilka ger pölbrand med efterföljande brännskador.
- ♦ Utsläpp av *giftiga brandfarliga vätskor* vilka ger förgiftning vid inandning när de driver iväg som gasmoln.
- ♦ Detonation till följd av blandning av *oxiderande ämne* med *brandfarlig vätska*.
- ♦ Utsläpp av *giftiga vätskor* som ger förgiftning vid inandning när de driver iväg som gasmoln.
- ♦ Utsläpp av *frätande vätskor*, vilka ger frätskador vid hudkontakt.

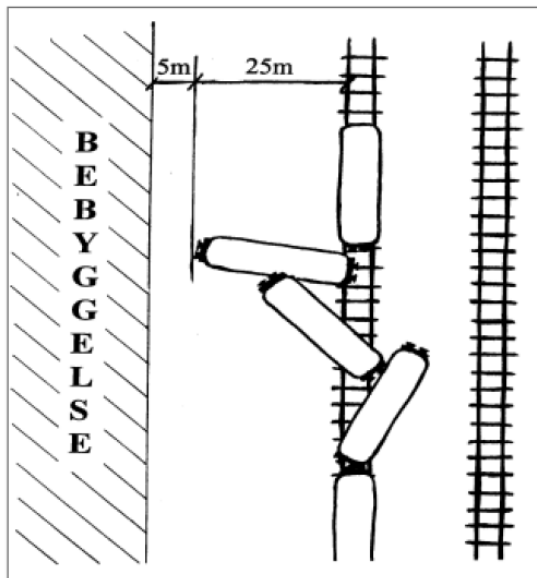
---

<sup>12</sup> Unconfined Vapour Cloud Explosion.

<sup>13</sup> Boiling Liquid Expanding Vapour Cloud Explosion.

### 3.2 Mekanisk skada vid urspårning

I samband med en urspårning finns en risk att urspårade vagnar orsakar mekanisk skada på intilliggande byggnader. 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. Vanligen hamnar urspårade vagnar i omedelbar anslutning till spåret, men det är också möjligt att de når avstånd upp till 25-30 m från spåret, se Figur 11.



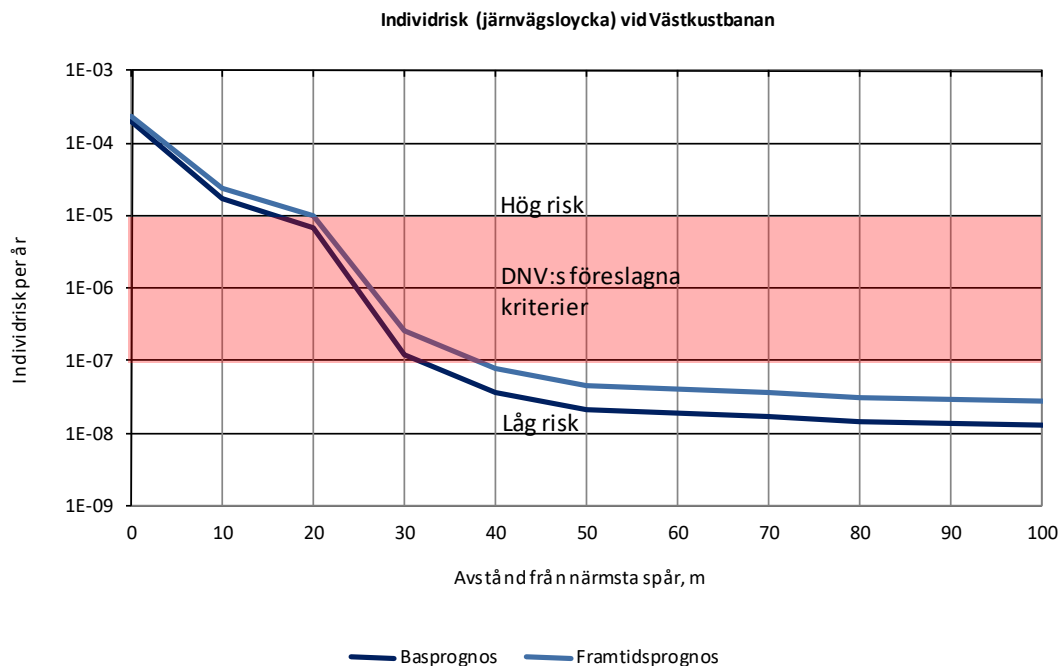
Figur 11 Urspårningsolycka på järnväg<sup>14</sup>.

<sup>14</sup> Länsstyrelsen Stockholms län, *Riskhänsyn vid ny bebyggelse intill vägar och järnvägar med transporter av farligt gods samt bensinstationer*, 2000.

## 4 Preliminär riskvärdering

### 4.1 Risknivå längs Västkustbanan

Transport av farligt gods förekommer regelbundet på Västkustbanan. Beräkningar av risknivåer för järnvägsolyckor (farligt gods och urspårning) redovisas i bilaga E. I Figur 12 och Figur 13 redovisas risknivåerna givet en trafikering enligt basprognosen, tillsammans med riskvärderings-kriterierna från avsnitt 1.5.3 och 2.3.



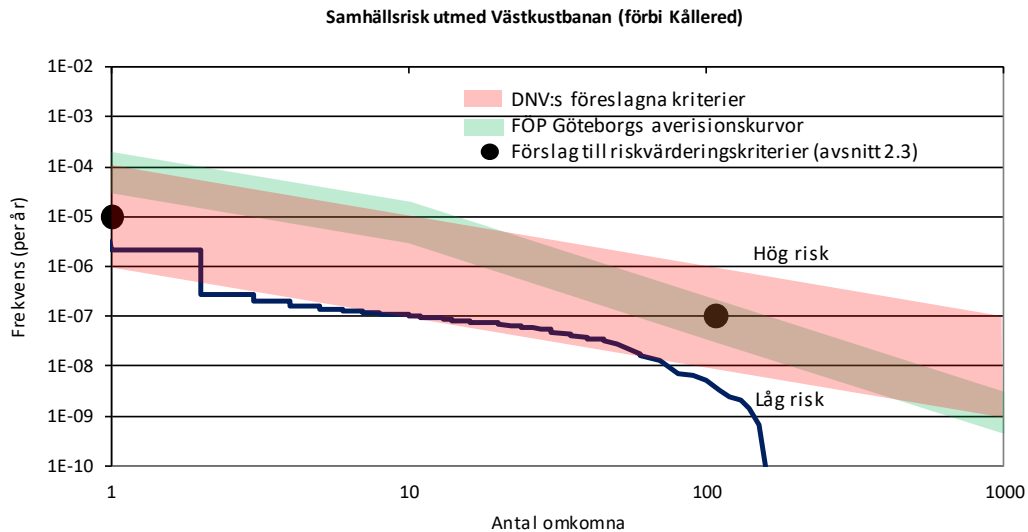
**Figur 12** Individerisknivå med riskvärderingskriterier.

Individerisken beaktas som låg om den understiger  $10^{-7}$  per år, vilket den gör på 30 m avstånd från närmsta spår. Det är också på detta avstånd som känslig bebyggelse kan placeras. Normalkänslig bebyggelse kan placeras där risknivån understiger  $10^{-6}$  per år, vilket också innebär ett avstånd om 30 m från närmsta spår. Mindre känslig bebyggelse ska placeras där individerisken är mindre än  $10^{-5}$  per år, vilket innebär ett avstånd på 20 m från närmsta spår. I Tabell 2 redovisas på vilka avstånd som individerisken understiger vissa betydelsefulla nivåer för riskvärderingen, givet en trafikering med 60 godståg/dygn enligt framtidsprognosen.

**Tabell 2** Redovisning av avstånd till viss risknivå med utgångspunkt i total risk, samt givet enbart urspårning eller olycka med farligt gods.

Individerisknivå	Avstånd till viss risknivå baserat på...		
	Total risk	Urspårning	Farligt gods
< $10^{-5}$ per år	20 m	20 m	-
< $10^{-6}$ per år	30 m	30 m	10 m
< $10^{-7}$ per år	40 m	30 m	40 m

I Figur 13 visas samhällsriskens tillsammans med olika kriterier för värdering av risk, givet ett bebyggelsefritt avstånd på 30 m till närmsta spår.



**Figur 13 Samhällsrisknivå med riskvärderingskriterier.**

Samhällsriskens är låg och understiger riskvärderingskriterierna. Den ligger i nederkant av det område där DNV anser att risken är så låg att den blir försumbar.

#### 4.2 Behov av säkerhetshöjande åtgärder

Den preliminära värderingen av risknivån i avsnitt 4.1 visar att risknivån blir tillfredställande låg på 40 m avstånd från närmsta spår och i Figur 14 markeras det område som ligger inom detta avstånd från Västkustbanans närmsta spår. Planområdet ligger således på det avstånd där risker kan beaktas som små.



**Figur 14 Område som ligger inom 30 m från Västkustbanans närmsta spår.**

Riskvärderingskriterierna i avsnitt 2.3 anger dock att åtgärder alltid ska vidtas för skydd mot spridning av brand samt att utformning av byggnad och område ska ske med hänsyn tagen till riskerna.

#### 4.2.1 Skydd mot brandspridning

Skydd mot brandspridning kan åstadkommas antingen genom ett skyddsavstånd eller genom en kombination mellan markåtgärd och skyddsavstånd. I avsnitt 5.1 beskrivs hur skydd mot brandspridning kan ordnas.

#### 4.2.2 Utformning av byggnad och område

Även om risknivån vid i planområdet är mycket låg kan olyckor med farligt gods få stora konsekvenser om sådana skulle träffa i närheten. Konsekvensberäkningarna i bilaga C.3 visar att flertalet olycksscenarioer kan påverka byggnaden och i avsnitt 5.2 beskrivs hur byggnaden och området kan utformas för att begränsa skadorna vid en olycka.



## 5 Utformning av säkerhetshöjande åtgärder

### 5.1 Skydd mot brandspridning

Något särskilt skydd mot brandspridning från pölbränder erfordras inte för byggnader som uppförs på avstånd längre än 35 m från närmsta spår. Byggnader placerade på kortare avstånd ska utformas med skydd mot brandspridning t.ex. yttervägg i obrännbart material och fönster i brandteknisk klass. Se bilaga G.1 för ytterligare information.

### 5.2 Utformning av byggnad och område

För vissa olyckor av särskilt allvarlig karaktär förutsätts att personer i byggnaderna vidtar vissa säkerhetsåtgärder för att kunna kvarstanna inomhus under olycksförloppet. Exempelvis är det betydelsefullt att stänga fönster och dörrar i händelse av utsläpp av giftig gas, med vind mot planområdet<sup>15</sup>. Ett liknande agerande förväntas i samband med byggnadsbränder i intilliggande fastigheter (eller andra lägenheter) då brandgaser också har ett giftigt innehåll. Därför bör byggnader i där personer vistas stadigvarande utrustas med nödstopp på ventilationssystemet i enlighet med BBR<sup>16</sup> (avsnitt 2:52). Nödstopp bör placeras i trapphus i flerbostadshus och på en central och lätt tillgänglig plats i byggnader som innehåller lokaler.

Placeringen av friskluftsintag bör ske högt för att minska risken att giftiga gaser kommer in i byggnaderna. Giftiga gaser är ofta tyngre än omgivande luft, vilket innebär att de rör sig längs med marken. En placering av friskluftsintag på högre än 8 m ovan mark minskar påtagligt koncentrationen av giftiga gaser inomhus. Se bilaga G.2 för mer information.

När en olycka inträffar och räddningstjänsten beslutar om en utrymning av intilliggande fastigheter är det rimligt att denna utrymning ska kunna ske så säkert som möjligt. Därför ställs krav på att byggnaderna bör vara möjliga att utrymma i östlig riktning<sup>17</sup>, dvs. i riktning bort från järnvägsspåren. Samtliga byggnader där människor vistas annat än tillfälligt bör ha denna möjlighet.

---

<sup>15</sup> Notera att utsläpp av giftig gas har ett stort påverkansområde och behovet av att stanna inomhus med stängda fönster och dörrar sträcker sig långt bortom planområdet.

<sup>16</sup> Boverkets byggregler BBR, BFS 2011:6 med ändringar t.o.m. 2015:3 (BBR22).

<sup>17</sup> Utrymning vid brand i byggnad ställer andra krav på byggnaden och utrymningsmöjligheterna för denna händelse kan planeras utan särskilda restriktioner. Dock ska samtliga lokaler där personer vistas stadigvarande ha möjlighet att utrymma åt öster.

## 6 Slutlig riskvärdering och rekommendationer

### 6.1 Allmänt

Riskbedömningen görs med hänsyn till både olyckors frekvens och den skada de kan orsaka. Konkret innebär detta att en bebyggelse kan tillåtas på ett visst avstånd i huvudsak för att frekvensen för en olycka är mycket liten. Vid en olycka kan skador på människor och egendom inträffa på de rekommenderade skyddsavstånden. Planområdets läge och utformning ger dock ett bra skydd mot de vanligaste förekommande olyckorna.

### 6.2 Riskvärdering

Avståndet från planområdet till Västkustbanan är c:a 130 m. På detta avstånd är riskerna att beakta som små och några särskilda restriktioner om markanvändningen erfordras inte. Men, då planområdet befinner sig inom det riskhanteringsavstånd på 150 m som anges i Västra Götalands läns riskpolicy (se avsnitt 1.4.2) bör området och byggnaderna utformas för att minska skadorna vid en ev. olycka. Rekommendationerna i avsnitt 6.3 bör implementeras i planbestämmelserna i skadebegränsande syfte. I Figur 15 visas det område som ligger inom riskhanteringsavståndet.



**Figur 15** Illustration av område som omfattas av ett avstånd 40 resp. 150 m (riskhanteringsavståndet) från närmsta spår.



### 6.3 Rekommendationer

Inom 150 m från Västkustbanans närmsta spår bör byggnader där personer vistas stadigvarande utföras enligt nedan<sup>18</sup> för att begränsas skadorna vid en olycka med farligt gods:

- ♦ Ventilationssystemet bör förses med nödstopp.
- ♦ Friskluftsintag bör placeras så högt som möjligt, minst 8 m ovan mark.
- ♦ Det bör finnas utrymningsmöjlighet i riktning bort från järnvägen (österut).

Inom riskhanteringsavstånd (150 m) bör markanvändning som omfattar utsatta<sup>19</sup> personer om möjligt undvikas då dessa personer både är känsligare för effekterna av en olycka och har försämrade möjligheter att på egen hand vidta skadebegränsande åtgärder. Exempel på markanvändning som kan beröras är vård (D) och skola (S).

