

JUNI 2015

# KVANTITATIV RISKUTREDNING FÖR KVILLELEDEN

**COWI**



JUNI 2015

# KVANTITATIV RISKUTREDNING FÖR KVILLELEDEN

PROJEKTNR. A056538  
DOKUMENTNR A056538/Kvantitativ riskutredning för Kvilleleden  
VERSION 1.0  
UTGIVNINGSDATUM 2015-06-15  
UTARBETAD Christoffer Käck  
GRANSKAD Göran Davidsson  
GODKÄND Gert Swenson



# INNEHÅLL

1	Inledning	3
1.1	Bakgrund och syfte	3
1.2	Omfattning - Avgränsning	3
2	Beskrivning av risk och kriterier	5
2.1	Risk	5
2.2	Riskacceptans	6
2.3	Kriterier avseende farligt gods	6
3	Förutsättningar	12
3.1	Beskrivning av aktuell sträcka samt närområdet	12
4	Trafik och transporter med farligt gods	17
4.1	Bohusbanan	17
5	Faror vid olycka med farligt gods	20
6	Bedömning av risknivå	23
6.1	Individrisk för studerat område	23
6.2	Samhällsrisk för aktuellt område	25
6.3	Mekanisk konflikt	26
6.4	Diskussion kring resultat	27
6.5	Osäkerhets- och känslighetsdiskussion	28

7	Slutsats och skyddsåtgärder	30
8	Referenser	31
	Bilaga A - Beräkning av sannolikhet för olycka	33
	Bilaga A - Beräkning av sannolikhet för olycka	34
A.1	Olycka med massexplсивt ämne	37
A.2	Olycka med brandfarlig gas (propan)	37
A.3	Olycka med giftig gas	39
A.4	Olycka med brandfarlig vätska bensin	40
A.5	Olycka med oxiderande ämne	41
A.6	Resultat av beräkningar	42
	Bilaga B - Bedömning av konsekvenser	44
	Bilaga B - Bedömning av konsekvenser	45
B.1	Konsekvenser för massexplсивt ämne (klass 1.1)	48
B.2	Konsekvenser för utsläpp av brandfarlig gas vid olycka	52
B.3	Konsekvenser vid utsläpp av giftig gas	56
B.4	Konsekvenser vid olycka med brandfarlig vara (klass 3)	58
B.5	Konsekvenser vid utsläpp av oxiderande ämne	61
	Bilaga C – Känslighetsanalys	63
	Bilaga C - Känslighetsanalys	64
	Bilaga D – Beräkning mekanisk konflikt	69
	Bilaga D – Mekanisk konflikt	70

# 1 Inledning

## 1.1 Bakgrund och syfte

Bohusbanan är en 180 km lång, i huvudsak enkelspårig järnväg i Bohuslän med sträckningen Göteborg – Strömstad. Utmed Bohusbanans läge på Hisingen (norr om bro för Lundbyleden) återfinns ett antal fastigheter som redan idag håller ett kort avstånd till Bohusbanans befintliga läge. I och med att järnvägsanläggningen kommer att få ett nytt läge och detta närmare befintlig bebyggelse behöver en riskutredning genomföras. Riskutredningen skall utgöra underlag för upprättande av MKB. Utredningen behöver därför redovisa nuvarande risknivå samt framtida risknivå då befintligt skyddsavstånd till omgivande fastigheter/verksamheter minskar.

ÅF har givit COWI AB i uppdrag att utföra en fördjupad riskanalys med avseende på transporter av farligt gods på den aktuella sträckan. Syftet med riskanalysen är att undersöka olycksriskerna avseende farligt gods för omkringliggande områden för nollalternativet (enkelspår) och vid utbyggnad till dubbelspår. Riskutredningen baseras både på kvantifierade beräkningar av sannolikheter och konsekvenser av eventuella olyckor med farligt gods på det aktuella avsnittet av Bohusbanan samt kvalitativa resonemang kring risknivån och krav på riskreducerande åtgärder. Riskutredningen innefattar en värdering av risknivån för personer som vistas inomhus och utomhus i närområdet. Risken beskrivs både på individ- och samhällsnivå.

## 1.2 Omfattning - Avgränsning

Riskanalysen omfattar identifiering av skadehändelser samt beskrivning av mängder och typer av farligt gods som bedöms transporteras på det aktuella avsnittet av Bohusbanan. Baserat på detta genomförs sannolikhets- och konsekvensberäkning för olyckor med farligt gods. Riskanalysen utmynnar i en värdering av risknivån för de personer som kommer att vistas inomhus och utomhus i det närliggande området. Riskerna redovisas både som individ- och

samhällsrisk. De risker som behandlas i utredningen har sitt ursprung i eventuella olyckor som kan inträffa på studerad farligt godsled.

Brand i byggnader eller risker för miljön ingår inte i denna analys.  
Belastningskrafter, detaljutformning och hållfasthetsberäkningar av eventuella säkerhetshöjande åtgärder ingår inte i utredningen.



## 2 Beskrivning av risk och kriterier

I detta kapitel presenteras bakgrund och begrepp för risk och kriterier för tolerabel risk i samhällsplanering.

### 2.1 Risk

Riskenivå är ett abstrakt begrepp. Olika individer uppfattar risker på olika sätt och accepterar olika risker beroende på om risken till exempel är frivillig, känd eller gagnar ett intresse. En risk kan beskrivas som produkten av sannolikhet (händelsefrekvens) och konsekvens.

$$\text{RISK} = \text{SANNOLIKHET} \cdot \text{KONSEKVENNS}$$

I denna analys behandlas sannolikheter som är så låga att de allra flesta människor inte förmår ta dem till sig. Konsekvenserna är emellertid synnerligen påtagliga. Effekten av en propan-BLEVE eller ett utsläpp av giftig gas *kan* resultera i ett stort antal omkomna eller skadade människor. Händelsefrekvensen för propanolyckor i allmänhet är så låg att den över huvud taget inte skulle beaktas om konsekvensen inte hade varit så stor.

Samhället accepterar hantering av farliga ämnen. Användning av olika kemiska varor innebär också transporter av dessa mellan olika platser. Idag är de flesta konsekvenser som orsakas av utsläpp av farliga ämnen kända. Därför har hanteringen belagts med restriktioner och krav på utrustning, bland annat tankkonstruktion, tankmaterial och tankkontroll.

Transportolyckor med utsläpp av farliga ämnen som följd har låg sannolikhet. Detta tack vare de restriktioner som råder. Den låga sannolikheten är en viktig parameter som i en bedömning av riskenivån skall värderas tillsammans med konsekvenserna på ett balanserat sätt.

## 2.2 Riskacceptans

I riskanalyser kan risknivån presenteras som individrisk och/eller samhällsrisk. Individrisken är lättare att definiera och värdera än samhällsrisk. Individrisken är oberoende av antalet personer som befinner sig på ett område medan samhällsrisk påverkas av mängden personer som befinner sig på ett utsatt område.

**Individrisk** är risken för en enskild individ som befinner sig i närheten av en riskkälla.

**Samhällsrisk** är risken för en grupp människor som befinner sig i ett riskområde.

Samhällsrisk är direkt beroende av hur många individer som befinner sig i ett riskområde medan individrisken är helt oberoende av antalet personer på riskområdet.

Samhället har lättare att acceptera flera olyckor med begränsande konsekvenser än ett fåtal med mycket allvarliga eller katastrofala konsekvenser. Detta innebär att riskacceptansen eller toleransen blir lägre ju fler människor som förväntas kunna komma till skada. I dagens samhälle har många risker accepterats utan att från början blivit värderade.

Avseende individrisk bör följande etiska princip eftersträvas:

- › Den risk som vi utsätts för av naturliga händelser bör inte ökas nämnvärt genom aktiviteter som vi inte råder över.

Avseende samhällsrisk bör följande etiska princip eftersträvas:

- › En aktivitet kan godkännas om en välgrundad riskanalys visar att risknivån är acceptabel eller tolerabel.
- › En aktivitet kan godkännas om samhällsnyttan av den bedöms vara större än risken.

För denna analys kommer både individrisk och samhällsrisk användas för att analysera risknivån i området.

## 2.3 Kriterier avseende farligt gods

Det finns inget nationellt framtaget kriterium för riskvärdering och riskpolicy i Sverige men vissa publicerade dokument och kriterier används generellt i samband med riskanalyser. I detta kapitel refereras till några av dessa. I denna analys kommer beräknad individ- och samhällsrisk jämföras med DNV:s kriterier.

### 2.3.1 DNV:s kriterier

I *Värdering av risk* (SRV, 1997) har Det Norske Veritas (DNV) gett förslag till individ- och samhällsriskkriterier.

### Individriskkriterier

Individrisk är risken för en person som befinner sig i närheten av en riskkälla att omkomma och definieras här som "summan av frekvensen · andel omkomna för respektive skadehändelse".

DNV's förslag till individriskkriterier (SRV, 1997):

- › Övre gräns där risker under vissa förutsättningar kan tolereras;  $10^{-5}$  per år
- › Övre gräns där risker kan anses små;  $10^{-7}$  per år

I denna analys ges två individrisknivåer för området. En *individrisk utomhus* som baseras på oskyddade personer och en plan topografi. Dessutom ges en *individrisk inomhus* som representerar individrisken för personer som befinner sig inomhus.