---

<sup>18</sup> Se avsnitt 5.2 för mer detaljerad information.

<sup>19</sup> Utsatta personer definieras om personer med nedsatt förmåga att själva inse fara och påverka sin säkerhet, t ex vårdbehövande eller barn.

## BILAGOR

- A Sannolikhets- och statistikteori
- B Frekvenser för olycka med farligt gods
- C Konsekvenser av olyckor med farligt gods
- D Frekvenser och konsekvenser för mekanisk skada vid urspårning
- E Risknivå utmed Västkustbanan
- F Känslighetsanalys
- G Säkerhetshöjande åtgärder

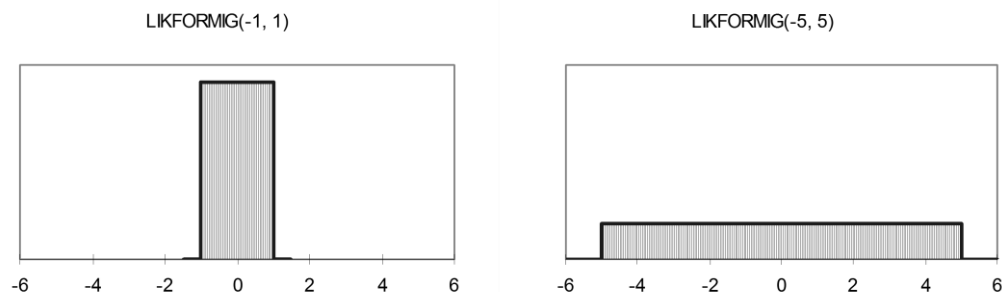
## A. Sannolikhets- och statistikteori

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

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

*Standardavvikelsen*,  $\sigma$  är ett mått på en fördelnings spridning. Osäkerheten i en variabels värde uttrycks med dess standardavvikelse. Två variabler kan ha samma väntevärde men olikartade fördelningar, se Figur 16 nedan.

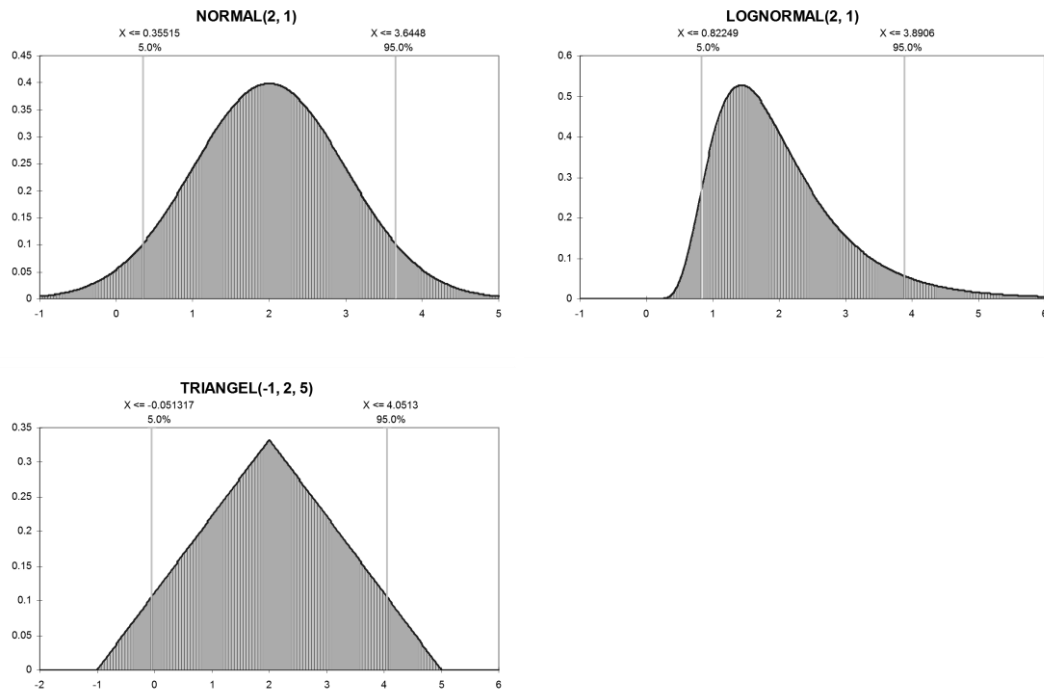
*Variationskoefficienten*, VK, utgörs av kvoten mellan standardavvikelsen och väntevärdet, dvs.  $VK = \sigma/\mu$ . Variationskoefficienten anges ofta i procent.



**Figur 16** Om man jämför två likformiga fördelningar där den ena går från  $-1$  till  $1$  och den andra från  $-5$  till  $5$  inses att båda har väntevärdet  $0$ , men det är uppenbart att den senare har en mer utspridd fördelning än den förra.

Statistiska fördelningar används för att beskriva osäkerheten i indata. Frantzich<sup>20</sup> anger att det första som måste göras när dessa fördelningar skall skattas är att definiera fördelningens största och minsta värde. Därefter uppskattas väntevärde och varians. Slutligen skall en fördelning väljas som ger bästa tänkbara representation av variabeln. Vanliga fördelningar är *normalfördelningen*, *lognormalfördelningen* och *triangelfördelningen*. En grafisk illustration av dessa fördelningar visas i Figur 17.

<sup>20</sup> Frantzich, H., *Uncertainty and risk analysis in fire safety engineering*, Rapport 1016, Avdelning för Brandteknik, Lunds universitet, 1998.



**Figur 17** Exempel på normalfördelning, lognormalfördelning och triangel-fördelning.

## B. Frekvenser för olycka med farligt gods

### B.1 Generella indata

#### B.1.1 Olycksriktning

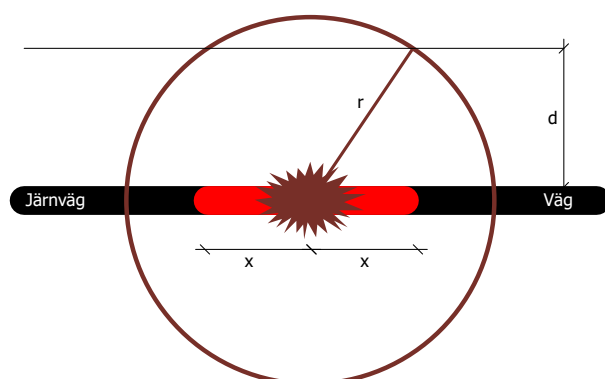
Med "olycksriktning" menas att hänsyn måste tas i vilken riktning som olyckan breder ut sig. Flertalet av scenarierna som kan inträffa är beroende av omgivningsförhållanden som vindriktning, men även olycksförloppets karakteristiska gör att den inte har en cirkulär påverkan. I Tabell 3 redovisas vilken reduktion som måste göras i samband med beräkning av risk.

**Tabell 3** Korrektion för olyckans riktning.

Scenario	Beskrivning	Korrigering
Giftmoln	Utbredning i vindriktningen <sup>21</sup> (22°)	$22^\circ / 360^\circ = 0,06$
BLEVE	Cirkulär utbredning	1,0
UVCE	Utbredning i vindriktningen (22°)	$22^\circ / 360^\circ = 0,06$
Jetflamma	Riktning upp, höger eller vänster	$2/3 = 0,67$
Pölbrand	Cirkulär utbredning	1,0
Frätande ämne	Riktning upp, höger eller vänster	$2/3 = 0,67$
Urspårning	Mot eller från området	0,5

#### B.1.2 Korrigeringsfaktor för att bedöma frekvensen att specifik olycka påverkar en punkt på ett givet avstånd från transportleden

Olycksfrekvenserna som beräknas i avsnitt B.4 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 18.



**Figur 18** Modell för beräkning av frekvensen att en olycka påverkar ett visst avstånd från transportleden.

<sup>21</sup> Simuleringar av konsekvensmodellen för spridning i luft (se avsnitt C.1.4) ger en total spridningsvinkel som i 95 % av fallen understiger 22°.

Om olyckan har utbredningen  $r$  så måste olyckan inträffa på sträckan  $2x$  för att ge en påverkan på avståndet  $d$  från transportleden. Notera att det endast är intressant att studera de fall där  $d \leq r$ , eftersom om  $d > r$  blir det ingen konsekvens. Med hjälp av Pythagoras sats<sup>22</sup> kan  $x$  beräknas och sannolikheten att olyckan med utbredningen  $r$  påverkar avståndet  $d$  vid en olycksfrekvens angiven per kilometer blir således:

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

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

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

Olyckan när	Avstånd som studeras, m										
	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
10	0,02	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
20	0,04	0,03	-	-	-	-	-	-	-	-	-
30	0,06	0,06	0,04	-	-	-	-	-	-	-	-
40	0,08	0,08	0,07	0,05	-	-	-	-	-	-	-
50	0,10	0,10	0,09	0,08	0,06	-	-	-	-	-	-
60	0,12	0,12	0,11	0,10	0,09	0,07	-	-	-	-	-
70	0,14	0,14	0,13	0,13	0,11	0,10	0,07	-	-	-	-
80	0,16	0,16	0,15	0,15	0,14	0,12	0,11	0,08	-	-	-
90	0,18	0,18	0,18	0,17	0,16	0,15	0,13	0,11	0,08	-	-
100	0,20	0,20	0,20	0,19	0,18	0,17	0,16	0,14	0,12	0,09	-
120	0,24	0,24	0,24	0,23	0,23	0,22	0,21	0,19	0,18	0,16	0,13
140	0,28	0,28	0,28	0,27	0,27	0,26	0,25	0,24	0,23	0,21	0,20
160	0,32	0,32	0,32	0,31	0,31	0,30	0,30	0,29	0,28	0,26	0,25
180	0,36	0,36	0,36	0,35	0,35	0,35	0,34	0,33	0,32	0,31	0,30
200	0,40	0,40	0,40	0,40	0,39	0,39	0,38	0,37	0,37	0,36	0,35
220	0,44	0,44	0,44	0,44	0,43	0,43	0,42	0,42	0,41	0,40	0,39
240	0,48	0,48	0,48	0,48	0,47	0,47	0,46	0,46	0,45	0,44	0,44
260	0,52	0,52	0,52	0,52	0,51	0,51	0,51	0,50	0,49	0,49	0,48
280	0,56	0,56	0,56	0,56	0,55	0,55	0,55	0,54	0,54	0,53	0,52
300	0,60	0,60	0,60	0,60	0,59	0,59	0,59	0,58	0,58	0,57	0,57
320	0,64	0,64	0,64	0,64	0,63	0,63	0,63	0,62	0,62	0,61	0,61
340	0,68	0,68	0,68	0,68	0,68	0,67	0,67	0,67	0,66	0,66	0,65
360	0,72	0,72	0,72	0,72	0,72	0,71	0,71	0,71	0,70	0,70	0,69
380	0,76	0,76	0,76	0,76	0,76	0,75	0,75	0,75	0,74	0,74	0,73
400	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,79	0,79	0,79	0,78	0,78	0,77
450	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,89	0,89	0,89	0,89	0,88	0,88
500	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,99	0,99	0,99	0,99	0,98	0,98

<sup>22</sup> Pythagoras sats anger sambandet mellan sidorna i en rätvinklig triangel där kvadraten på hypotenusan är lika med summan av kvadraterna på kateterna.

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

Olyckan när	Avstånd som studeras, m										
	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
550	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,09	1,09	1,09	1,09	1,08
600	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,19	1,19	1,19	1,19	1,18
650	1,30	1,30	1,30	1,30	1,30	1,30	1,29	1,29	1,29	1,29	1,28
700	1,40	1,40	1,40	1,40	1,40	1,40	1,39	1,39	1,39	1,39	1,39
750	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,49	1,49	1,49	1,49
800	1,60	1,60	1,60	1,60	1,60	1,60	1,60	1,59	1,59	1,59	1,59
850	1,70	1,70	1,70	1,70	1,70	1,70	1,70	1,69	1,69	1,69	1,69
900	1,80	1,80	1,80	1,80	1,80	1,80	1,80	1,79	1,79	1,79	1,79
950	1,90	1,90	1,90	1,90	1,90	1,90	1,90	1,89	1,89	1,89	1,89
1000	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	1,99	1,99	1,99

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

Olyckan när	Avstånd som studeras, m										
	120	140	160	180	200	220	240	260	280	300	320
120	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
140	0,14	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
160	0,21	0,15	-	-	-	-	-	-	-	-	-
180	0,27	0,23	0,16	-	-	-	-	-	-	-	-
200	0,32	0,29	0,24	0,17	-	-	-	-	-	-	-
220	0,37	0,34	0,30	0,25	0,18	-	-	-	-	-	-
240	0,42	0,39	0,36	0,32	0,27	0,19	-	-	-	-	-
260	0,46	0,44	0,41	0,38	0,33	0,28	0,20	-	-	-	-
280	0,51	0,48	0,46	0,43	0,39	0,35	0,29	0,21	-	-	-
300	0,55	0,53	0,51	0,48	0,45	0,41	0,36	0,30	0,22	-	-
320	0,59	0,58	0,55	0,53	0,50	0,46	0,42	0,37	0,31	0,22	-
340	0,64	0,62	0,60	0,58	0,55	0,52	0,48	0,44	0,39	0,32	0,23
360	0,68	0,66	0,64	0,62	0,60	0,57	0,54	0,50	0,45	0,40	0,33
380	0,72	0,71	0,69	0,67	0,65	0,62	0,59	0,55	0,51	0,47	0,41
400	0,76	0,75	0,73	0,71	0,69	0,67	0,64	0,61	0,57	0,53	0,48
450	0,87	0,86	0,84	0,82	0,81	0,79	0,76	0,73	0,70	0,67	0,63
500	0,97	0,96	0,95	0,93	0,92	0,90	0,88	0,85	0,83	0,80	0,77
550	1,07	1,06	1,05	1,04	1,02	1,01	0,99	0,97	0,95	0,92	0,89
600	1,18	1,17	1,16	1,14	1,13	1,12	1,10	1,08	1,06	1,04	1,02
650	1,28	1,27	1,26	1,25	1,24	1,22	1,21	1,19	1,17	1,15	1,13
700	1,38	1,37	1,36	1,35	1,34	1,33	1,32	1,30	1,28	1,26	1,25
750	1,48	1,47	1,47	1,46	1,45	1,43	1,42	1,41	1,39	1,37	1,36
800	1,58	1,58	1,57	1,56	1,55	1,54	1,53	1,51	1,50	1,48	1,47
850	1,68	1,68	1,67	1,66	1,65	1,64	1,63	1,62	1,61	1,59	1,57
900	1,78	1,78	1,77	1,76	1,75	1,75	1,73	1,72	1,71	1,70	1,68
950	1,88	1,88	1,87	1,87	1,86	1,85	1,84	1,83	1,82	1,80	1,79
1000	1,99	1,98	1,97	1,97	1,96	1,95	1,94	1,93	1,92	1,91	1,89

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

Olyckan när	Avstånd som studeras, m										
	340	360	380	400	450	500	550	600	650	700	750
340	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
360	0,24	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
380	0,34	0,24	-	-	-	-	-	-	-	-	-
400	0,42	0,35	0,25	-	-	-	-	-	-	-	-
450	0,59	0,54	0,48	0,41	-	-	-	-	-	-	-
500	0,73	0,69	0,65	0,60	0,44	-	-	-	-	-	-
550	0,86	0,83	0,80	0,75	0,63	0,46	-	-	-	-	-
600	0,99	0,96	0,93	0,89	0,79	0,66	0,48	-	-	-	-
650	1,11	1,08	1,05	1,02	0,94	0,83	0,69	0,50	-	-	-
700	1,22	1,20	1,18	1,15	1,07	0,98	0,87	0,72	0,52	-	-
750	1,34	1,32	1,29	1,27	1,20	1,12	1,02	0,90	0,75	0,54	-
800	1,45	1,43	1,41	1,39	1,32	1,25	1,16	1,06	0,93	0,77	0,56
850	1,56	1,54	1,52	1,50	1,44	1,37	1,30	1,20	1,10	0,96	0,80
900	1,67	1,65	1,63	1,61	1,56	1,50	1,42	1,34	1,24	1,13	0,99
950	1,77	1,76	1,74	1,72	1,67	1,62	1,55	1,47	1,39	1,28	1,17
1000	1,88	1,87	1,85	1,83	1,79	1,73	1,67	1,60	1,52	1,43	1,32

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

Olyckan när	Avstånd som studeras, m				
	800	850	900	950	1000
800	-	-	-	-	-
850	0,57	-	-	-	-
900	0,82	0,59	-	-	-
950	1,02	0,85	0,61	-	-
1000	1,20	1,05	0,87	0,62	-

## B.2 Transportstatistik

Riskanalysen utgår från prognoserat antal tåg som är specifik på Västkustbanan, men använder nationell statistik när det gäller transport av farligt gods. Anledningen till detta är att det finns sparsamt med uppgifter om transport av farligt gods på Västkustbanan och att nationell statistik blir mer tillförlitlig. Myndigheten för trafikanalys sammanställer nationell statistik avseende transport av farligt gods på järnväg. En viss ökning av den transporterade godsmängden har noterats under de senaste åren. Ökningen gäller även andelen farligt gods där värden mellan 3,8 till 4,7 % har observerats. Riskanalysen använder en andel på 5,0 % som dimensionerande värde.



I Tabell 5 redovisas en sammanställning av sammanställning<sup>23</sup> av nationell statistik avseende transport av farligt gods på järnväg för år 2009-2012.

**Tabell 5 Sammanställning av nationell statistik för transport av farligt gods på järnväg 2009-2012.**

RID-klass	Godsmängd (1000 ton)	Andel
1	4	0,04 %
2	2998	26,8 %
3	4650	41,6 %
4	163	1,5 %
5	1633	14,6 %
6	239	2,1 %
7	4	0,04 %
8	1415	12,7 %
9	74	0,7 %

Utöver den generella uppdelningen i olika RID-klasser krävs kännedom om fördelningar inom resp. klass för att kunna göra korrekta beräkningar av risken. Exempelvis omfattar RID-klass 2 "gaser", vilka kan vara ofarliga, brandfarliga eller giftiga. 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 6 och bygger på data från Länsstyrelsens i Skånes riktlinjer<sup>24</sup>. För att förstå den uppdelning som görs i Tabell 6 kan det krävas att avsnitt 3.1.3 studeras.

<sup>23</sup> Trafikanalys, *Bantrafik 2012*, Statistik 2013:28.

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

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

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

### B.3 Scenarier

Tabell 5 redovisar uppdelningen mellan olika RID-klasser. Utöver denna information krävs kännedom om "underklasser", sannolikhet för utsläpp och vilken typ av olycka som inträffar. Denna information finns redovisad i Tabell 6 och förtydligas nedan.

#### *Explosivämnen (RID-klass 1)*

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

- ♦ Andel massexplosiva varor är 25 % för järnväg.

<sup>25</sup> Underklassen "Övrigt" betecknar farligt gods som inte kan utgöra en fara för omgivningen.

### *Gaser (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.

- ♦ Andelen giftiga gaser är 60 % för järnväg.
- ♦ Andelen brännbara gaser är 10 % för järnväg. Om utsläpp sker kan följande inträffa<sup>26,27,28</sup>:
  - Ingen antändning, 30 %
  - UVCE, 50 %
  - BLEVE, 1 %
  - Jetflamma, 19 %
- ♦ Resterande andel utgörs av gaser som inte anses farliga, t.ex. kvävgas samt olika inerta gaser.

### *Brandfarliga vätskor (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.

- ♦ Andelen brandfarliga produkter utan giftiga egenskaper är 75 % för järnväg. Följande olyckor beaktas<sup>26,27</sup>:
  - Ingen antändning, 94 %
  - Fördröjd antändning, 3 % och omedelbar antändning, 3 %
- ♦ Andelen brandfarliga produkter med giftiga egenskaper är 8 % för järnväg. Följande olyckor beaktas<sup>26,27</sup>:
  - Ingen antändning med resulterande giftmoln, 94 %
  - Fördröjd antändning, 3 % och omedelbar antändning, 3 %

---

<sup>26</sup> Purdy, G., *Risk analysis of the transportation of dangerous goods by road and rail*, Journal of Hazardous Materials, 33, pp 229-259, 1993

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

<sup>28</sup> Fredén, S., *Modell för skattning av sannolikheten för järnvägsolyckor som drabbar omgivningen*, Rapport 2001:5, Miljösektionen, Banverket, 2001.

*Oxiderande ämnen och organiska peroxider (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 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.

- ♦ Andelen oxiderande ämnen och organiska peroxider som kan orsaka explosion vid blandning med brännbar vätska på järnväg är 5 %.
- ♦ Det uppskattats att oxiderande ämne och brandfarlig vätska kommer i kontakt med varandra i 50 % av olyckorna och att det är en sannolikhet på 10 % att explosion sker efter kontakt.

*Giftiga ämnen (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.

- ♦ Andelen flytande giftiga ämnen på järnväg är 72 %.

*Frätande ämnen (RID-klass 8)*

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

## B.4 Olyckor på Västkustbanan

### B.4.1 Olycksfrekvens

Fredén<sup>29</sup> har utvecklat en modell för att uppskatta frekvensen för tågurspärning och kollision. Modellen bygger på trafikintensiteten ofta uttryckt i antal vagnaxelkilometer, tåghastigheten, spårkvaliteten, etc. Betydelsefulla indata och beräkningar redovisas nedan:

- ♦ Det årliga antalet tåg på Västkustbanan är 72 500 i Trafikverkets basprognos. Med utgångspunkt i fördelningen mellan resandetåg och godståg uppskattas antal vagnar till 371 500.
- ♦ Andelen farligt gods på järnvägen är 5 %, vilket ger en förväntad trafikering av c:a 8 750 vagnar med farligt gods.
- ♦ Resandetåg och godståg har olika antal vagnaxlar och dessa summerar till totalt 1 005 500.
- ♦ I genomsnitt deltar 3,5 godsvagnar i en urspärning. Sannolikheten att en eller flera av dessa vagnar medför farligt gods bedöms till 16,4 %.

---

<sup>29</sup> Fredén, S., *Modell för skattning av sannolikheten för järnvägsolyckor som drabbar omgivningen*, Rapport 2001:5, Miljösektionen, Banverket, 2001

I Tabell 7 sammanställs de olika olyckstyp, intensitetsfaktor, exponering och frekvens per år enligt Fredéns modell<sup>30</sup>.

**Tabell 7 Beräkning av olycksfrekvens för Västkustbanan (basprognosen).**

Olyckstyp	Intensitetsfaktor	Exponering	Frekvens/år
Rälsbrott	$5,0 \cdot 10^{-11}$ / vagnaxelkm	1 005 500	$5,03 \cdot 10^{-5}$
Solkurva	$1,0 \cdot 10^{-5}$ / spårkm	1,0	$1,00 \cdot 10^{-5}$
Spårlägesfel	$5,9 \cdot 10^{-10}$ / vagnaxelkm	1 005 500	$6,39 \cdot 10^{-4}$
Växel sliten	$5,0 \cdot 10^{-10}$ / växelpassage	72 500	$3,63 \cdot 10^{-4}$
Vagnfel	$3,1 \cdot 10^{-9}$ / vagnaxelkm	1 005 500	$3,12 \cdot 10^{-3}$
Lastförskjutning	$4,0 \cdot 10^{-10}$ / vagnaxelkm	1 005 500	$4,02 \cdot 10^{-4}$
Annan orsak	$5,7 \cdot 10^{-8}$ / tågkm	72 500	$4,13 \cdot 10^{-3}$
Okänd orsak	$1,4 \cdot 10^{-7}$ / tågkm	72 500	$1,02 \cdot 10^{-2}$

Ovanstående beräkning upprepas för framtidsprognosen och i Tabell 8 visas en sammanställning av olycksfrekvenserna.

**Tabell 8 Sammanställning av olycksfrekvenser.**

Olycksfrekvens per år	Basprognos	Framtidsprognos
Urspårning (totalt)	0,0188	0,0216
Urspårning (resandetåg)	0,0150	0,0134
Urspårning (godståg)	0,0038	0,0081
Urspårning (godståg med farligt gods)	0,0006	0,0013

#### B.4.2 Index för farliggodsoolycka

Fredén anger ett index för farliggodsoolycka 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 farliggodsoolycka på 0,01.

<sup>30</sup> Fredén, S., *Modell för skattning av sannolikheten för järnvägsolyckor som drabbar omgivningen*, Rapport 2001:5, Miljösektionen, Banverket, 2001.

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  $1,07 \cdot 10^{-9}$  per vagnkilometer<sup>31</sup>.

#### B.4.3 Sammanställning av frekvenser för enskilda scenarier

Informationen i avsnitt B.1.1 samt den i avsnitt B.4.1-B.4.2 används för att beräkna frekvenserna för resp. scenario enligt nedanstående modell:

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

där:

$OF$  är olycksfrekvensen, se avsnitt B.4.1.

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

$N_{\text{ADR-X.X}}$  är andelen inom resp. RID-klass, se avsnitt B.2.

$I_{\text{FaGo-olycka}}$  är index för farligt godsolycka, se avsnitt B.4.2.

$P_{\text{konslADR-X.X}}$  är sannolikheten att ett visst scenario inträffar givet utsläpp i en specifik underklass, se avsnitt B.2.

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

I Tabell 9 sammanställs frekvensen för resp. scenario.

**Tabell 9** Frekvenser för respektive scenario på Väst kustbanan.

Scenario	Basprognos	Framtidsprognos
Klass 1 detonation	$1,7 \cdot 10^{-8}$	$1,8 \cdot 10^{-8}$
Klass 2 BLEVE	$1,2 \cdot 10^{-9}$	$2,7 \cdot 10^{-9}$
Klass 2 jetflamma	$1,6 \cdot 10^{-8}$	$3,4 \cdot 10^{-8}$
Klass 2 UVCE	$1,6 \cdot 10^{-8}$	$3,4 \cdot 10^{-8}$
Klass 2 giftmoln	$4,6 \cdot 10^{-8}$	$9,8 \cdot 10^{-8}$
Klass 3 pölbrand (direkt)	$5,6 \cdot 10^{-6}$	$1,2 \cdot 10^{-5}$
Klass 3 pölbrand (fördröjd)	$2,8 \cdot 10^{-6}$	$6,0 \cdot 10^{-6}$
Klass 3 giftmoln	$1,2 \cdot 10^{-7}$	$2,5 \cdot 10^{-7}$
Klass 5 detonation	$9,4 \cdot 10^{-9}$	$2,0 \cdot 10^{-8}$
Klass 6 giftmoln	$4,9 \cdot 10^{-7}$	$1,0 \cdot 10^{-6}$
Klass 8	$3,1 \cdot 10^{-5}$	$6,6 \cdot 10^{-5}$
Summa:	$4,0 \cdot 10^{-5}$	$8,5 \cdot 10^{-5}$

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

De enskilda scenariernas frekvenser i Tabell 9 är den data som frekvensmodellen lämnar över till "riskmodellen". I riskmodellen används ovanstående frekvenser tillsammans med resultatet av konsekvensberäkningarna i avsnitt C.3. Nedan följer en topp-3-lista över de scenarier som är mest frekventa, tillsammans står de för 99,5 % av olyckorna.

1. Utsläpp av RID-klass 8 som kan ge frätskador i närområdet (77,0 %).
2. Pölbränder vid utsläpp av RID-klass 3 som kan ge brännskador och brandspridning (21,2 %).
3. Giftmoln som driver iväg med vinden vid utsläpp av RID-klass 6, vilket kan orsaka förgiftning (1,2 %).

## C. Konsekvenser av olyckor med farligt gods

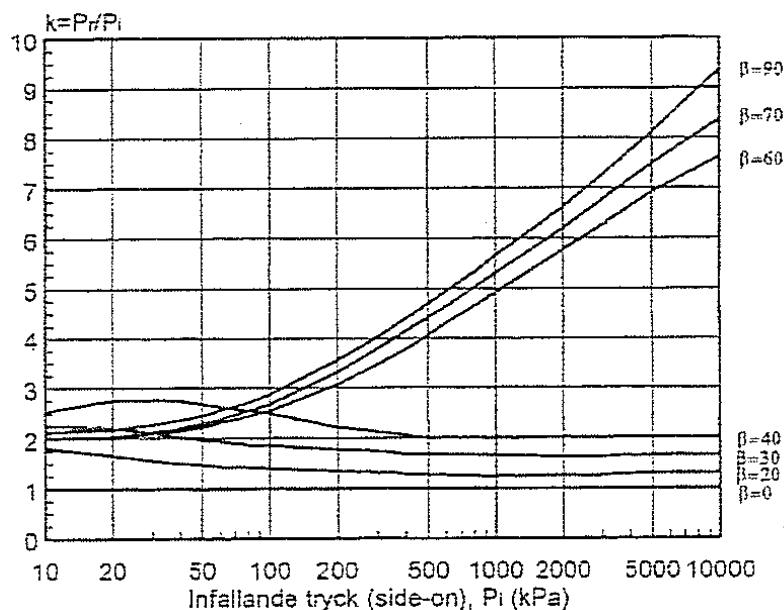
### C.1 Beräkning av konsekvenser

I detta avsnitt redovisas de modeller som har använts beräkning av olyckornas konsekvenser. Syftet med avsnittet är att visa vilka modeller som använts på en övergripande nivå. För ytterligare information hänvisas till angivna referenser.