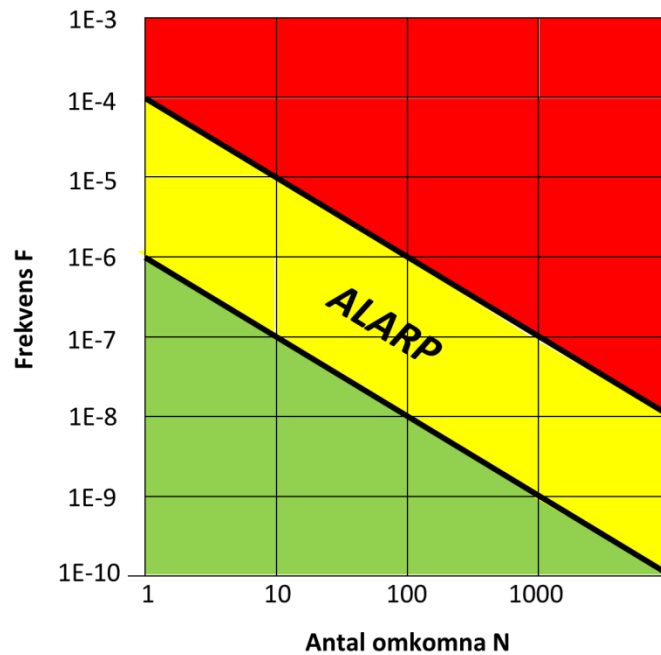
### Samhällsriskkriterier

Samhällsrisk är den risk som en eller flera människor (vilka som helst) utsätts för. Samhällsrisk presenteras i FN-diagram där (F) är den summerade olycksfrekvensen för alla händelser som leder till ett visst antal omkomna (N), se figur 1. Generellt är det färre händelser (olyckor) som leder till att många omkommer vilket gör att olycksfrekvensen oftast minskar med ökat antal omkomna.

I Sverige finns det idag inga nationellt beslutade gränsvärden för hur hög samhällsrisk som kan accepteras. Varje situation måste diskuteras och värderas utifrån sina förutsättningar såsom risknivå kontra samhällsnytta och möjligheten att minska risknivån genom skyddsåtgärder. DNV har givit förslag på gränsvärden för acceptabel risknivå med avseende på samhällsrisk. I DNV:s kriterier finns två gränsvärden:

- › En gräns för tolerabel risk. Risknivåer över denna nivå tolereras inte (presenteras som rött område i figur 1).
- › En gräns för område där risker kan anses som små. Vid risknivåer under denna nivå behöver ytterligare säkerhetshöjande åtgärder inte värderas (presenteras som grönt område i figur 1).

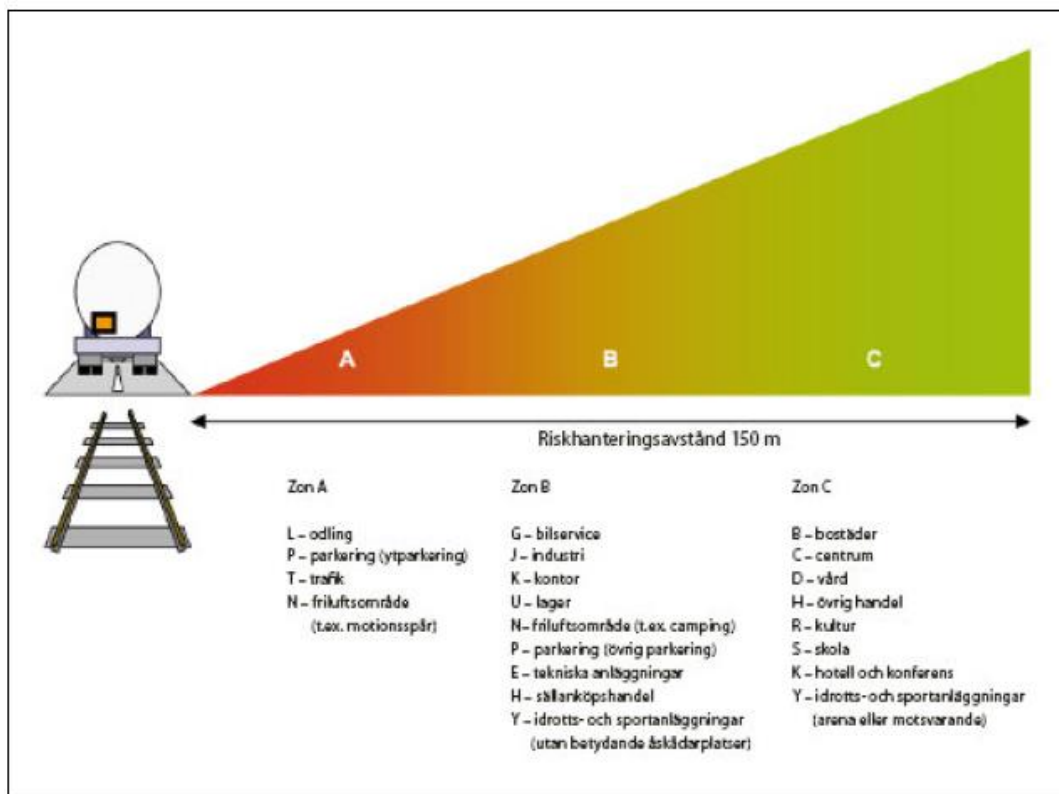
För risknivåer som ligger däremellan ska rimliga säkerhetshöjande åtgärder värderas ur kostnads-nytta synpunkt. Detta område kallas ALARP-området och representeras av gult område i figur 1.



**Figur 1.** Kriterium för samhällsrisk Värdering av risk (SRV,1997). Förklaring till värden på y-axel:  $1E-3 = 0,001 = 1*10^{-3}$ . Kriteriet gäller 2 sidor om transportleden på en sträcka om 1000 m.

### 2.3.2 Riskpolicy från Länsstyrelserna i Skåne, Stockholm och Västra Götalands län

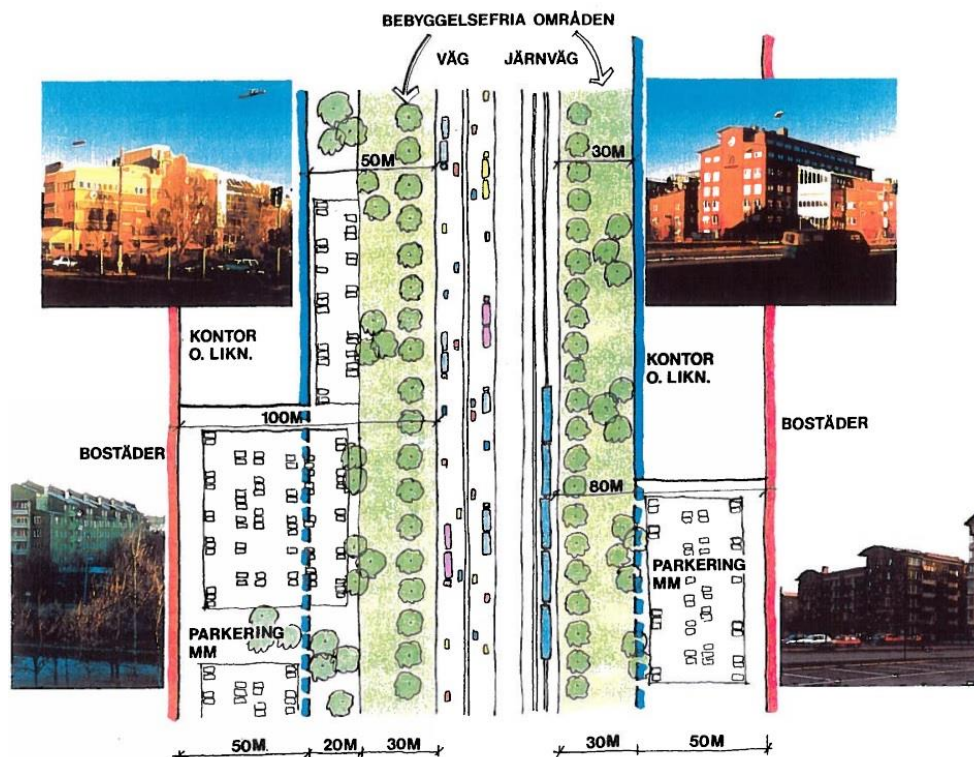
Länsstyrelserna i Skåne, Stockholm och Västra Götalands län har gemensamt tagit fram en riskpolicy för markanvändning intill transportleder för farligt gods (2006). Enligt dessa skall riskhanteringsprocessen beaktas vid all nybyggnation inom 150 meters avstånd ifrån farligt godsled. I Länsstyrelsens policy finns inga exakta avstånd för tillåten markanvändning utan zonerna är glidande och beroende på platsspecifika egenskaper och förhållanden, se figur 2. Området i zon A, som är zonen närmast leden, föreslås exempelvis användas till ytparkeringar, väg och odling. Zon B i den glidande skalan kan exempelvis användas för kontor, lager, parkeringshus och sällanköpshandel och markanvändning i zon C föreslås vara bostäder, annan handel, hotell och konferens.



**Figur 2.** Zonindelning där zonerna representerar föreslagen markanvändning utmed transportled för farligt gods. Länsstyrelserna i Skåne, Stockholm och Västra Götalands län.