#### C.1.1 Detonation

Beräkning av tryckverkan vid detonation av explosivämne i RID-klass 1 och RID-klass 5 utförs enligt nedanstående metodik<sup>32</sup>:

- Inledningsvis beräknas laddningsvikten, vilken är en statistisk fördelning relaterat till förekommande transporter av farligt gods. Laddningsvikten ökas 1,8 ggr 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 19 kan det infallande fria trycket på ett givet avstånd beräknas. Det fria trycket används sedan för att uppskatta skador på människor och egendom.



Figur 19 Maximalt övertryck respektive kvot mellan reflekterat- och infallande tryck.

<sup>32</sup> Fischer, S. m.fl., *Vådautsläpp av brandfarliga och giftiga gaser och vätskor. Metoder för bedömning av risker*. Försvarets Forskningsanstalt, Stockholm, 1997.



### C.1.2 Avdunstning

Massflödet vid avdunstning behöver bedömas för att kunna uppskatta effekterna av spridning i luft vid utsläpp av giftig brandfarlig vätska i 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 ekvationer<sup>33</sup> enligt nedan. Traditionellt används alternativa metoder inom andra ingenjörsciensdiscipliner, men jämförande beräkningar visar att de olika metoderna överensstämmer väl<sup>33</sup>. Nedanstående ekvationer gäller för vätskor vars kokpunkt är högre än omgivningens temperatur.

$$Y_{FW} = \frac{1}{\left[1 + \left[\left(\frac{p}{p_F}\right) - 1\right] \left(\frac{M_{luft}}{M_F}\right)\right]} \quad [1.1]$$

$$B = \frac{(Y_{F_\infty} - Y_{FW})}{(Y_{FW} - Y_{FR})} \quad [1.2]$$

$$Re = u \cdot D_{eq} / \nu \quad [1.3]$$

$$Nu = 0,037 \cdot Re^{4/5} \cdot Pr_{luft}^{1/3} \quad [1.4]$$

$$h = Nu \cdot k_{luft} / D_{eq} \quad [1.5]$$

$$Q'' = \frac{(h / C_{P_{luft}}) \cdot \ln(1 + B)}{1000} \quad [1.6]$$

$$Q = Q'' \cdot A \quad [1.7]$$

$$D_{eq} = \sqrt{\frac{4A}{\pi}} \quad [1.8]$$

där

$Y_{FW}$	= Massfraktion bränsle vid ytan i gasfas.
$Y_{F_\infty}$	= Massfraktion bränsle i luften ovanför bränsleytan.
$Y_{FR}$	= Massfraktion bränsle i vätskepoolen.
$p$	= 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.

<sup>33</sup> Andersson, B., *Introduktion till konsekvensberäkningar, några förenklade typfall*, Institutionen för Brandteknik, Lunds universitet, Lund, 1992.

$D_{eq}$	= Pölens ekvivalenta diameter <sup>34</sup> , m.
$A$	= Pölens area, m
$\nu$	= Kinematisk viskositet för luft = $15,08 \cdot 10^{-6}$ m <sup>2</sup> /s.
$h$	= Konvektivt värmeövergångstal, W/m <sup>2</sup> K.
$k_{luft}$	= Konduktivitet för luft = 0,02568 W/mK.
$Q''$	= Massflöde från ytan, kg/m <sup>2</sup> s.
$Q$	= Massflöde från ytan, kg/s.
$C_{P_{luft}}$	= Värmekapacitet för luft = 1 J/gK.

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

### C.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 s.k. turbulent jet (fri cirkulär jet i medvind).

$$Q = C_d A \sqrt{\frac{2(P_0 - P_a)}{\nu_f}} \quad [1.9]$$

$$F = \frac{Q^2 \nu_f}{C_d A} \quad [1.10]$$

där

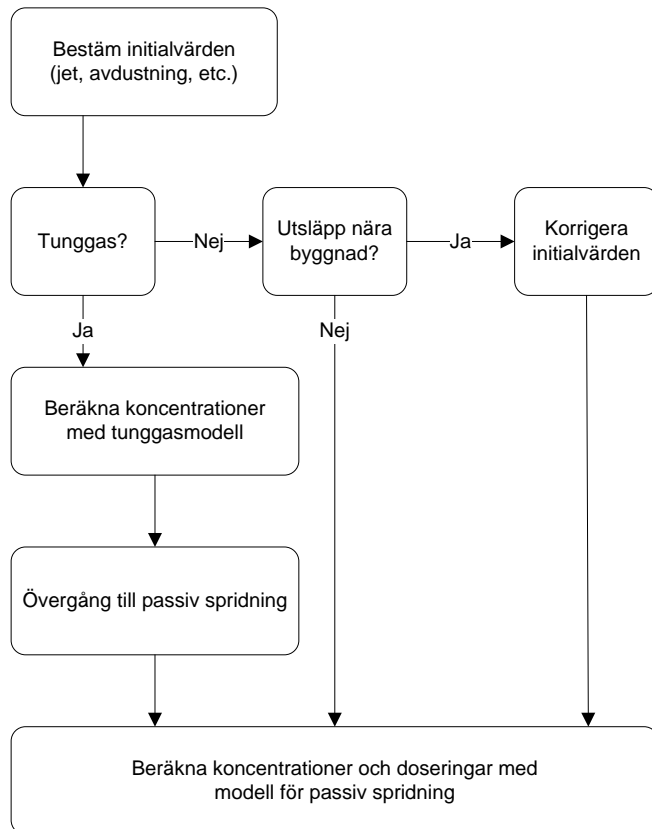
$Q$	= Massflödet, kg/s.
$C_d$	= Kontraktionsfaktor för vätskeutströmning.
$A$	= Hålstorlek, m <sup>2</sup> .
$P_0$	= Tanktryck, Pa.
$P_a$	= Atmosfärstryck, Pa.
$\nu_f$	= Specifik volym hos vätskefas, m <sup>3</sup> /kg.
$F$	= Rörelsemängdsflöde i jetstråle, N.

---

<sup>34</sup> Den ekvivalenta diameter används för att skapa en cirkel med samma area som själva vätskepölen.

### C.1.4 Spridning i luft

Följande flödesschema<sup>35</sup> för utsläpp används för att uppskatta spridning i luft:



Figur 20 Flödesschema<sup>35</sup> för kontinuerliga utsläpp

#### C.1.4.1 Källmodell

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

#### C.1.4.2 Bestäm initialvärden

Värden för den initiala utspädningsprocessen<sup>35</sup> bestäms med följande ekvationer:

*Avdunstning*

$x = 0$  i pölens uppströmskant

$$\sigma_{y0} = 0,25 \cdot D_{eq} \quad [1.11]$$

$$\sigma_{z0} = 0,05 \cdot D_{eq} \quad [1.12]$$

där

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

<sup>35</sup> Fischer, S. m.fl., *Vådautsläpp av brandfarliga och giftiga gaser och vätskor. Metoder för bedömning av risker*. Försvarets Forskningsanstalt, Stockholm, 1997.

### Tryckkondenserad gas

Utströmning av tryckkondenserad gas sker med en s.k. turbulent jet för vilken följande initiala dimensionsmått erhålls:

$$\sigma_{y0} = \sigma_{z0} = 0,44R(x_{tr}) \quad [1.13]$$

#### C.1.4.3 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:

$$x \leq \frac{0,037L_b}{(\sigma'_{yp})^3} - \frac{\sigma_{y0}^{3/2}}{0,35L_b^{1/2}} = x_{\max} \quad [1.14]$$

$$\sigma'_{yp} = \beta \left( \frac{z_0}{z_{03}} \right)^{0,2} \quad [1.15]$$

$$L_b = g \left( 1 - \frac{M_{luft}}{M_{F_{eff}}} \right) \cdot \frac{Q}{\rho_a u^3} \quad [1.16]$$

$$M_{F_{eff}} = M_F \left[ 1 + \frac{c_{pg}(T_a - T_{g0})}{c_{pa}T_a} \right] \quad [1.17]$$

där

- $x$  = Horisontell koordinat; parallell med vindhastigheten, m.
- $L_b$  = Längdskala för tunggasutsläpp, m.
- $\sigma'_{yp}$  = dispersionskoefficientderivata för passiv spridning.
- $\beta$  = 0,08 för stabilitetsklass A-D, 0,06 för klass E och 0,04 för klass F.
- $z_0$  = Skrovlighetslängd (ytråhet), m.
- $z_{03}$  = Referenslängd för skrovlighet (ytråhet) = 0,03 m.
- $g$  = Tyngdacceleration = 9,81 m<sup>2</sup>/s.
- $M_{F_{eff}}$  = Effektiv molekylvikt hos bränslet efter hänsyn till temperatur innan utsläpp.
- $T_a$  = Lufttemperaturen, K
- $T_{g0}$  = 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.

#### C.1.4.4 Beräkning av koncentrationer med tunggasmodell

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

$$X_{\max}(x) = X(x, 0, 0) = \frac{85Q \cdot K_r^{-1} \cdot K_s}{\left(x + \sqrt{85\pi \cdot K_r^{-1} \cdot K_s \cdot \sigma_{z0} \cdot \sigma_{y0}}\right)^2 \cdot u} \quad [1.18]$$

$$K_r = \left(\frac{z_0}{z_{01}}\right)^{0,2} \quad [1.19]$$

där

- $X_{\max}$  = Maximal koncentration i vindriktningen, kg/m<sup>3</sup>.
- $K_r$  = 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.

$$\sigma_y(x) = \left[\sigma_{y0}^{3/2} + 0,35L_b^{1/2}x\right]^{2/3} \quad [1.20]$$

$$\sigma_z(x) = \frac{\left(x + \sqrt{85\pi \cdot K_r^{-1} \cdot K_s \cdot \sigma_{z0} \cdot \sigma_{y0}}\right)^2}{85\pi \cdot K_r^{-1} \cdot K_s \cdot \sigma_y(x)} \quad [1.21]$$

där

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

#### C.1.4.5 Övergång till passiv spridning

Vid  $x_{\max}$  är inte längre tunggasmodellen tillämpbar. Plymen har då fått standardavvikelser enligt ekvationerna [1.20] och [1.21] med  $x = x_{\max}$  och dessa värden på  $\sigma_y$  och  $\sigma_z$  används som initiala värden ( $\sigma_{y0}$  och  $\sigma_{z0}$ ) i modellen för passiv spridning.

#### C.1.4.6 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.

$$X(x, y, z) = \frac{Q}{2\pi\sigma_y\sigma_z u} \exp\left(-\frac{y^2}{2\sigma_y^2}\right) \exp\left(-\frac{(z-H)^2}{2\sigma_z^2}\right) \exp\left(-\frac{(z+H)^2}{2\sigma_z^2}\right) \quad [1.22]$$

där

- $X(x, y, z)$  = Koncentrationen på avståndet  $x$ ,  $y$  och  $z$ , kg/m<sup>3</sup>.
- $Q$  = Utsläppets källstyrka, kg/s.

$\sigma_y, \sigma_z$  = Dispersionskoefficienter i sid- och höjddled  
 $u$  = Vindhastigheten, m/s.  
 $H$  = Utsläppets höjd, m

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

$$\sigma_y = \frac{a_y (x + x_{y0})}{(1 + b_y (x + x_{y0}))^{\gamma_y}} K_{rp} K_{yt} \quad [1.23]$$

$$\sigma_z = \frac{a_z (x + x_{z0})}{(1 + b_z (x + x_{z0}))^{\gamma_z}} K_{rp} \quad [1.24]$$

där  $a$ ,  $b$ , och  $\gamma$  är parametrar som beror på rådande stabilitet;  $x_{y0}$  och  $x_{z0}$  är avstånden till s.k. virtuella källor, dvs. 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).

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

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

$$x_{y0} = \frac{\left(\frac{\sigma_{y0}}{K_{rp} K_{yt}}\right)^2 b_y + \frac{\sigma_{y0}}{K_{rp} K_{yt}} \sqrt{\left(\frac{\sigma_{y0}}{K_{rp} K_{yt}}\right)^2 b_y^2 + 4a_y^2}}{2a_y^2} \quad \text{för } \gamma_y = 0,5 \quad [1.25]$$

$$x_{z0} = \frac{\left(\frac{\sigma_{z0}}{K_{rp}}\right)}{a_z - b_z \left(\frac{\sigma_{z0}}{K_{rp}}\right)} \quad \text{för } \gamma_z = 1 \quad [1.26]$$

$$x_{z0} = \frac{\left(\frac{\sigma_{z0}}{K_{rp}}\right)^2 b_z + \frac{\sigma_{z0}}{K_{rp}} \sqrt{\left(\frac{\sigma_{z0}}{K_{rp}}\right)^2 b_z^2 + 4a_z^2}}{2a_z^2} \quad \text{f\"or } \gamma_z = 0,5 \quad [1.27]$$

$$x_{z0} = \frac{\sigma_{z0}}{K_{rp} a_z} \quad \text{f\"or } \gamma_z = 0 \quad [1.28]$$

$$x_{z0} = \frac{\sqrt{1 + \frac{4 \frac{\sigma_{z0}}{K_{rp}} (\sqrt{2} - 1) b_z}{a_z}} - 1}{2(\sqrt{2} - 1) b_z} \quad \text{f\"or } \gamma_z = -0,5 \quad [1.29]$$

$\sigma_{y0}$  och  $\sigma_{z0}$  är de initiala dispersionskoefficienterna, vilka väljs utifrån riktlinjerna i avsnitt C.1.4.2

### C.1.5 BLEVE

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

$$D = 6,48m^{0,325} \quad [1.30]$$

$$t_{BLEVE} = 0,825m^{0,26} \quad [1.31]$$

$$F_{21} = \frac{D^2}{4X^2} \quad [1.32]$$

$$\tau = 2,02(p_w X)^{-0,09} \quad [1.33]$$

$$q_r = \frac{X_E m \Delta h_c}{\pi D^2 t_{BLEVE}} \quad [1.34]$$

$$q_x = \tau q_r F_{21} \quad [1.35]$$

där

$D$	= Eldklotets diameter, m.
$m$	= Utsläppt massa brännbar vätska, kg.
$t_{BLEVE}$	= Eldklotets varaktighet, s.
$F_{21}$	= Synfaktor
$X$	= Avstånd mellan eldklotets yta och mottagande föremål, m.
$\tau$	= Andel av strålningen som transmitteras genom luften.
$p_w$	= Vattens ångtryck, Pa
$q_r$	= Avgiven strålning, kW/m <sup>2</sup> .
$X_E$	= Strålningsandel.
$\Delta h_c$	= Förbränningsvärme, kJ/kg.
$q_x$	= Mottagen strålning, kW/m <sup>2</sup> .



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

### C.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.

$$R_{s,50} = 1,9t^{0,4}Q^{0,47} \quad [1.36]$$

där

$$\begin{aligned} R_{s,50} &= \text{Riskavstånd till 50 \% dödlighet, m} \\ t &= \text{Exponeringstid vid strålningspåverkan, s} \\ Q &= \text{Utsläppets källstryka, kg/s (se avsnitt C.1.3)} \end{aligned}$$

### C.1.7 Pölbrand

Strålningen från en pölbrand kan beräknas med nedanstående ekvationer.

$$Q = m'' \Delta h_c A_p \quad [1.37]$$

$$q_r = X_e Q \quad [1.38]$$

$$F_{12} = \frac{1}{4\pi X^2} \quad [1.39]$$

$$q_x = \tau q_r F_{12} \quad [1.40]$$

där:

$$\begin{aligned} Q &= \text{Brandens effekt, kW.} \\ m'' &= \text{Förbränningshastighet per ytenhet, kg/s/m}^2. \\ \Delta h_c &= \text{Förbränningsvärme, kJ/kg.} \\ A_p &= \text{Pölens area, m}^2. \\ q_r &= \text{Avgiven strålning, kW/m}^2. \\ X_e &= \text{Strålningsandel.} \\ F_{21} &= \text{Synfaktor} \\ X &= \text{Avstånd mellan eldklotets yta och mottagande föremål, m.} \\ q_x &= \text{Mottagen strålning, kW/m}^2. \\ \tau &= \text{Andel av strålningen som transmitteras genom luften, se avsnitt C.1.5.} \end{aligned}$$

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

### C.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 m från tanken utsätts för dödliga skador.

## C.2 Indata

### C.2.1 Väder- och vindförhållanden

Väder- och vindförhållanden har betydelse när konsekvenserna av utsläpp av gaser (brännbara eller giftiga) ska bedömas. I Tabell 10 redovisas de värden som använts vid konsekvensberäkningarna.

**Tabell 10 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

### C.2.2 Ämnesspecifika data

I nedanstående tabeller ges väsentlig indata, vilka är de samma som använts i Länsstyrelsen i Skåne läns riktlinjer<sup>36</sup>. En förklaring till statistiska begrepp och sannolikhetsfördelningar ges i bilaga A.

**Tabell 11 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 12 Fördelning av hålstorlek. Källstyrkan avser utsläpp av gasol**

Håltyp	Håldiameter	Källstyrka	Sannolikhet, järnväg
Litet	10 mm	1 kg/s	62.5 %
Medel	30 mm	12 kg/s	20.8 %
Stort	110 mm	160 kg/s	16.7 %

<sup>36</sup> 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 Räddningsverket<sup>37</sup>, medan de olika hålstorlekarna bygger på uppskattningar från bland annat Cox<sup>38</sup> och CPQRA<sup>39</sup>.

**Tabell 13 Ämnesspecifika indata.**

Variabel	Enhet	Propylen-oxid	Dimetyl-sulfat	Svavel-dioxid	Gasol	Bensin
Molvikt	[g/mol]	58,1	126	64	76,53	
Densitet vätska	[kg/m <sup>3</sup> ]	830	1330	1460	605	750
Utsläppt mängd	[ton]	15-25	15-25	15-25	15-25	15-25
Förbränningsvärme	[kJ/kg]	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 <sup>2</sup> /s]					0,048

Trotyl, vilket är det representativa ämnet för explosioner i klass 1 och klass 5 har ett värmevärde på 4,2 MJ/kg och den massa som deltar i explosionen är hämtad från HMSO<sup>40</sup> och antar en fördelning enligt Tabell 14 nedan.

**Tabell 14 Massa som deltar i explosion i klass 1.**

Massa, kg	Ack. sannolikhet	Massa, kg	Ack. sannolikhet
50	1,1 %	1047	21,4 %
61	1,2 %	1095	22,3 %
126	1,2 %	1778	86,5 %
204	3,8 %	2399	86,8 %
316	20,8 %	16000	100,0 %
562	21,3 %		

<sup>37</sup> Räddningsverket, *Farligt Gods – riskbedömning vid transport. Handbok för riskbedömning av transporter med farligt gods på väg eller järnväg*, 1996.

<sup>38</sup> Cox, A.W., Lees, F.P., Ang, M.L., *Classification of Hazardous Locations*, ISBN 0-85295-258-9, Institution of Chemical Engineers, Warwickshire 1990.

<sup>39</sup> Center for Chemical Process Safety of the American Institute of Chemical Engineers, *Guidelines for Chemical Process Quantitative Risk Analysis*, New York, 1989

<sup>40</sup> HMSO, *Major hazard aspects of the transport of dangerous substances – report and appendices*, Advisory Committee on Dangerous Substances, Health & Safety Commission, London, 1991.

När det gäller klass 5 så är massan som medverkar vid explosion 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 c:a 25 ton massexplosiv vara.

### C.2.3 Skadekriterier

Riskanalysen berör skador på människor och de skadekriterier för exponering av giftiga gaser, värmestrålning och tryck som används redovisas i Tabell 15 nedan. Skadekriterierna representerar LC<sub>50</sub>-värden, dvs. den koncentration där 50 % av en population förväntas omkomma.

**Tabell 15 Skadekriterier för giftiga gaser, värmestrålning<sup>41</sup> och tryck.**

Skadeverkan	Kritisk påverkan
Explosion – tryck <sup>42</sup>	260 kPa
Explosion – värmestrålning <sup>43</sup>	43 kW/m <sup>2</sup>
Värmestrålning – BLEVE <sup>43</sup>	31 kW/m <sup>2</sup>
Värmestrålning – brandfarliga varor <sup>43</sup>	14 kW/m <sup>2</sup>
Toxicitet – giftig gas <sup>44</sup>	2 200 mg/m <sup>3</sup> (860 ppm)
Toxicitet – giftig vätska <sup>45</sup>	4 900 mg/m <sup>3</sup> (2 000 ppm)

## C.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 s.k. probitfunktioner till en fysikalisk parameter (toxisk koncentration (LC<sub>50</sub>) eller kritisk värmestrålning).

<sup>41</sup> Strålningsnivåerna gäller oskyddad hud och någon skyddseffekt av kläder har inte tagits hänsyn till vid beräkning av skadekriterierna.

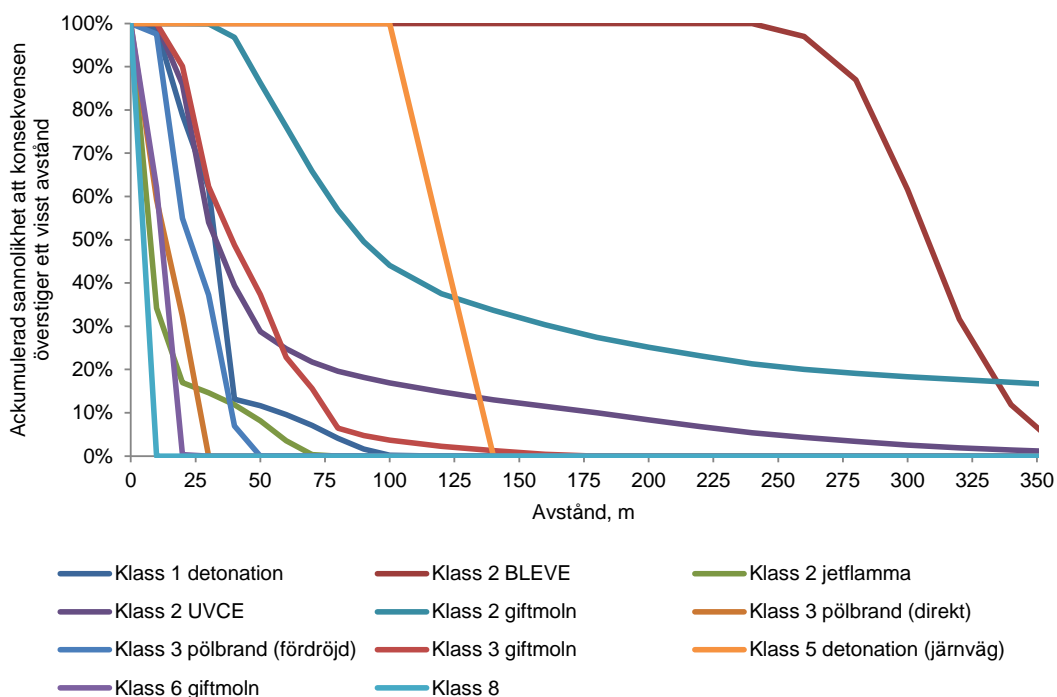
<sup>42</sup> HMSO, *Major hazard aspects of the transport of dangerous substances – report and appendices*, Advisory Committee on Dangerous Substances, Health & Safety Commission, London, 1991.

<sup>43</sup> Eldklotets varaktighet för explosion är c:a 7 s och för BLEVE c:a 11 s. 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".

<sup>44</sup> Representeras av svaveldioxid, 30 min exponering.

<sup>45</sup> Representeras av propylenoxid, 30 min exponering.

Ytterligare en förenkling är nödvändig för att kunna genomföra beräkningarna. Det ansätts att inom området 100 till 50 % dödlighet omkommer alla människor och i området 50 till 0 % omkommer ingen. Denna förenkling är nödvändig för att kunna ta fram de olika riskmåten. Vid en verklig olycka kan människor som befinner sig inom riskområdet komma att överleva samtidigt som människor utanför kan omkomma. Användningen av 50 % dödlighet skall därför ses som ett genomsnitt och följer principerna i CPQRA<sup>46</sup>. Ytterligare en nödvändig förenkling är att förutsätta att samtliga personer befinner sig oskyddade, i fri siktlinje med olycksplatsen. Då flertalet av variablerna beskrivs med sannolikhetsfördelningar i stället för punktvärden, utgör också resultatet statistiska fördelningar, vilka redovisas i Figur 21.



**Figur 21** Konsekvensområde vid olycka med farligt gods. Figuren visar en fördelning av konsekvensområdet vid olyckor av en viss typ. Exempelvis ger en BLEVE alltid ett skadefall som överstiger 240 m och 10 % av olyckorna som orsakar en BLEVE når 340 m eller längre.

Informationen i Figur 21 kan översättas till ett medelvärde för olyckan samt med ett konfidensintervall, inom vilket det är 95 % säkerhet att konsekvens inträffar. I Tabell 16 redovisas dessa värden.

<sup>46</sup> CPQRA, *Guidelines for Chemical Process Quantitative Risk Analysis*. Center for Chemical Process Safety of the American Institute of Chemical Engineers, New York, 1989.

**Tabell 16 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	310	350
Klass 2 jetflamma → brännskada	15	60
Klass 2 UVCE → brännskada	60	240
Klass 2 giftmoln → förgiftning	190	800
Klass 3 pölbrand (direkt) → brännskada	20	30
Klass 3 pölbrand (fördröjd) → brännskada	30	40
Klass 3 giftmoln → förgiftning	40	80
Klass 5 detonation → tryck	100	120
Klass 6 giftmoln → förgiftning	10	20
Klass 8 → frätskada	10	10

Syftet med Tabell 16 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 atmosfärsförhållanden. I riskanalysmodellen används sannolikhetsfördelningen för resp. scenario, vilken redovisas i Tabell 17. Notera att en sannolikhetsfördelning är en typ av histogram som visar hur stor andel av utfallen som hamnar i ett speciellt intervall. Sannolikhetsfördelningen indikerar variabelns minimi-, maximi- och medelvärde på ett tydligt sätt.

**Tabell 17 Sannolikhetsfördelning för resp. olycksscenario.**

Avstånd	Klass 1 detonation	Klass 2 BLEVE	Klass 2 jetflamma	Klass 2 UVCE	Klass 2 giftmoln
10	1,2 %	-	65,8 %	0,0 %	0,0 %
20	20,0 %	-	17,3 %	14,1 %	0,0 %
30	16,8 %	-	2,3 %	31,4 %	0,1 %
40	48,9 %	-	2,8 %	15,1 %	3,3 %
50	1,4 %	-	3,6 %	10,6 %	11,6 %
60	2,1 %	-	4,7 %	4,1 %	9,5 %
70	2,5 %	-	3,3 %	3,1 %	10,4 %
80	2,9 %	-	0,3 %	2,0 %	7,7 %

**Tabell 17 Sannolikhetsfördelning för resp. olycksscenario. (forts.)**

Avstånd	Klass 1 detonation	Klass 2 BLEVE	Klass 2 jetflamma	Klass 2 UVCE	Klass 2 giftmoln
90	2,5 %	-	-	1,6 %	7,4 %
100	1,5 %	-	-	1,3 %	5,8 %
120	0,2 %	-	-	2,0 %	6,7 %
140	-	-	-	1,8 %	4,2 %
160	-	-	-	1,3 %	3,3 %
180	-	-	-	1,6 %	2,8 %
200	-	-	-	1,7 %	2,3 %
220	-	-	-	1,5 %	2,2 %
240	-	-	-	1,4 %	1,7 %
260	-	2,8 %	-	1,2 %	1,2 %
280	-	10,1 %	-	0,8 %	0,9 %
300	-	25,6 %	-	0,8 %	0,8 %
320	-	29,8 %	-	0,6 %	0,7 %
340	-	19,9 %	-	0,5 %	0,7 %
360	-	10,3 %	-	0,4 %	0,6 %
380	-	1,4 %	-	0,3 %	0,6 %
400	-	-	-	0,3 %	0,6 %
450	-	-	-	0,3 %	1,4 %
500	-	-	-	0,1 %	1,1 %
550	-	-	-	-	1,0 %
600	-	-	-	-	1,0 %
650	-	-	-	-	0,8 %
700	-	-	-	-	0,6 %
800	-	-	-	-	1,3 %
900	-	-	-	-	1,1 %
1 000	-	-	-	-	1,1 %



**Tabell 17 Sannolikhetsfördelning för resp. olycksscenario. (forts.)**

Avstånd	Klass 3 pölbrand direkt	Klass 3 pölbrand fördröjd	Klass 3 giftmoln	Klass 5 detonation	Klass 6 giftmolnfrätskada	Klass 8
10	40,8 %	2,5 %	0,0 %	0,0 %	37,8 %	100 %
20	26,8 %	42,6 %	10,0 %	0,0 %	61,8 %	-
30	32,4 %	17,7 %	27,5 %	0,0 %	0,4 %	-
40	-	30,3 %	13,7 %	0,0 %	-	-
50	-	6,9 %	11,6 %	0,0 %	-	-
60	-	-	14,5 %	0,0 %	-	-
70	-	-	6,7 %	0,0 %	-	-
80	-	-	9,5 %	0,0 %	-	-
90	-	-	1,7 %	0,0 %	-	-
100	-	-	1,2 %	50,0 %	-	-
120	-	-	1,3 %	50,0 %	-	-
140	-	-	0,9 %	-	-	-
160	-	-	0,9 %	-	-	-
180	-	-	0,4 %	-	-	-

## D. Frekvenser och konsekvenser för mekanisk skada vid urspårning

### D.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 18 visas fördelningen för avstånd från spår som vagnar förväntas hamna efter urspårning. Det viktade värdet bygger på uppgifter i avsnitt B.4.1 där godståg står för 20 % av urspårningarna i basprognosen och 38 % i framtidsprognosen.