### 2.3.3 Göteborgs översiktsplan

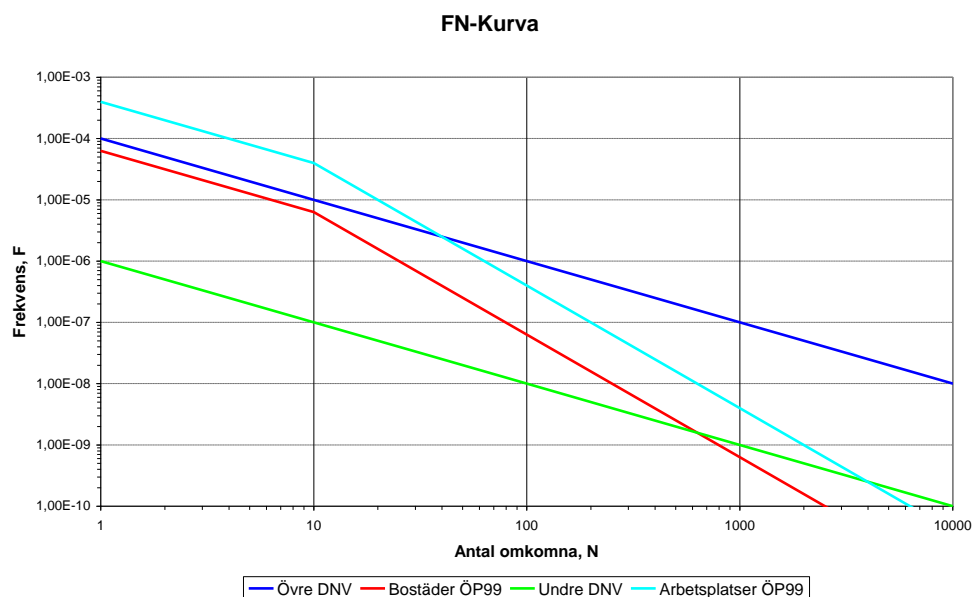
Enligt Göteborgs översiktsplan skall ett bebyggelsefritt område upprättas 30 meter på ömse sidor av leder med farligt gods. Det bebyggelsefria området kan exempelvis användas för ytparkering. Enligt samma översiktsplan kan kontor och liknande verksamheter placeras på avstånd längre än 30 meter ifrån järnväg med farligt gods. Enligt översiktsplanen skall bostäder placeras 80 meter ifrån järnväg med farligt gods. Avstånd till olika sorters etableringar, exempelvis bostäder och arbetsplatser, i enlighet med Göteborgs översiktsplan redovisas i figur 3. Notera att dessa avstånd anger avstånd mätt från banvall.



**Figur 3.** Avstånd till olika sorters etableringar, exempelvis bostäder och arbetsplatser, i enlighet med Göteborgs översiktsplan. (GÖP, 1999)

I Göteborgs översiktsplan fördjupad för farligt gods finns även förslag på kriterier för samhällsrisk för bostäder och arbetsplatser. I figur 4 presenteras ett FN-diagram med DNV:s kriterier samt kriterier för arbetsplatser och bostäder som tillämpas i Göteborg och kommer ifrån Göteborgs översiktsplan fördjupad för farligt gods.

DNV's förslag (grön och blå linje i figur 4) visar två nivåer, mellan dessa nivåer anses att skyddsåtgärder bör värderas. Kriterier enligt Göteborgs översiktsplan presenteras som röd linje (kriteriet för bostäder) och turkos linje (kriteriet för arbetsplatser). DNV:s kriterier gäller ett område på 1 km (båda sidor av leden) medan Göteborgs kriterier baseras på ett typområde på 2 km (båda sidor av leden).



**Figur 4.** FN-kurva med föreslagna riskkriterier enligt Göteborgs översiktsplan och DNV. DNV's förslag (grön och blå linje) visar två nivåer, mellan dessa nivåer anses att skyddsåtgärder bör diskuteras. Från Göteborg översiktsplan fördjupad för farligt gods kommer de andra två kriterierna som beskriver kriterier för arbetsplatser och bostäder (röd och turkos linje). I figuren har kriterierna anpassats till en sträcka på 2000 meter.

## 3 Förutsättningar

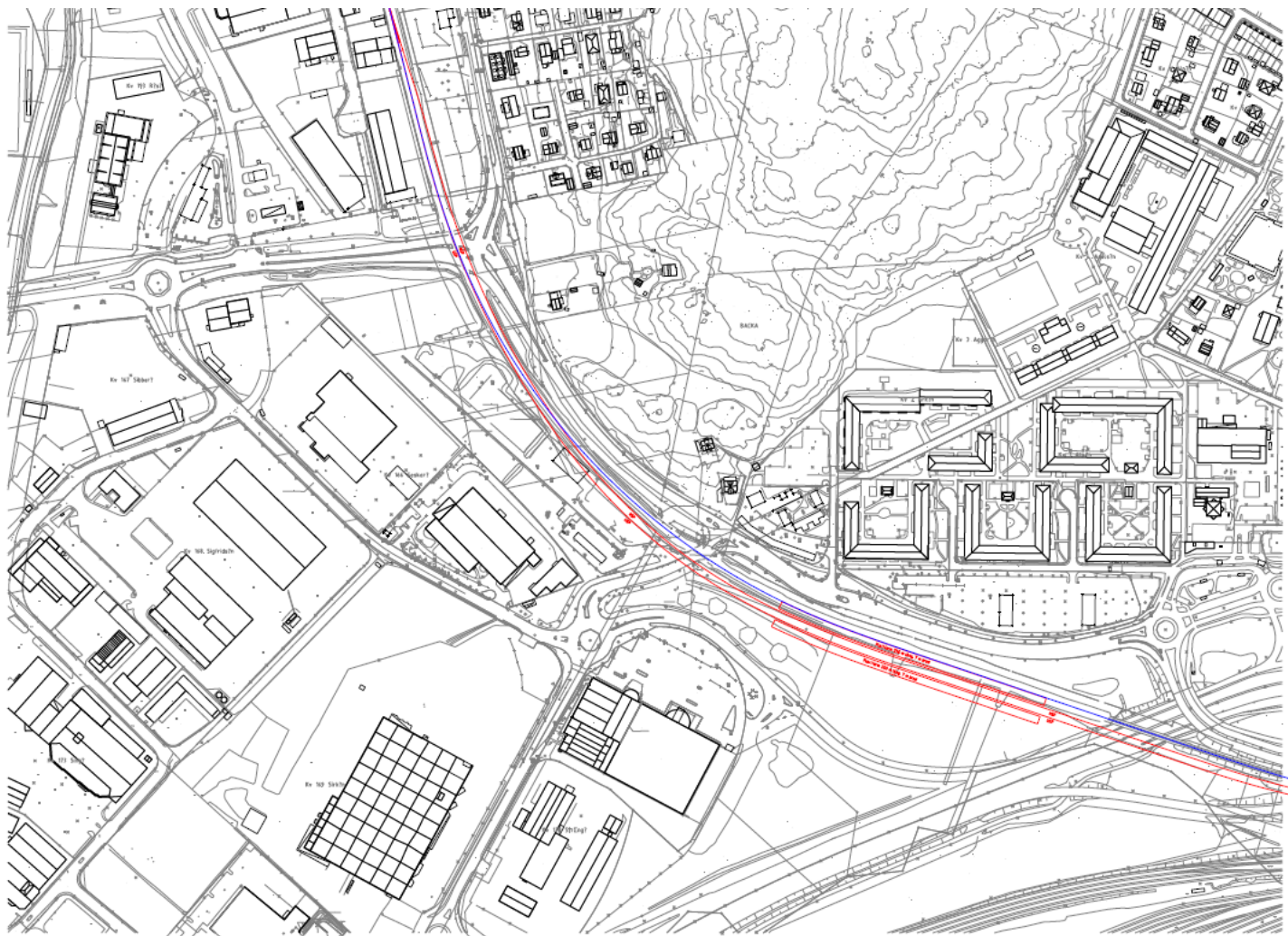
I detta kapitel beskrivs de grundläggande förutsättningarna för studien såsom, områdesbeskrivning och spårförhållanden.

Det finns två olika huvudalternativ avseende dubbelspåret omfattning. Det ena alternativet är att växeln placeras söder om Minelundsvägen vilket innebär en enkelspårsbro över Minelundsvägen. Detta alternativ innebär att avståndet till fastigheterna på den södra delen av Aröds industriväg inte förändras. Det andra alternativet är att växeln placeras norr om Minelundsvägen vilket innebär att avståndet till fastigheterna på den södra delen av Aröds industriväg kommer att minska. I riskanalysen så kommer det senare alternativet att ligga till grund för beräkningarna då detta bedöms vara konservativt med avseende på risknivån.

### 3.1 Beskrivning av aktuell sträcka samt närområdet

Den sträcka där dubbelspår planeras löper från början på Kville Bangård till strax norr om Minelundsvägen. Det nya dubbelspåret är placerat söder om befintligt spår, se figur 5, och avståndet mellan befintligt spår och dubbelspåret kommer att vara som mest 10-15 meter.

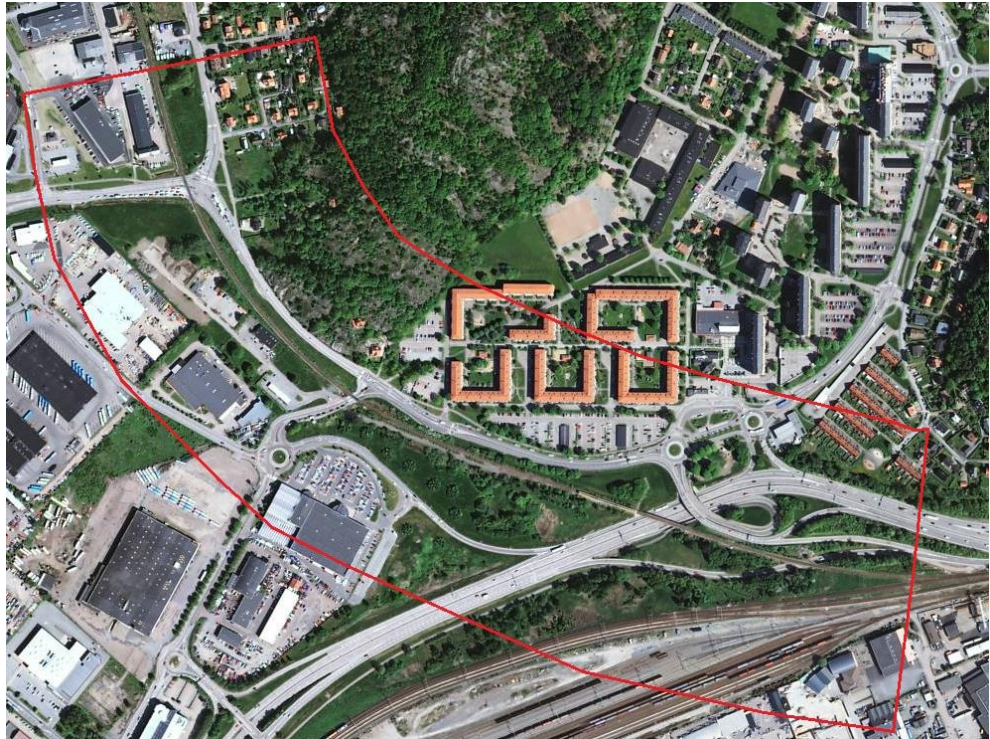




**Figur 5.** Det nya dubbelspåret är placerat söder om befintligt spår.

I figur 6 har ett område på 200 meter markerats på vardera sida om järnvägen för nollalternativet och i Figur 7 för dubbelspår.





**Figur 6.** Ett område av 200 meter har markerats på vardera sida om järnvägen för nollalternativet (enkelspår). Riskanalysen begränsas till de verksamheter och bostäder som hamnar inom detta område.



**Figur 7.** Ett område av 200 meter har markerats på vardera sida om järnvägen för dubbelspår.

Området förskjuts något mot sydväst för dubbelspår jämfört med nollalternativet. Riskanalysen begränsas till att inkludera verksamheter och bostäder som ligger inom detta område.

Bebyggelsen söder/väster om järnvägen består av kontor, handel, lager och verkstadslokaler. Bland annat ligger Blomsterlandet, Biltema, Cramo och Volkswagen inom 200 meter från järnvägen. Vid området norra ända ligger en kontorsbyggnad delvis inom 20 meter från järnvägen. Vid en utbyggnad till dubbelspår kan avståndet till denna byggnad minska från ca 20 meter till 10-15 meter.

Stora delar av området söder om järnvägen består av trafikleder, trafikplatser, bangård och grönområden.

Norr/öster om järnvägen består bebyggelsen av bostäder. I området närmast Tingstadstunneln ligger ett område med villor och radhus. Norr/väster om detta område ligger ett större bostadsområde bestående av trevånings lägenhetshus. På en av parkeringarna intill detta område finns ett 70-tal studentlägenheter vilka är uppförda med ett tillfälligt bygglov. Vid spårets norra ända ligger ett villaområde.

### 3.1.1 Sammanställning av personintensitet

Antalet personer som vistas inom 200 meter från spåret har beräknats baserat på de verksamheter och bostadsområden som faller inom det markerade området i Figur 6 och 7. Samtliga schabloner avseende personantal/m<sup>2</sup> för de olika verksamhetstyperna har använts i ett betydande antal av COWI tidigare utförda riskanalyser avseende farligt gods och har visat sig ge en god uppskattning av personintensiteten.

För industrier, lager och handel med en bedömt låg personintensitet, exempelvis Cramo, Volkswagen och industrilokalerna på Ringön har en personintensitet om 0.01 personer/m<sup>2</sup> antagits. Andelen personer som vistas utomhus på dessa verksamheter har antagits till 10%. Slutligen har det antagits att personer vistas vid dessa verksamheter mellan klockan 08-18.

För mer personintensiva verksamheter som exempelvis Blomsterlandet och Biltema har en personintensitet på 0.033 personer/m<sup>2</sup> antagits. Varje person har antagits spendera 5 minuter på parkeringsplatsen. Även för dessa verksamheter har det antagits att personer vistas mellan klockan 08-18.

Den byggnad som ligger inom 30 meter från spåret på Aröd industriväg har konservativt antagits bestå av endast kontor. För kontor har en personintensitet på 0.04 personer/m<sup>2</sup> antagits. Även för denna verksamhet har det antagits att personer vistas mellan klockan 08-18.

För radhus-/villaområdena och bostadsområdet norr/öster om spåret har i snitt 3 personer antagits bo i varje radhus/lägenhet. För studentlägenheterna har det antagits att i snitt 1.5 personer bor per lägenhet. Vidare har det antagits att 20% av

de boende är hemma under dagtid och att 10% av de boende vistas utomhus (både natt och dag).

I tabell 1 och tabell 2 redovisas uppskattat antal personer inomhus och utomhus på olika avstånd ifrån järnvägen för nollalternativet och vid utbyggnad till dubbelspår. Dessa värden bedöms vara konservativa och ligger till grund för beräkningarna avseende risknivån.

**Tabell 1.** Personantal som används vid beräkningar avseende nollalternativet (enkelspår)

Avstånd vägen (meter)	Population Låg		Population Hög	
	Tid	08-18	Tid	18-08
	Ute	Inne	Ute	Inne
0-25	0	11	0	0
25-50	4	122	11	108
50-100	30	88	17	171
100-150	23	236	35	354
150-200	13	375	61	606

**Tabell 2.** Personantal som används vid beräkningar avseende framtida situation (dubbelspår)

Avstånd vägen (meter)	Population Låg		Population Hög	
	Tid	08-18	Tid	18-08
	Ute	Inne	Ute	Inne
0-25	0	90	0	0
25-50	3	41	8	81
50-100	29	95	15	153
100-150	20	253	27	272
150-200	12	319	56	556



## 4 Trafik och transporter med farligt gods

Farligt gods är ett samlingsbegrepp för ämnen och produkter, som har sådana egenskaper att de kan skada människor, miljö, egendom och annat gods. Farligt gods delas in i olika RID-klasser<sup>1</sup> beroende på vilken typ av fara som ämnet kan ge upphov till. Klassificeringen är en internationell överenskommelse avseende regler för transporter av farligt gods i Europa.

Av alla transportklasser som redovisas i följande kapitel är det följande ämnen som ger störst konsekvenser varför dessa har valts som dimensionerande i riskanalysen:

- › Klass 1.1 Massexplösiva ämnen, exempelvis dynamit
- › Klass 2.1 Brandfarliga gaser, exempelvis propan, acetylen
- › Klass 2.3 Giftiga gaser, exempelvis svaveldioxid
- › Klass 3 Brandfarlig vätska (klass 1), exempelvis bensin
- › Klass 5.1 Oxiderande ämnen, exempelvis väteperoxid

### 4.1 Bohusbanan

Bohusbanan går mellan Göteborg och Strömstad. Sträckan Göteborg/Kville – Uddevalla är knappt 9 mil lång och enkelspårig med mötesspår på driftplatserna. Bohusbanan är elektrifierad i hela sin längd och är idag fjärrstyrd.

#### 4.1.1 Farligt gods på Bohusbanan

Bohusbanan trafikeras främst av persontåg men betydande transporter av farligt gods förekommer också främst på grund av transportererna mellan Göteborg och Stenungsundsfabrikerna. Det finns inga restriktioner gällande vilka ämnesklasser av farligt gods som får transporteras på Bohusbanan. Vidare finns det inga restriktioner gällande när på dygnet som transporter av farligt god får ske. Enligt Säkerhetsstudie för Stenungsund (2007) sker transporter under dagtid.

---

<sup>1</sup> RID=Regulations Concerning the International Carriage of Dangerous goods by rail

I säkerhetsstudie för Stenungsund har följande dimensionerande transporter och händelser sammanställs:

- › Gasol ca 3300 vagnar/år
- › Vinylklorid ca 5 vagnar/år
- › Etenoxid/Propenoxid ca 210 vagnar/år
- › Saltsyra ca 90 vagnar/år

Vid en tidigare riskutredning (COWI, 2011) har frågan kring framtida transporter av klor samt LNG transporter diskuterats. Frågan gällande transporter av LNG besvarades då med att den nya LNG terminalen i Göteborg inte har planer på att använda Bohusbanan för transporter. Enligt ansökan sker deras transporter på fartyg och lastbil. Preem och Nordic LNG planerar för en ny terminal i Lysekil. Enligt ansökan skall deras transporter ske på vägnätet. Enligt Nordic LNG (2011) vore det positivt om transporter av LNG skulle kunna ske på järnvägen men i dagsläget finns inga möjligheter för det.

Tidigare Statens Räddningsverk (SRV) har kartlagt transporter av farligt gods på järnvägar i Sverige. Den senaste kartläggningen genomfördes år 2006 vilket omfattade transporter under september månad år 2006. I kartläggningen presenteras mängden farligt gods som ett spann för varje studerad järnvägssträcka. Även SRV's kartläggning visar att transporter främst sker mellan Göteborg och Stenungsund.

I tabell 3 sammanställs material från inventeringen. Värden från SRV har räknats om till transporter per år. Uppgifter om mängder per vagnslast kommer från Stenungsundsfabrikerna. Vinylklorid samt Etenoxid och Propenoxid behandlas som giftiga gaser. Värden från SRV stämmer relativt väl överens med Stenungsundsstudien.

Det går enligt kontakter på berörda företag i Stenungsund inte utesluta att klortransporter till Stenungsund i framtiden kommer att återupptas på Bohusbanan. Antalet eventuella klorvagnar uppskattas av berörda företag till ca 250 per år.

Mängder och ämnen som transporteras på järnvägen styrs efter vad kunder efterfrågar och är därmed inte konstanta. Enligt Green Cargo (2011) (som är en av de största aktörerna beträffande transporter av farligt gods) har dock inga nämnvärda förändringar skett sedan 2006 då mängden transporterat gods minskade under lågkonjunkturen (2009-2010) och inte riktigt har kommit upp på de nivåer som rådde innan nedgången. Enligt MSB (tidigare Räddningsverket) finns det ingen enskild prognos för transport för farligt gods.