**Tabell 18 Avstånd från spår för urspårade vagnar<sup>47</sup>.**

Avstånd från spår	0-1 m	1-5 m	5-15 m	15-25 m	>25 m
Resandetåg	77,5 %	18,0 %	2,3 %	2,2 %	-
Godståg	70,3 %	19,8 %	5,5 %	2,2 %	2,2 %
Viktat värde (basprognos):	76,0 %	18,4 %	2,9 %	2,2 %	0,4 %
Viktat värde (framtidsprognos):	74,8 %	18,7 %	3,5 %	2,2 %	0,8 %

Enligt Tabell 18 varierar sannolikheten för respektive konsekvensavstånd något beroende på vilken tågtyp som går på det aktuella spåret. En sammanvägning (viktning) av dessa sannolikheter används tillsammans med den totala urspårningsfrekvensen för både gods- och resandetåg (se avsnitt B.4.1) för att beräkna riskbidraget från urspårande tåg.

### D.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. Risken 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 m, vilket är det avstånd som urspårade vagnar i de flesta fall hamnar inom.

<sup>47</sup> Fredén, S., *Modell för skattning av sannolikheten för järnvägsolyckor som drabbar omgivningen*, Rapport 2001:5, Miljösektionen, Banverket, 2001

## E. Risknivå utmed Västkustbanan

### E.1 Modell för beräkning av individrisk

#### E.1.1 Beskrivning

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

##### *Olyckor med farligt gods*

Frekvenserna för resp. scenario finns angivna i avsnitt B.4.3. Dessa frekvenser kombineras sedan med sannolikhetsfördelningen för konsekvensens utbredning redovisad i Tabell 17 och sannolikheten att ett område påverkas från avsnitt B.1.2. Beräkningsgången exemplifieras i avsnitt E.1.2 och E.1.3.

##### *Urspårningsolyckor*

För urspårningsolyckor används frekvensen för järnvägsolycka redovisad i avsnitt B.4.1 tillsammans med sannolikheten att ett område påverkas från avsnitt B.1.2. Därutöver sker en reduktion med 50 % efter som en urspårning endast kan påverka personer antingen på spårets östra eller västra sida. Beräkningsgången är lika den som exemplifieras i avsnitt E.1.2 och E.1.3.

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

I avsnitt C.3 redovisas sannolikhetsfördelningar för resp. olycksscenario och i avsnitt B.1.2 redovisas en faktor för att korrigera olycksfrekvensen per km till den faktiska påverkan på ett visst avstånd från transportleden. Denna information kombineras genom korsvis multiplikation för att ta fram en sannolikhetsfördelning som en funktion av avståndet från transportleden. Nedan visas ett exempel på beräkning avseende transport av explosivämnen i klass 1.

Avstånd	Klass 1 detonation	X	Olyckan när	Avstånd som studeras, m			
				0	10	20	30
10	1,2 %		0	-	-	-	-
20	20,0 %		10	0,02	-	-	-
30	16,8 %		20	0,04	0,03	-	-
40	48,9 %		30	0,06	0,06	0,04	-
50	1,4 %		40	0,08	0,08	0,07	0,05
60	2,1 %		50	0,10	0,10	0,09	0,08
70	2,5 %		60	0,12	0,12	0,11	0,10
80	2,9 %		70	0,14	0,14	0,13	0,13
90	2,5 %		80	0,16	0,16	0,15	0,15
100	1,5 %		90	0,18	0,18	0,18	0,17
120	0,2 %		100	0,20	0,20	0,20	0,19
			120	0,24	0,24	0,24	0,23

Olyckan när	Klass 1 detonation Avstånd som studeras, m			
	0	10	20	30
0	0 %	0 %	0 %	0 %
10	0 %	0 %	0 %	0 %
20	0,8 %	0,7 %	0 %	0 %
30	1,0 %	1,0 %	0,8 %	0 %
40	3,9 %	3,8 %	3,4 %	2,6 %
50	0,1 %	0,1 %	0,1 %	0,1 %
60	0,3 %	0,2 %	0,2 %	0,2 %
70	0,3 %	0,3 %	0,3 %	0,3 %
80	0,5 %	0,5 %	0,4 %	0,4 %
90	0,5 %	0,5 %	0,4 %	0,4 %
100	0,3 %	0,3 %	0,3 %	0,3 %
120	0,05 %	0,05 %	0,05 %	0,05 %

De två översta matriserna är utdrag ur Tabell 17 och Tabell 4 och den nedersta matrisen skapas genom att multiplicera de med varandra. För överblickbarhetens skull redovisas endast studerade avstånd 0-120 m. Naturligtvis sker den korsvisa multiplikationen för alla avstånd mellan 0 till 1000 m som redovisas i Tabell 17 och

Tabell 4. Slutligen summeras värdena i resp. kolumn i den resulterande matrisen, vilket redovisas i Tabell 19 nedan.

**Tabell 19 Sannolikheten att en olycka på en sträcka av 1 km når ett visst avstånd från transportleden.**

Avstånd	Urspårning	Klass 1 detonation	Klass 2 BLEVE	Klass 2 jetflamma	Klass 2 UVCE	Klass 2 giftmoln
0	0,021	0,077	0,636	0,038	0,140	0,317
10	0,0016	0,074	0,636	0,023	0,137	0,316
20	0,0006	0,061	0,635	0,016	0,126	0,313
30	0,00002	0,044	0,633	0,014	0,107	0,307
40		0,017	0,631	0,010	0,095	0,297
50		0,014	0,628	0,007	0,085	0,282
60		0,011	0,625	0,003	0,080	0,268
70		0,008	0,620	0,0002	0,076	0,253
80		0,004	0,616	-	0,072	0,240
90		0,002	0,610	-	0,068	0,228
100		0,0003	0,604	-	0,065	0,218
120		-	0,589	-	0,059	0,202
140		-	0,571	-	0,052	0,189
160		-	0,549	-	0,046	0,178
180		-	0,523	-	0,040	0,167
200		-	0,493	-	0,033	0,158
220		-	0,457	-	0,027	0,149
240		-	0,413	-	0,022	0,141
260		-	0,355	-	0,017	0,135
280		-	0,278	-	0,014	0,129
300		-	0,178	-	0,011	0,123
320		-	0,086	-	0,008	0,117
340		-	0,029	-	0,006	0,112
360		-	0,003	-	0,004	0,107
380		-	-	-	0,003	0,102

**Tabell 19 Sannolikheten att en olycka på en sträcka av 1 km når ett visst avstånd från transportleden.(forts.)**

Avstånd	Klass 2 UVCE	Klass 2 giftmoln
400	0,002	0,097
450	0,001	0,084
500	0,0002	0,072
550	-	0,061
600	-	0,051
650	-	0,042
700	-	0,034
800	-	0,020
900	-	0,008

**Tabell 19 Sannolikheten att en olycka på en sträcka av 1 km når ett visst avstånd från transportleden.(forts.)**

Avstånd	Klass 3 pölbrand direkt	Klass 3 pölbrand fördröjd	Klass 3 giftmoln	Klass 5 detonation	Klass 6 giftmolnfrätskada	Klass 8
0	0,038	0,059	0,101	0,260	0,033	0,02
10	0,028	0,055	0,098	0,259	0,022	-
20	0,014	0,035	0,088	0,257	0,0002	-
30	-	0,022	0,069	0,253	-	-
40	-	0,004	0,055	0,247	-	-
50	-	-	0,042	0,240-	-	-
60	-	-	0,028	0,230	-	-
70	-	-	0,020	0,219	-	-
80	-	-	0,011	0,204	-	-
90	-	-	0,009	0,187	-	-
100	-	-	0,007	0,164	-	-
120	-	-	0,004	0,072	-	-
140	-	-	0,002	-	-	-
160	-	-	0,001	-	-	-

### E.1.3 Beräkning av individrisk

I detta avsnitt redovisas hur individrisken beräknas för ett enskilt scenario – detonation av explosivt ämne i klass 1. Beräkningen utgör ett exempel på metodiken för att ta fram individrisken och upprepas sedan i modellen för samtliga scenarier som beskrivs i avsnitt 3.1.3.

1. Olycksfrekvensen för detonation av explosivt ämne i RID-klass 1 på Västkustbanan hämtas från Tabell 9 (basprognosen) och är  $1,7 \cdot 10^{-8}$  per kilometer och år.
2. Med hjälp av information om sannolikheten att konsekvensen påverkar ett visst avstånd från transportleden givet en olycka på en vägsträcka av 1 km (se Tabell 19) kan individrisken beräknas, vilket görs i Tabell 20.

**Tabell 20 Beräkning av individrisk för transport av explosiva ämnen i RID-klass 1 på Västkustbanan.**

Avstånd, m	Sannolikhet att konsekvensen når ett visst avstånd vid olycka på en sträcka av 1 km	Individrisk, per år
0	0,077	$0,077 \times 1,7 \cdot 10^{-8} = 1,34 \cdot 10^{-9}$
10	0,074	$0,074 \times 1,7 \cdot 10^{-8} = 1,29 \cdot 10^{-9}$
20	0,061	$0,061 \times 1,7 \cdot 10^{-8} = 1,06 \cdot 10^{-9}$
30	0,044	$0,044 \times 1,7 \cdot 10^{-8} = 7,68 \cdot 10^{-10}$
40	0,017	$0,017 \times 1,7 \cdot 10^{-8} = 2,97 \cdot 10^{-10}$
50	0,014	$0,014 \times 1,7 \cdot 10^{-8} = 2,44 \cdot 10^{-10}$
60	0,011	$0,011 \times 1,7 \cdot 10^{-8} = 1,92 \cdot 10^{-10}$
70	0,008	$0,008 \times 1,7 \cdot 10^{-8} = 1,40 \cdot 10^{-10}$
80	0,004	$0,004 \times 1,7 \cdot 10^{-8} = 6,98 \cdot 10^{-11}$
90	0,002	$0,002 \times 1,7 \cdot 10^{-8} = 3,49 \cdot 10^{-11}$
100	0,0003	$0,0003 \times 1,7 \cdot 10^{-8} = 5,24 \cdot 10^{-12}$

### E.2 Modell för beräkning av samhällsrisk

Beräkningar av samhällsrisk syftar till att försöka uppskatta skadeutfallet när en olycka väl inträffar. Skadeutfallet styrs av vilket scenario (se avsnitt 3.1.3) 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. Syftet med denna beräkning är att visa att Källered's centrala delar kan förtätas utan att samhällsrisk blir otillfredsställande. Beräkningarna är generella för Källered (längs med Västkustbanan).



### E.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 utmed transportleden karakteriseras med följande schablonvärden:

- ♦ Tät stadsbebyggelse – 10 000 invånare/km<sup>2</sup>.
- ♦ Stadsbebyggelse – 5 000 invånare/km<sup>2</sup>.
- ♦ Bostads- och industriområde – 2 500 invånare/km<sup>2</sup>.

När Västkustbanan passerar genom Kålleröd antas andelen stadsbebyggelse vara 25 % och andelen bostads- och industriområde 75 %. Detta är en överskattning av befolkningstätheten i syfte att utgöra en konservativ bedömning då befolkningstätheten väster om Västkustbanan är avsevärt lägre. När befolkningstätheten är känd krävs information om hur många människor som vistas utomhus under dagtid respektive på natten. En holländsk vägledning anger att 93 % befinner sig inomhus under dagtid och 99 % är inomhus på natten<sup>48</sup>. Dagtid antas råda mellan 08:00-18:30 och natt mellan 18:30-08:00. Dessa värden bedöms vara relevanta även för Kålleröd.

#### *Påverkansområde*

I avsnitt C.3 redovisas olyckornas utbredning i form av statistiska fördelningar. Denna information används för att bestämma hur stor yta som olyckan påverkar. De finns två olika typer av påverkansområde:

- ♦ Cirkulär utbredning, t.ex. bränder och explosioner.
- ♦ Konformad utbredning, t.ex. utsläpp av giftig gas.

Påverkansområdet (m<sup>2</sup>) vid cirkulär utbredning bestäms genom att använda olyckans utbredning som radie och därefter beräkna den yta ( $A = \pi r^2$ ) som påverkas. Om det finns ett bebyggelsefritt område ska beräknat påverkansområde minskas med ytan som detta område upptar. Vid konformad utbredning beräknas konsekvensområdet på liknande sätt efter kännedom om spridningsvinkeln<sup>49</sup> ( $A = \varphi \pi r^2$ ).

### E.2.2 Beräkning av samhällsrisk

Beräkningen av samhällsrisk sker med hjälp av statistisk simulering där värden slumpas fram från de fördelningar som representerar indata till modellen. Modellen består av ett antal "frågor", vilka besvaras med hjälp av de fördelningar som beskriver indata, se Tabell 21. En iteration består av att samtliga frågor i Tabell 21 besvaras.

---

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

<sup>49</sup> Mer information om spridningsvinkeln ( $\varphi$ ) finns i avsnitt B.1.1.