För beräkningar används mängder som sammanställts i "Säkerhetsstudie för Stenungsund", vilka räknats upp med 20 % för att gälla år 2030, samt antagandet att 250 klortransporter kommer att trafikera järnvägen i framtiden. Värden som redovisas i tabell 3 kommer att ligga till grund för kommande sannolikhets- och konsekvensberäkningar.

**Tabell 3.** Sammanställning av inventerat material om transporter av farligt gods per RID-klass på Bohusbanan. Värden är uppskattade utifrån uppgifter som erhållits från MSB (SRV's kartläggning), Inventering i samband med säkerhetsstudien för Stenungsund fabrikerna, Trafikverket och Green Cargo. Värden i kolumn till höger är uppräknade för att gälla år 2030 och har kompletterats med 250, i framtiden eventuellt tillkommande, transporter av klor. Dessa värden används för beräkningar.

<b>RID-klass</b>	<b>SRV min-max</b>	<b>Stenungsund</b>	<b>Uppskattat antal vagnar/år 2030</b>
<i>2.1 Brandfarliga gaser</i>	3744-4992	3300	3927
<i>2.3 Giftiga gaser</i>	168-336	215	512
<i>5. Oxiderande ämnen</i>	0-552	-	0
<i>8. Frätande ämnen</i>	1430-2147	90	98

Dimensionerande händelser som ingår i de kvantitativa beräkningarna är klasserna 2.1, 2.3 och 5.

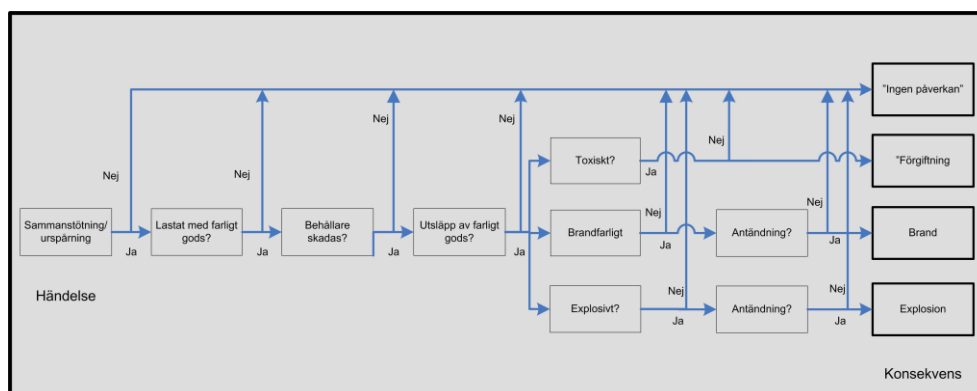
## 5 Faror vid olycka med farligt gods

För att en farligt godsolycka skall ske krävs att ett fordon lastat med farligt gods är inblandat i en olycka, t.ex. en kollision eller urspårning. Vidare måste behållare på fordonet skadas så att läckage av ett farligt ämne sker.

Ett utsläppt giftigt ämne sprids som vätska eller gas. Halten av det farliga ämnet avtar med avståndet till ämnet. För att en människa skall komma till skada måste dessa befinna sig inom det område där ämnet uppvisar en skadlig halt.

För brand- och explosionsfarliga ämnen måste dessutom en antändningskälla finnas som kan starta en brand eller ett explosionsförlopp. Även här gäller att människor måste finnas inom riskområdet för att komma till skada.

Riskområdets storlek beror på typ av ämnen och händelse som är dimensionerande. Detta beskrivs schematiskt i figur 8.



Figur 8. Schematiskt händelseförlopp vid farligt godsolycka.

I tabell 4 redovisas en sammanställning av huvudsakliga faror med olika kemikalier i de olika RID/ADR-klasserna. Tabellen anger även de riskavstånd som kan vara aktuella för en grov bedömning av allvarlig skadepåverkan på oskyddade människor (FOA, 1995).



**Tabell 4. Generella faror med olika transportklasser av farligt gods.**

Transportklass	Dominerande fara				Riskavstånd
	Explosion	Brand	Förgiftning	Övrig risk	Meter
1. Explosiva ämnen	√				100 - 1 000
		√			< 100
2. Gaser			√		> 1 000
	√				100 - 1 000
3. Brandfarliga vätskor		√			< 100
4. Brandfarliga fasta ämnen		√		√	< 100
5. Oxiderande ämnen		√			<100
	√				100 - 1 000
6. Giftiga ämnen			√		< 100
7. Radioaktiva ämnen				√	< 100
8. Frätande ämnen			√	√	< 100
9. Övriga farliga ämnen				√	< 100

De typer av gods som förväntas transporteras förbi området och som kan ge allvarliga konsekvenser avseende människoliv är RID/ADR-klass:

- > 1 – Masseexplosiva ämnen (explosion)
- > 2.1 – Brännbara gaser (jetbrand, gasmolnsbrand, gasmolnsexplosion och BLEVE)
- > 2.3 – Giftiga gaser (toxiska effekter)
- > 3 – Brännbara vätskor (brand/värmestrålning)
- > 5.1 – Oxiderande ämnen (explosion/brand)

För att beräkna sannolikheten för identifierade händelser används faktorer som exempelvis antalet transporter av farligt gods för varje specifik ämnesklass, platsspecifika egenskaper så som vindhastighet, sannolikhet för antändning, olycksfrekvens etc. Beräkningar av sannolikheten redovisas i Bilaga A.

Bedömning av konsekvenser i denna analys baseras på andelen omkomna personer vid en olyckshändelse med transport av farligt gods. Konsekvensbedömningen baseras på Göteborgs kommuns översiktsplan (1999), VTI rapport 387:4 (1994), konsekvensberäkningar i Effekt plus och PHAST (DNV, 2010) samt simuleringar i programmet Bfk (Beräkningsmodeller för kemikalieexponering) (RIB, 2012). En mer utförlig beskrivning av de olika konsekvenserna redovisas i Bilaga B.

## 6 Bedömning av risknivå

I detta kapitel presenteras beräknad risknivå. För beräknad risk redovisas först individrisken, därefter presenteras samhällsrisken och slutligen frekvensen för mekanisk konflikt.

### 6.1 Individrisk för studerat område

I tabell 5 redovisas den samlade individrisken med avseende transporter av farligt gods på Bohusbanan, baserat på identifierade olyckshändelser.

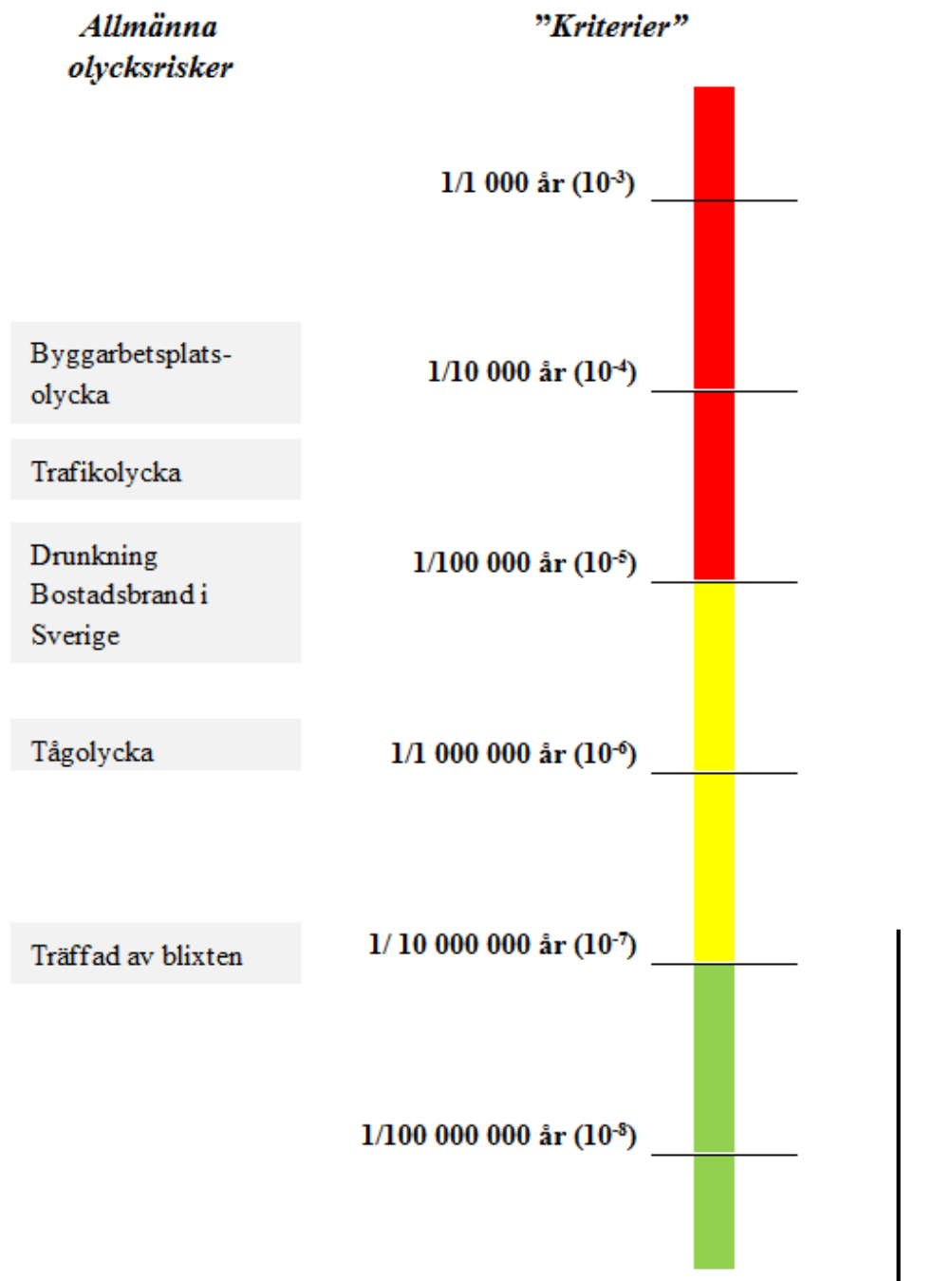
Gula siffror i tabellen indikerar, enligt de individriskkriterier som DNV föreslagit, att risknivån ligger inom det område där skyddsåtgärder skall bedömas ur kostnad nytta synpunkt. Gröna siffror indikerar en risknivå som ligger under den nivå som anses som låg och där behov av ytterligare skyddsåtgärder ej anses föreligga.