**Tabell 21 Modell för beräkning av samhällsrisk.**

Fråga	Svarsalternativ	Kommentar
Vilken tidpunkt?	Dag Natt	Bestämmer hur många människor som är utomhus. Se avsnitt E.2.1.
Vilket scenario?	Klass 1 detonation Klass 2 BLEVE Klass 2 jetflamma Klass 2 UVCE Klass 2 giftmoln Klass 3 pölbrand (direkt) Klass 3 pölbrand (fördröjd) Klass 3 giftmoln Klass 5 detonation Klass 6 giftmoln Klass 8	Se avsnitt B.4.3 för information om frekvenser.
Riskområde?	0-1 000 m	Bestämmer hur långt från olycksplatsen som dödsfall kan inträffa. Information finns i avsnitt C.3.
Påverkansområde?	Cirkulärt Konformat	Avgör hur stor yta som påverkas av olyckan. Se avsnitt E.2.1.

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 s.k. FN-kurva (se avsnitt 1.5.1).

Notera att varje gång som påverkansområdet antar ett positivt värde, dvs. 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 samhällsriskerna 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 22 redovisas de bedömningar som använts för att uppskatta andelen omkomna inomhus<sup>50,51</sup>.

**Tabell 22 Andel av personer inomhus som omkommer vid viss skadeverkan.**

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

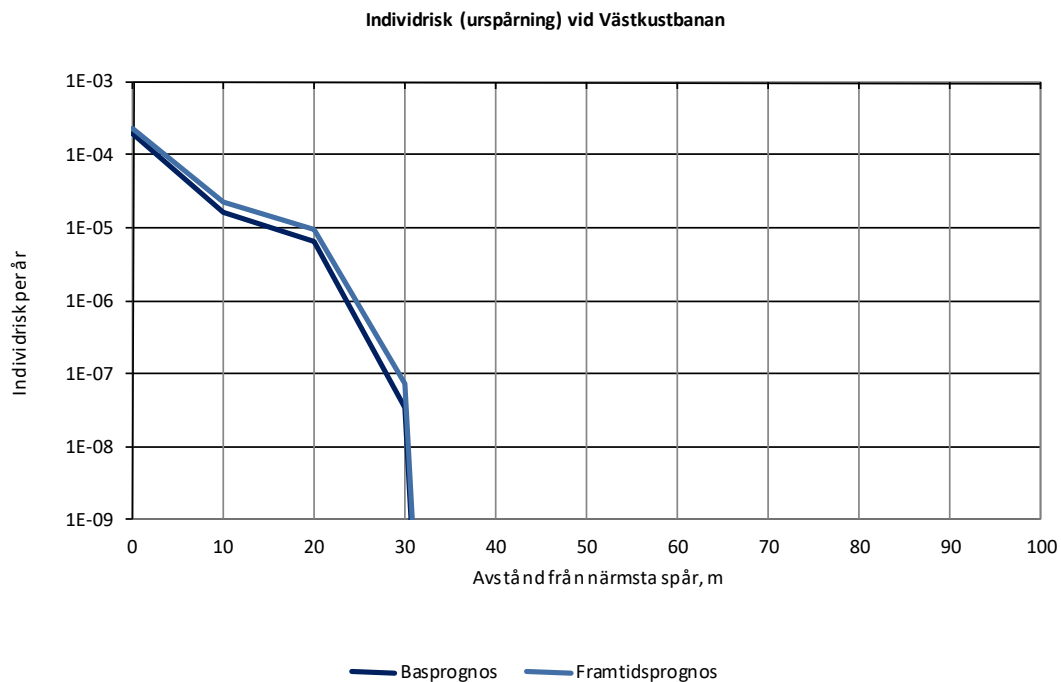
Trafikverket rekommenderar ett minsta bebyggelsefritt avstånd på 30 m till närmsta spår. I samhällsriskberäkningen ansätts detta avstånd till närmsta bebyggelse. Bebyggelsestätheten antas vara densamma på ömse sidor om Västkustbanan i syfte att förenkla riskvärderingen.

### E.3 Resultat

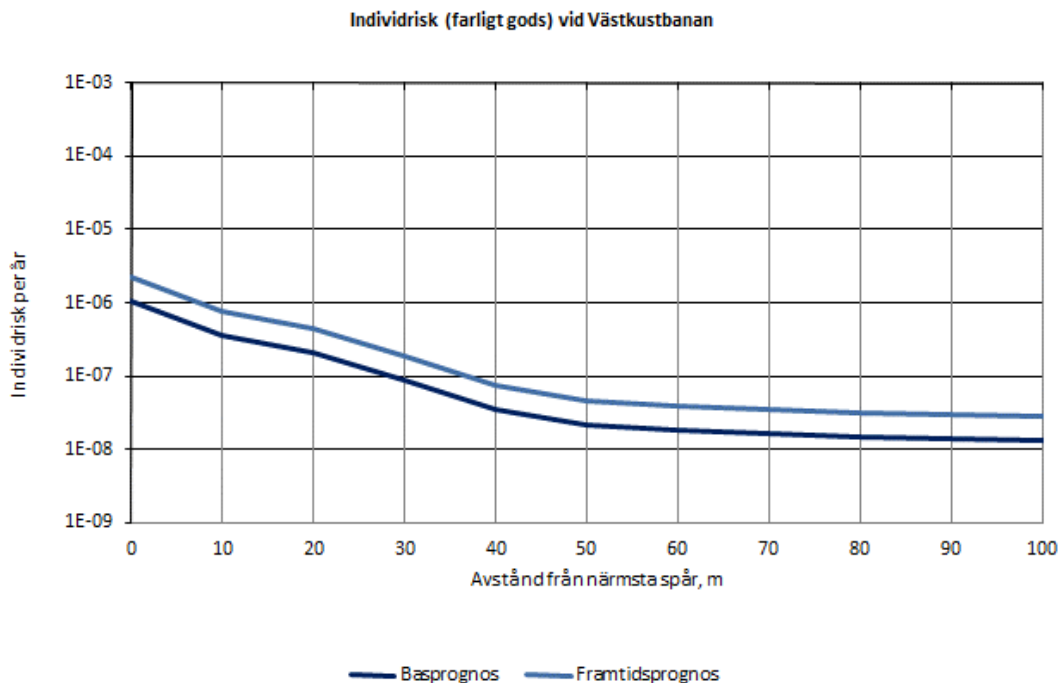
I Figur 22-Figur 24 redovisas individrisken för Västkustbanan förbi Källered centrum som funktion av avstånd från närmsta spår. Individrisken för järnvägsolycka utgörs av summan av individriskerna för urspårning och farligt gods. Risknivåerna redovisas för två trafikeringalternativ – basprognos och framtidsprognos.

<sup>50</sup> TNO, *Guideline for quantitative risk assessment*, CPR 18E.

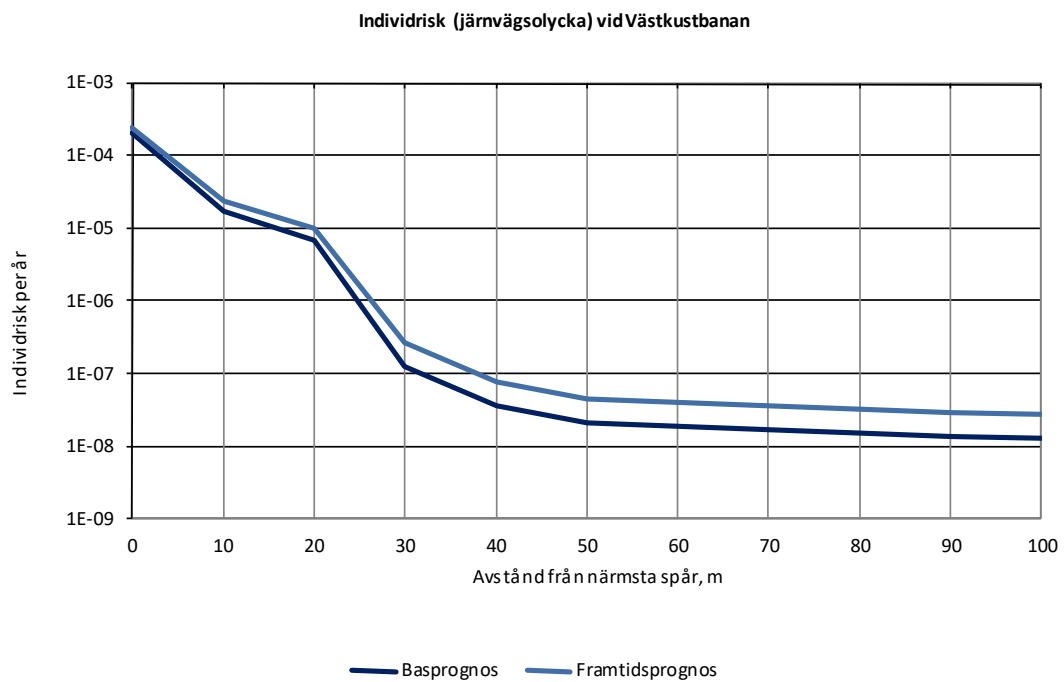
<sup>51</sup> Stadsbyggnadskontoret i Göteborg. *Översiktsplan för Göteborg - Fördjupad för sektorn transporter av farligt gods*, Bilagor 1-5. 1997.



**Figur 22** Individrisk (urspårning) som en funktion av avståndet från Västkustbanan förbi Källered centrum.

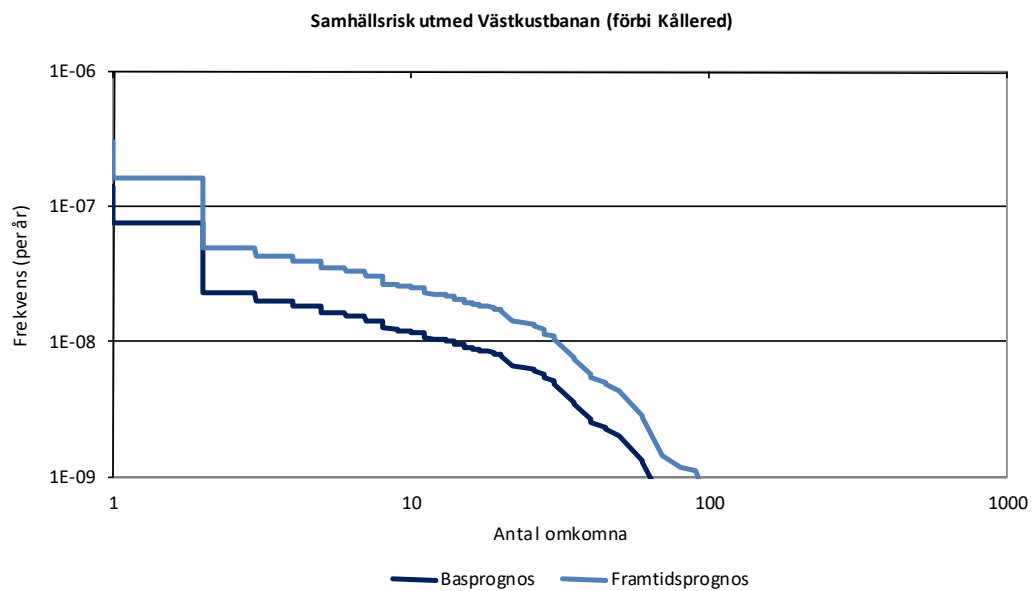


**Figur 23** Individrisk (farligt gods) som en funktion av avståndet från Västkustbanan förbi Källered centrum.



**Figur 24** Individerisk (järnvägsolycka) som en funktion av avståndet från Väst kustbanan förbi Källered centrum.

I Figur 25 redovisas samhällsrisken utmed Väst kustbanan (förbi Källered) med ett bebyggelsefritt avstånd på 30 m till närmsta spår.



**Figur 25** Samhällsrisk utmed Väst kustbanan förbi Källered.

## F. Känslighetsanalys

Riskanalysen utförs med en analysteknik som bygger på en omfattande och detaljerad hantering av den variation och osäkerhet som kan förknippas med riskbedömningar. Metodiken följer det arbets sätt som använts för underlaget till Länsstyrelsens i Skåne läns riktlinjer (RIKTSAM)<sup>52</sup> och i de fall där specifika indata saknas har värden, fördelningar och annan betydelsefull information hämtats från RIKTSAM.

### F.1 Olycksfrekvenser

#### F.1.1 Trafikeringsalternativ

Riskbedömningen utgår från basprognosen för år 2030. Basprognosen är den trafikering som Trafikverket utgår från i bl.a. kapacitetsbedömningar. Någon ytterligare ökning bedöms inte vara motiverad.

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

De finns olika källor som kan användas för att kartlägga transporter av farligt gods. Den första källan är nationell statistik som publiceras årligen<sup>53</sup> och den andra källan är en undersökning som gjorts av Räddningsverket (nuvarande Myndigheten för samhällsskydd och beredskap) för det 4:e kvartalet år 1998 samt september månad 2006. Kartläggningarna av Räddningsverket bedöms ha för svag precision för att kunna användas i riskbedömningen. Därför använder riskanalysen använder nationell statistik för att dela upp det farliga godset i olika ADR-klasser.

För att kunna bedöma risknivåerna krävs ytterligare information om fördelning av farligt gods inom resp. ADR-klass. Det är nödvändigt att känna till andelen massexplosiva varor, andelen giftiga och brandfarliga gaser, etc. Denna information finns inte dokumenterad i några källor, utan riskanalysen bygger på den uppdelning som finns redovisad i Länsstyrelsen i Skåne läns riktlinjer.

För transport på järnväg står pölbränder vid utsläpp av RID-klass 8 som kan ge frätskador för 77 % av antalet olyckor och utsläpp av vätskor i RID-klass 3 som kan ge brännskador och brandspridning för 21 %. Tillsammans utgör dessa två olyckstyper 98 % av de tänkbara olyckorna.

---

<sup>52</sup> Riktlinjer för riskhänsyn i samhällsplaneringen – bebyggelseplanering intill väg och järnväg med transport av farligt gods, Rapport "Skåne i utveckling", 2007:06.

<sup>53</sup> Trafikanalys, Bantrafik 2012, Statistik 2013:28.

## F.2 Konsekvenser av olyckor med farligt gods

### F.2.1 Beräkningsmodeller

Modellerna som används för att beräkna konsekvenser av olyckor bygger i huvudsak på information som finns tillgänglig i den s.k. FOA-handboken<sup>54</sup>. I stort är det samma modeller som Länsstyrelsen i Skåne län "RIKTSAM"<sup>55</sup> bygger på, med undantag av vissa förbättringar. Bl.a. modelleras utsläpp av giftiga gaser med både jet- och tunggassteg, vilket RIKTSAM inte gör. Detta ger mer realistiska (och längre) konsekvensområden i föreliggande riskanalys.