Individrisken är beroende av antal och typ av farligt godstransporter på järnvägen. Då framtidsscenarioet avseende antalet farligt gods transporter på järnvägen bedömts vara samma både för nollalternativ och utbyggnad till dubbelspår är individrisken identisk för de båda scenarierna.

**Tabell 5.** Samlad individrisk längs med studerad sträcka med avseende på farligt gods.

Avstånd (m)	Individrisk för personer på olika avstånd från studerad sträcka	
	Ute	Inne
0-25	2,4E-07	2,4E-07
25-50	1,6E-07	1,2E-07
50-100	9,8E-08	5,4E-08
100-150	2,0E-08	0,0E+00
150-200	6,1E-09	0,0E+00

I figur 9 jämförs individrisken, inomhus respektive utomhus, för olika avstånd från olycksplatsen med andra risker som finns i samhället.

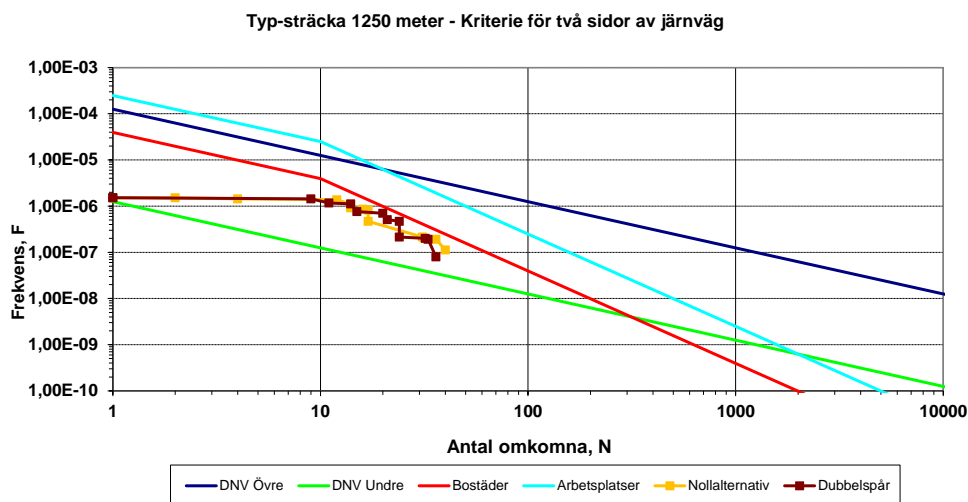


**Figur 9.** Individrisknivå för några andra risker samt DNV:s individriskkriterier. Svart linje=Individrisk utomhus, röd linje=Individrisk inomhus. Rött område indikerar en nivå som ej anses acceptabel och skyddsåtgärder krävs/skall införas. Gult område indikerar en risknivå där skyddsåtgärder skall bedömas ur kostnad nytta synpunkt. Grönt område indikerar en risknivå som anses som låg och skyddsåtgärder anses ej nödvändiga.

## 6.2 Samhällsrisk för aktuellt område

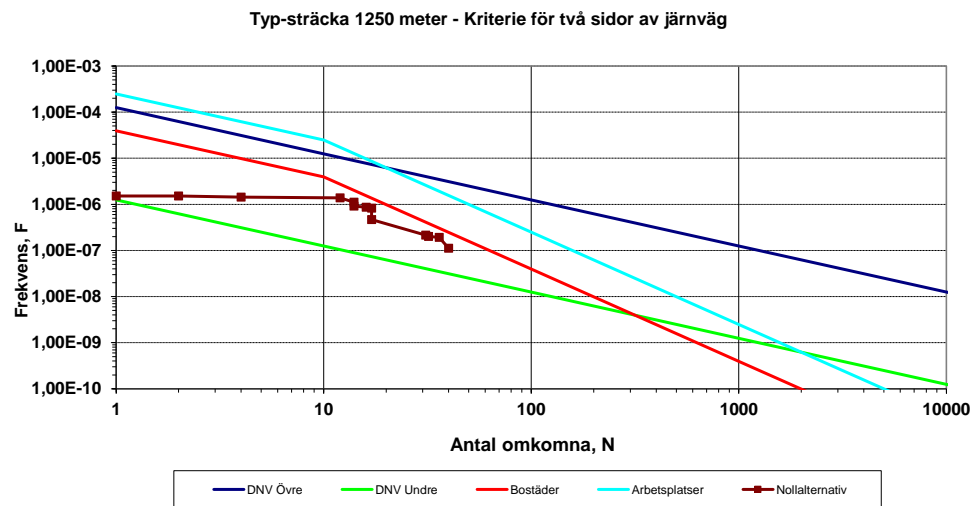
I detta kapitel presenteras FN-kurvor (samhällsrisk) för planerad verksamhet inom de studerade områdena, med respektive utan hänsyn till införda skyddsåtgärder, tillsammans med DNV:s kriterier. Ursprungligen gäller DNV:s kriterier ett område på 1 km (båda sidor av vägen/järnvägen) och GÖP:s kriterier 2 km (båda sidor av vägen/järnvägen). Vid beräkning har dessa kriterier justerats så att de gäller ett område på 1250 meter vilket motsvarar dimensionerande sträcka för beräkningar för de studerade områdena. Det vill säga acceptanskriteriet för DNV har multiplicerats med 1,25 (1250 meter) och acceptanskriteriet för GÖP med 0,625 (1250 meter). Beräkningarna av samhällsrisk redovisas i bilaga A.

Samhällsrisk presenteras som den totala risken med avseende på Bohusbanan. I figur 10 presenteras FN-kurvan (den samlade samhällsrisk) för nollalternativ och med utbyggt dubbelspår, med avseende på Bohusbanan, tillsammans med DNV:s och GÖP:s kriterier.

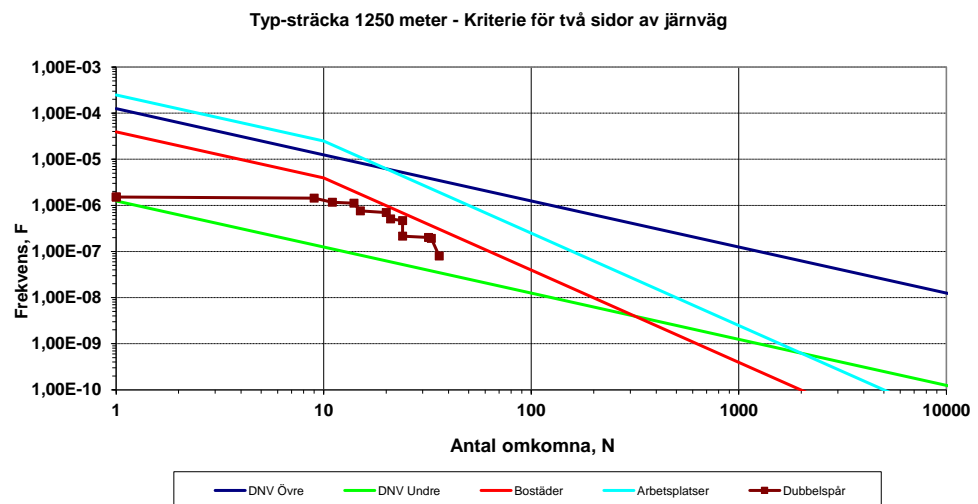


**Figur 10.** Den samlade samhällsrisk för det studerade området (punktad linje) m.a.p. farligt godstransporter på Bohusbanan i förhållande till föreslagna riskkriterier enligt DNV (grön och mörkblå linje). Kriterier är justerade för att gälla 1250 meter.

I figur 11 och 12 presenteras samhällsrisk för nollalternativet och dubbelspår var för sig.



**Figur 11.** Den samlade samhällsrisk för det studerade området (punktad linje) m.a.p. farligt godstransporter på Bohusbanan för nollalternativet i förhållande till föreslagna riskkriterier enligt DNV (grön och mörkblå linje). Kriterier är justerade för att gälla 1250 meter.



**Figur 12.** Den samlade samhällsrisk för det studerade området (punktad linje) m.a.p. farligt godstransporter på Bohusbanan för dubbelspår i förhållande till föreslagna riskkriterier enligt DNV (grön och mörkblå linje). Kriterier är justerade för att gälla 1250 meter.

### 6.3 Mekanisk konflikt

Frekvensen för mekanisk konflikt har beräknats enligt Bilaga D. Frekvensen vid olika avstånd från Bohusbanan presenteras i Tabell 6.

**Tabell 6.** *Frekvensen för mekanisk konflikt vid olika avstånd från Bohusbanan*

Avstånd (m)	Frekvens mekanisk konflikt (per år)
0	3,74E-04
1	2,76E-04
2	1,97E-04
3	1,34E-04
4	8,64E-05
5	5,17E-05
6	2,78E-05
7	1,27E-05
8	4,37E-06
9	8,26E-07
10	1,41E-08
11	0
12	0
13	0
14	0
15	0
16	0
17	0
18	0
19	0

Konsekvensen av mekanisk konflikt mellan urspårad vagn och byggnad är svår att kvantifiera men bedöms i värsta fall kunna leda till mycket allvarliga skador, både på byggnad och på människor. Då sannolikheten för konflikt enligt Tabell 6 är låg för de avstånd som föreligger på aktuell sträcka bedöms inte sannolikheten vidare.