### F.2.2 Indata

Val av indata har stor betydelse för konsekvensberäkningarna och i många fall är indata förknippade med stor variation eller osäkerhet. Indata där variationen spelar roll är exempelvis väder- och vindförhållanden och indata som är förknippad med stor osäkerhet är t.ex. 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 resp. stabilitetsklass.

#### *Generella indata och ämnesspecifika uppgifter*

Exempel på generella indata är flödeskoefficienter och höjd på vätskepelare (i tanken), samt de hålstorlekar som kan uppkomma vid en olycka. Hålstorlekarna är de samma som i RIKTSAM, med sannolikheter från VTI<sup>56</sup>:

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

Dessa hålstorlekar är betydligt större än de som redovisas av Räddningsverket<sup>57</sup> där håldiametrar på 3, 9 resp. 31 mm används, vilket ger källstyrkor på 0,1-20 kg/s. En brittisk studie<sup>58</sup> använder 2 resp. 35 kg/s i sina beräkningar.

---

<sup>54</sup> Fischer, S. m.fl., *Vådautsläpp av brandfarliga och giftiga gaser och vätskor. Metoder för bedömning av risker*. Försvarets Forskningsanstalt, Stockholm, 1997.

<sup>55</sup> *Riktlinjer för riskhänsyn i samhällsplaneringen – bebyggelseplanering intill väg och järnväg med transport av farligt gods*, Rapport "Skåne i utveckling", 2007:06.

<sup>56</sup> Väg- och Trafikforskningsinstitutet, *Konsekvensanalys av olika olycksscenarioer vid transport av farligt gods på väg och järnväg*, rapport nr 387:4, 1994.

<sup>57</sup> Räddningsverket, *Farligt gods – riskbedömning vid transport*, 1996.

<sup>58</sup> HMSO, *Major hazard aspects of the transport of dangerous substances – report and appendices*, Advisory Committee on Dangerous Substances, Health & Safety Commission, London, 1991.



### Skadekriterier

Risikanalyser berör skador på människor och använder olika skadekriterier för exponering av giftiga gaser, värmestrålning och tryck. Konsekvensområdet bestäms av avståndet från utsläppskällan till en punkt där en dödlighet på 50 % inträffar. En förenkling som görs i enlighet med metodik redovisad i CPQRA<sup>59</sup> 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 LC<sub>50</sub>-värde. LC<sub>50</sub>-värdet kan bestämmas med kännedom om exponering och tid. CPR 18E<sup>60</sup> har använts som inspiration för de exponeringstider som används, vilka är 30 min för giftig gas och 30 s för brännskada.

### F.2.3 Beräkningsresultat

Eftersom flertalet av variablerna beskrivs med sannolikhetsfördelningar i stället för punktvärden, utgör också resultatet statistiska fördelningar, vilka kan redovisas med medelvärde, standardavvikelse och ett konfidensintervall.

**Tabell 23 Medelvärde och konfidensintervall för konsekvensberäkningarna.**

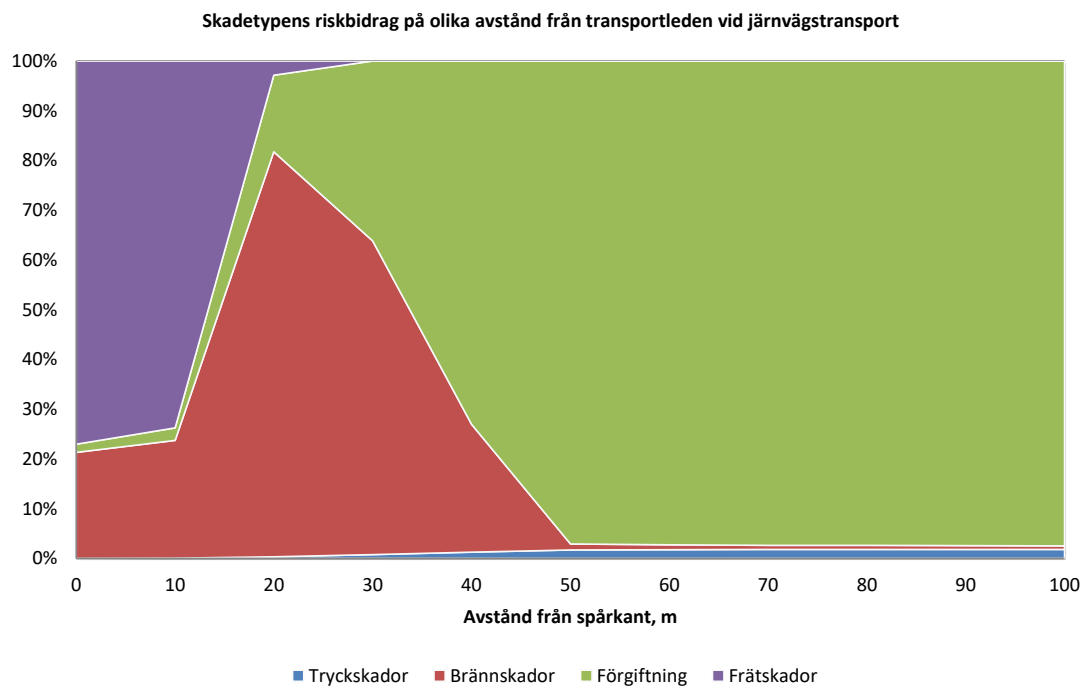
Scenario	Medel	5 %	95 %
Klass 1 detonation → tryck	35 m	20 m	77 m
Klass 2 BLEVE → brännskada	308 m	268 m	352 m
Klass 2 jetflamma → brännskada <sup>61</sup>	15 m	6 m	57 m
Klass 2 UVCE → brännskada	63 m	17 m	240 m
Klass 2 giftmoln → förgiftning	187 m	42 m	800 m
Klass 3 pölbrand (direkt) → brännskada	15 m	7 m	26 m
Klass 3 pölbrand (fördröjd) → brännskada	24 m	10 m	41 m
Klass 3 giftmoln → förgiftning	42 m	15 m	77 m
Klass 5 detonation → tryck	42 m	31 m	52 m
Klass 6 giftmoln → förgiftning	12 m	5 m	18 m
Klass 8 → frätskada	10 m	10 m	10 m

<sup>59</sup> Center for Chemical Process Safety of the American Institute of Chemical Engineers, *Guidelines for Chemical Process Quantitative Risk Analysis*, New York, 1989.

<sup>60</sup> TNO, *Guideline for quantitative risk assessment*, CPR 18E.

<sup>61</sup> Notera att nivåskillnaden mellan väg E 22 och planområdet gör att konsekvenserna av en jetflamma inte kan påverka intilliggande bebyggelse.

Tabellen ovan visar att några av scenarier har ett relativt stort konfidensintervall där 95 %-värdet avviker stort från medelvärdet. För att kunna göra ett urval av de variabler som har störst betydelse för beräknat konsekvensområde studeras resp. olycksscenarios betydelse för risknivån, se Figur 26.



**Figur 26 Olycksscenarioets betydelse för risknivån.**

Figur 26 visar att det i huvudsak är två scenarier som bestämmer individriskens värde i det studerade avståndsintervallet (upp till 40 m). Dessa är brännskador till följd av utsläpp av brandfarlig vätska samt förgiftning till följd av utsläpp av giftig vätska eller gas. Således är det osäkerheter förknippade med dessa olyckor som är av störst betydelse för fortsatt analys.

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

Det är tre variabler som har störst betydelse för konsekvensområdet för gasutsläpp som driver iväg 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.

### F.3 Slutsatser

De variabler som påverkar riskbedömningen mest är utsläppets källstyrka (hålstorlek), vindhastighet och atmosfärens stabilitet. De två sistnämnda variablerna har bestämts med hjälp av generell väderstatistik och bedöms vara robusta i sammanhanget. Källstyrkan bygger på antaganden med ett relativt begränsat kunskapsunderlag. I föreliggande riskanalys används dock källstyrkor som klart överstiger värden som går att finna i andra vägledningar och rekommendationer. Rekommendationerna i avsnitt 6.3 bedöms vara tillräckligt robusta inte nödvändiga att justera.

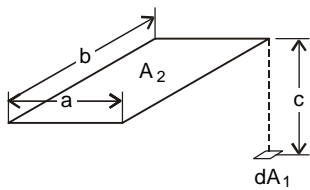
## G. Säkerhetshöjande åtgärder

### G.1 Skydd mot brandspridning

#### G.1.1 Dimensionering

En pölbrand uppkommer vid utsläpp och antändning av brandfarliga vätskor. Strålningsvärmen från dessa bränder är intensiv samtidigt som den avtar exponentiellt med avståndet. strålningsnivån ska understiga det värde på 14 kW/m<sup>2</sup> som ger upphov till 2:a gradens brännskador (se Tabell 15) resp. det värde på 15 kW/m<sup>2</sup> som ger brandspridning till byggnader<sup>62</sup>.

För att kunna bedöma på vilket avstånd som det finns risk för brandspridning görs beräkningar av värmestrålning för en dimensionerande pölbrand<sup>63</sup> på 200 m<sup>2</sup>, vilket ger en flamma som är 21 m hög och 16 m bred. Utgående strålning från branden är 43 kW/m<sup>2</sup> och för att brandspridning/brännskador inte ska ske måste synfaktorn understiga 0,33. Synfaktorn understiger detta värde på 14 m 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<sub>d1-2</sub>) inte ska överstiga 0,33.



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

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

Beräkningarna ovan visar att ett skyddsavstånd på 15 m är tillräckligt för att undvika brandspridning och brännskador. Men, då avståndet ska mätas från pölens närmsta kant mot byggnaden uppstår några osäkerheter. Det är nödvändigt att anta att pölen breder ut sig mot planområdet och dess diameter är i storleksordningen 20 m. Därför är det nödvändigt att skydda byggnader inom 35 m mot brandspridning.

### G.2 Högt placerade luftintag

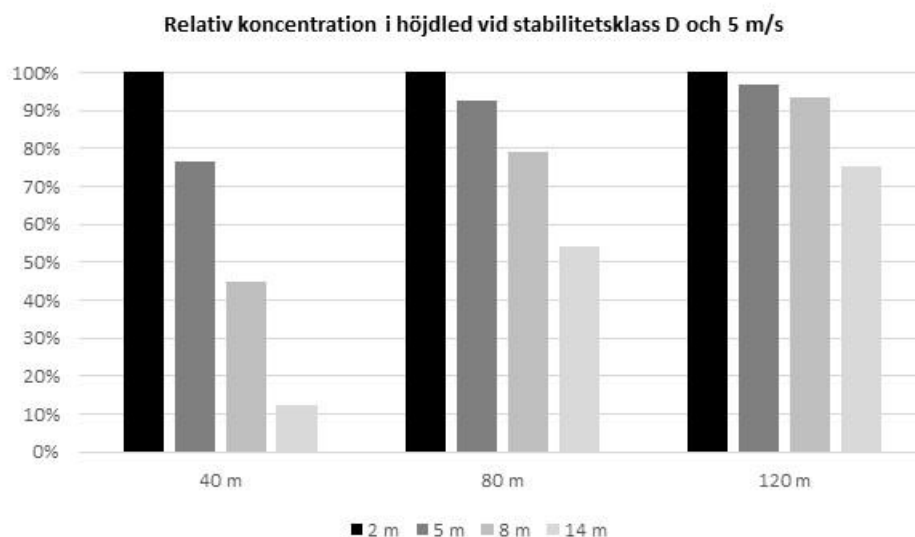
Många av de giftiga gaser som transporteras på väg och järnväg är s.k. tunga gaser, vilket betyder att de har högre densitet än den omgivande luften och sprider ut sig längs marknivån. Efterhand som att gasmolnet blandas upp med luft minskar densiteten och till slut är densitetsskillnaden mellan omgivande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

<sup>62</sup> Boverkets allmänna råd om analytisk dimensionering av brandskydd i byggnader.

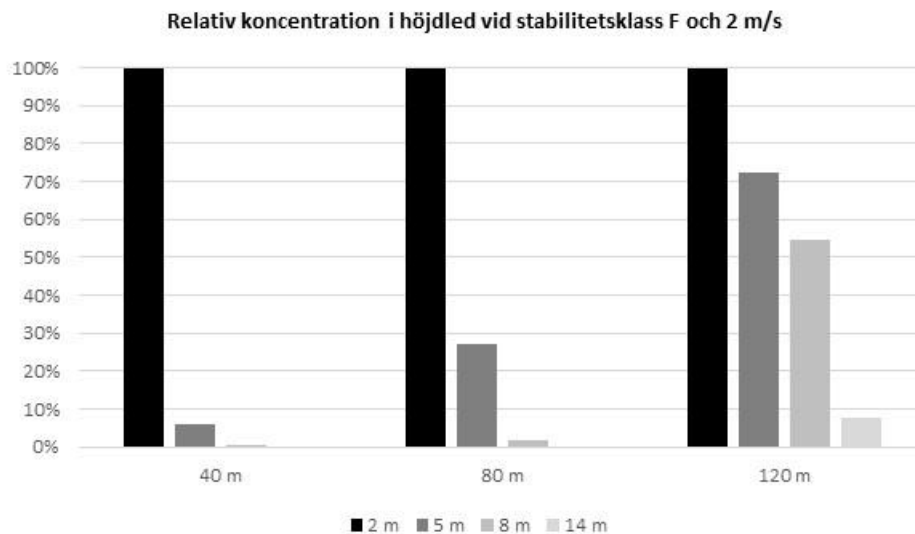
<sup>63</sup> Brandens yta på 200 m<sup>2</sup> motsvarar ytan som ett stort läckage av en hel tank, c:a 20 m<sup>3</sup>, resulterar i. Kolväten brinner med en förbränningshastighet på 0,1 kg/m<sup>2</sup>s, vilket ger en effektutveckling på c:a 370 MW för en pöl på 200 m<sup>2</sup>.

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 höjddled på tre avstånd (40, 80 samt 120 m från utsläppspunkten). Tre olika höjder studeras (2 m, 8 m och 14 m 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 27 och Figur 28 där koncentrationen 2 m 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 27** Relativ koncentration på olika höjder och olika avstånd från utsläppspunkten givet stabilitetsklass D och 5 m/s.



**Figur 28** 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 framförallt 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 c:a 8 m höjd ovan mark möjlighet till en påtaglig riskminskning.