## 6.4 Diskussion kring resultat

### 6.4.1 Individrisk

Individrisken minskar med ökat avstånd ifrån järnvägen. På ett avstånd av 0-50 meter från Bohusbanan ligger individrisken inomhus och utomhus på en risknivå där skyddsåtgärder skall vidtagas ifall det är kostnadsmässigt rimligt. På större avstånd än 50 meter ligger individrisken inomhus och utomhus på en risknivå som anses som låg och skyddsåtgärder anses ej nödvändiga. Det bör noteras att endast ett fåtal byggnader i närheten av Minelundsvägen ligger inom 50 meter från Bohusbanan (studentbostäder och byggnad på Aröds Industriväg).

### 6.4.2 Samhällsrisk

En förskjutning av järnvägen västerut när den byggs om till dubbelspår leder till att avståndet till bostäderna norr/öster om järnvägen blir längre, medan avståndet till handels-, lager, verkstad och kontorslokalerna väster om järnvägen blir kortare. Då risken ökar för vissa områden men minskar för andra förblir risknivån i samma storleksordning för både nollalternativet och vid utbyggnad till dubbelspår.

Samhällsrisken både för nollalternativet och utbyggnad till dubbelspår hamnar inom den zon där skyddsåtgärder skall vidtagas ifall det är kostnadsmässigt rimligt vid jämförelse med DNV:s kriterier. Risknivån hamnar under både kriteriet för bostäder och verksamheter enligt GÖP:s kriterier.

Den byggnad där störst ökning av risknivå bedöms föreligga är den byggnad som ligger på Aröds Industriväg norr om Minelundsvägen. Avståndet mellan järnvägen och byggnaden kan vid en utbyggnad minska från ca 20 meter till ca 10-15 meter beroende på om växeln placeras norr eller söder om Minelundsvägen. Ökning i risknivå på grund av närheten till farligt godsled har tagits i beaktning i beräkningarna i Figur 10 genom att antalet personer nära farligt godsled ökar vid utbyggnad till dubbelspår.

### 6.4.3 Mekanisk konflikt

Sannolikheten för mekanisk konflikt mellan ett urspårat tåg och byggnaden har beräknats till  $1.4E-08$  per år för ett avstånd av 10 meter från Bohusbanan. För avstånd längre än 10 meter beräknas sannolikheten för mekanisk konflikt till 0, se bilaga D. Ingen ökning avseende sannolikheten för mekanisk konflikt bedöms därmed föreligga för dubbelspår jämfört med nollalternativet.

## 6.5 Osäkerhets- och känslighetsdiskussion

Risikanalys innefattar ett betydande mått av osäkerhet på grund av bland annat litet statistiskt underlag över olyckor, i viss mån antaganden om persontäthet samt variabel konsekvens på grund av till exempel olika vädersituationer vid olyckstillfället.

Resultatet av analysen bygger på ett antal ansatser beträffande trafikunderlag för farligt gods, olycksscenario, olycksfrekvenser, mm. Utgångspunkten i gjorda antaganden och bedömningar har varit att dessa så långt som möjligt skall ”spegla den verkliga situationen” eller, i vissa fall, vara medvetet konservativa. Med begreppet "konservativa" avses här att bedömningarna leder till att risknivån överskattas. Målet är att erhålla en balanserad samlad bedömning.

Exempel på områden som kan påverka resultatet är:

- › Farligt gods (mängd, ämnen)
- › Omgivning (verksamheter, markanvändning och befolkningens mängd)
- › Olycksstatistik



- › Konsekvenser (brand, explosion, giftig gas, väderlek, topografi)
- › Metod för beräkning av risk
- › Riskreducerande faktorer (införda skyddsåtgärder)

Genom att genomföra olika simuleringar och variera valda parametrar och situationer kan man få en bild om vad som mest påverkar resultatet och hur robusta slutsatserna är.

Den samlade bedömningen är att de redovisade resultaten avseende samhälls- och individrisk är konservativa då mycket höga värden avseende antalet farligt godstransporter har använts. Det bedöms att beräkningarna kan användas som en grund för bedömning av risknivån och som stöd för arbetet med lämpliga skydd och krav på området med avseende på farligt gods.

För en djupare diskussion angående osäkerheter, se Bilaga C.

## 7 Slutsats och skyddsåtgärder

Syftet med riskanalysen är att undersöka olycksriskerna avseende farligt gods för omkringliggande områden för nollalternativet (enkelspår) och vid utbyggnad till dubbelspår. Genom en riskanalys kan möjliga olyckor identifieras och bedömas och eventuella skyddsåtgärder kan därmed rekommenderas.

Individrisken är beroende av antal och typ av farligt godstransporter på järnvägen. Då framtidsscenarioet avseende antalet farligt gods transporter på järnvägen bedömts vara samma både för nollalternativ och utbyggnad till dubbelspår är individrisken identisk för de båda scenarierna. Individrisknivån 0-50 meter från leden är i det lägre intervallet av det område där riskreducerande åtgärder skall vidtas om praktiskt möjligt och ekonomiskt försvarbart. Endast ett fåtal fastigheter hamnar inom detta område för såväl nollalternativ som vid utbyggnad till dubbelspår.

För avstånd längre än 10 meter beräknas sannolikheten för mekanisk konflikt till 0, se bilaga D. Ingen ökning avseende sannolikheten för mekanisk konflikt bedöms därmed föreligga för dubbelspår jämfört med nollalternativet. Avståndet till den byggnad som ligger närmast spåret är dock mindre än de 30 meter som föreskrivs i GÖP och Trafikverket (2013), varför åtgärd för att hindra mekanisk konflikt kan komma att krävas. 30 meter gäller dock enligt ovan nämnda skrifter för ny bebyggelse vid befintlig järnväg.

Samhällsrisken både för nollalternativet och utbyggnad till dubbelspår hamnar inom den zon där skyddsåtgärder skall vidtagas ifall det är kostnadsmässigt rimligt vid jämförelse med DNV:s kriterier. Risknivån hamnar under både kriteriet för bostäder och verksamheter enligt GÖP:s kriterier. Då risken ökar för vissa områden men minskar för andra förblir risknivån i samma storleksordning för både nollalternativet och vid utbyggnad till dubbelspår. Risken minskar för de bostäder som ligger norr/öster om spåret och ökar för de verksamheter som ligger söder/väster om spåret vilket bedöms vara positivt ur en samhällsrisksynpunkt.

## 8 Referenser

Clancey V.J. (1972), Diagnostic Features of Explosion Damage, 6th int. Meeting of Forensic Sciences, Edinburgh, 1972

COWI (2011), *Riskutredning för detaljplan - Lillhagsparken*

DNV (2010), *PHAST v6.6, 2010 DNV Software, Oslo*

FOA (1995), *Risker i Västernorrlands län, metodstudie med exempel för samhällsplaneringen* FOA-R-00153-4.5

FOA (1997), *Vådautsläpp av brandfarliga och giftiga gaser och vätskor -metoder för bedömning av risker* FOA rapport 97-00490-990-SE

FOI (2007), *FOI Tågurspårningen i Kungsbacka* FOI-R-2286-SE.

Green Cargo (2011), *Uppgifter från Green Cargo (ansvarig farligt gods), 2011*

GÖP (1999), *Översiktsplan för Göteborg Fördjupad för sektorn TRANSPORTER AV FARLIGT GODS.*

GÖP (2009), *Översiktsplan för Göteborg. Riksintressen, Miljö- och riskfaktorer.* Antagen 2009-02-26, Stadsbyggnadskontoret

IUR (2002) *Structures built over railway lines – Construction requirements in the track zone (UIC Code 777-2 R), International Union of Railways, 2nd edition* September 2002

Länsstyrelserna (2006), *Riskhantering i detaljplaneprocessen - Riskpolicy för markanvändning intill transportleder för farligt gods.* Länsstyrelserna: Skåne län, Stockholms län, Västra Götalands län, 2006

Nordic LNG (2011), *Muntliga uppgifter Michael Pettersson (2011-10-05)*

RIB (2012), *Bfk beräkningsmodell för kemikalieexponering* RIB (Integrerat beslutsstöd för skydd mot olyckor)

SRV (2006), *Kartläggning av farligt godstransporter september 2006*, Räddningsverket

SRV (1997), *Värdering av risk, s.21-182/97*, MSB (tidigare Räddningsverket)

SRV (1996), *Riskbedömning vid transport av farligt gods. B20-194/96*, Räddningsverket 1996

Stenungsund (2007), *Säkerhetsstudie för Stenungsund- Järnvägstransporter 2004 och 2007*

TNO (2005), *Guideline for Quantitative Risk Assessment, part one Establishments and part two Transport. Purple book.*

Trafikverket (2013), *Transportsystemet i samhällsplaneringen. Trafikverkets underlag för tillämpning av 3–5 kap. miljöbalken och av plan- och bygglagen*, Trafikverket, Oktober 2013

VTI (1994), *Konsekvensanalys av olika olycksscenarier av farligt gods på väg och järnväg. VTI rapport Nr 387:4*

WUZ (2011), *Strategi för bebyggelseplanering intill rekommenderade färdvägar för transport av farligt gods. Helsingborg stad*

Yellow book (1997). van den Bosch, C.J.H and Weterings, R.A.P.M (1997) *Methods for the calculations of physical effects, Yellow Book CPR 14E part 1 and 2, 3rd edition, Committee for the Prevention of Disasters, the Netherlands*

## Bilaga A - Beräkning av sannolikhet för olycka

## Bilaga A - Beräkning av sannolikhet för olycka

I denna bilaga redovisas underlag för olyckor och olyckseffekter avseende farlig gods.

### Frekvens för järnvägsolycka

Grundläggande olyckstyper inom järnvägstrafik som under drift, direkt eller indirekt, kan ge upphov till påverkan på 3:e person är:

- › Urspårning
- › Sammanstötning
- › Brand
- › Sabotage
- › Plankorsningsolyckor
- › samt kombinationer av dessa.

När det gäller risker för farligt gods är de viktigaste olyckstyperna urspårning och sammanstötning. Utsläpp av farligt gods kan uppkomma om behållare skadas i samband med urspårning eller sammanstötning. Utsläpp av farligt gods kan även uppkomma utan föregående olycka, t.ex. genom läckage i flänsar och ventiler. Denna typ av läckage är relativt vanligt förekommande men ger som regel ingen påverkan på omgivningen. Däremot kan insats från räddningstjänst, t.ex. tömning av läckande tank, erfordras. Läckaget upptäcks vanligtvis inte under transport utan i samband med uppställning av vagnar vid t.ex. rangering.

Exempel på orsaker till urspårning är rälsbrott, solkurva, spårlägesfel, fordsonsfel, växelfel och lastförskjutning.

Dominerande orsaker till sammanstötningar är olika typer av mänskligt felhandlande hos exempelvis förare, tågledning eller bangårdspersonal, men även tekniska fel kan förekomma, t.ex. bromsfel.

Sammanstötningar mellan tåg på linjen är mycket sällsynt, däremot förekommer kollision med t.ex. arbetsfordon eller annat hinder. Sammanstötning under växling/rangering är däremot relativt frekvent förekommande. Dessa sker i låg

hastighet med som regel inga eller små skador som följd. Denna studie behandlar inte växlings- och rangeringsverksamhet.

Den första mer systematiska studien i Sverige av frekvenser för järnvägsolyckor som kan hota omgivningen gjordes av VTI (1994). Detta arbete utvecklades senare i Fredén (2001). Därefter har det, i samband med olika större infrastrukturprojekt, genomförts ett antal studier av urspårnings och sammanstötningsfrekvenser för svensk järnvägstrafik. Skillnaderna i resultat mellan de olika studierna är som regel små.

Följande frekvenser används i denna studie:

Urspårning:  $6,7 \cdot 10^{-7}$  per tåg km

Sammanstötning:  $6 \cdot 10^{-8}$  per tåg km

Dessa värden är baserade på (VTI, 1994) och används även i Göteborgs översiktsplan (1999). Risk för urspårning ger det dominerande bidraget. Använt värde är något konservativt jämfört med Fredén (2001) som för ett normaltåg ger en urspårningsfrekvens av  $5,2 \cdot 10^{-7}$  per tåg km (exklusive bl.a. solkurvor och växlar). Bedömningen är att det använda värdet är rimligt, men möjligen något konservativt.

Vidare antas i beräkningarna att ett normalgodståg består av 29 vagnar och att en urspårning påverkar 3,5 av dessa (d.v.s. en andel av 0,12) samt att en sammanstötning påverkar 5 vagnar (d.v.s. en andel av 0,17). Denna ansats är gemensam för VTI (1994) och Fredén (2001).

### Skalning av olycksfrekvenser

För riskberäkning används resonemang och värden enligt det som beskrivs i detta kapitel. Frekvensen justeras genom att multiplicera med 0,2. Detta görs för att ett skadeutfall bedöms påverka en begränsad sträcka. Undantag är för punktering av tank för giftig gas som multipliceras med 0,4 då området som kan påverkas av den händelsen är större.

### Frekvens för olycksscenarier

Nedan redovisas möjliga händelseförlopp efter att en järnvägsolycka med farligt gods inträffat. Sannolikheter och frekvenser för olika scenarier redovisas.

Vissa olyckshändelser som beskrivs, t.ex. explosioner kan antas påverka omgivningen likformigt oavsett riktning, medan andra händelser, t.ex. påverkan av giftig gas framförallt sker i vindriktningen och då påverkar en begränsad sektor av omgivningen. Vid beräkning av individrisk ska därför sannolikheten för exponering reduceras. I följande fall tillämpas en reducering av olycksfrekvensen:

- › Jetbrand: Reducering med en faktor 1/6 eftersom en begränsad sektor påverkas.

- › Gasmolnsbrand och giftigt gasmoln: Bedöms främst påverka omgivning i vindriktningen, en reduktion med en faktor 1/3 tillämpas vilket bedöms vara rimligt för det aktuella området.

Vid beräkning av samhällsrisk reduceras konsekvensområdet i motsvarande omfattning.

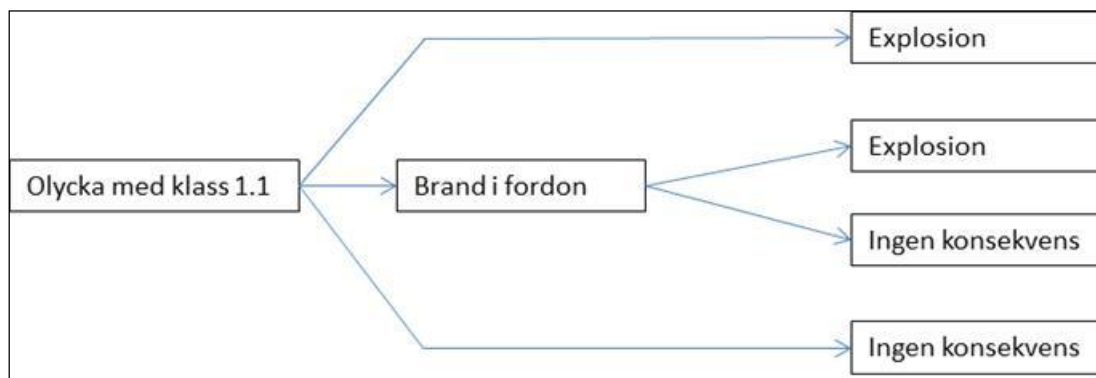


## A.1 Olycka med massexplösivt ämne

Inom klass 1 (explosiva ämnen) är det främst klass 1.1 (massexplosiva ämnen) som kan orsaka skada för personer i samband med en olycka.

Vid transport av massexplosiva ämnen finns risk för explosion som kan orsakas av spontan reaktion, yttre brand eller rörelseenergin som utvecklas vid stötar. På det sätt som massexplosiva ämnen och material förpackas minimeras emellertid risken för att explosion eller brand ska inträffa.

Figur A.1 illustrerar händelseförloppet vid olycka med massexplosiva ämnen.



**Figur A.1.** Händelseförlopp vid olycka med massexplosiva ämnen

### Järnvägsolycka

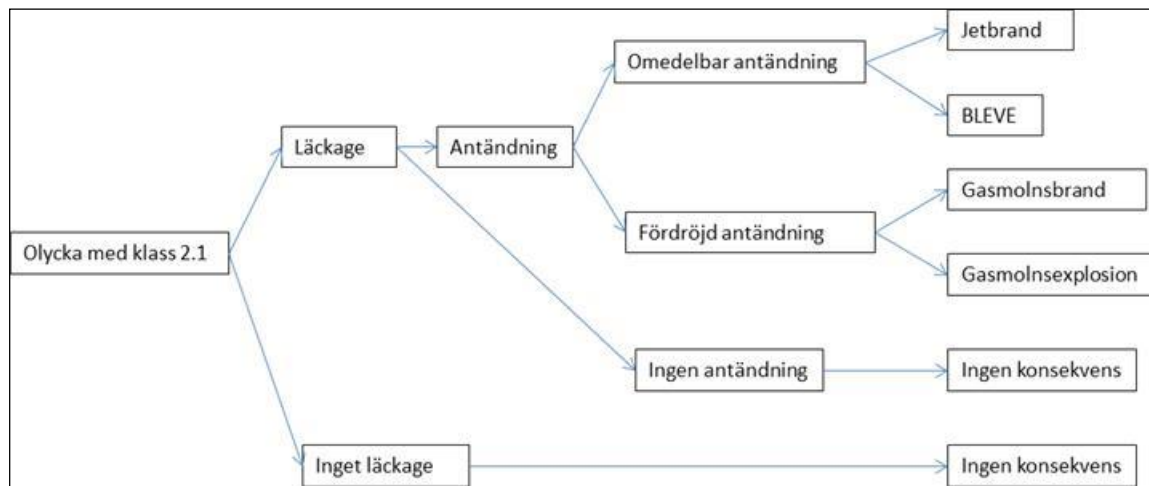
Vid en olycka bedöms att 1 % av fallen leder till explosion av lasten.

Sannolikheten för olycka med massexplösivt ämne är beräknad i Göteborgs översiktsplan för farligt gods (1999) och innefattar både, kollision, urspårning och brand i vagn. Den totala sannolikheten för massexlosion är beräknad till  $4.8 \cdot 10^{-8}$  för 2 km typbebyggelse. Sannolikheten beskrivs här för 1 km och kan därmed beskrivas enligt följande:

$$4.8 \cdot 10^{-8} / 2 \cdot N_{\text{klass1.1}}$$

## A.2 Olycka med brandfarlig gas (propan)

Möjliga händelseförlopp vid en olycka med brandfarlig gas redovisas i figur A.2.



**Figur A.2.** Möjliga händelseförlopp vid olycka med brandfarlig gas

Ett läckage av brandfarlig gas kan resultera i följande scenario:

- › Ingen antändning.
- › Omedelbar antändning som ger upphov till jetbrand.
- › Om jetbranden tillåts värma upp tanken under längre tid, eller om tanken havererar/försvagas på grund av skador kan en BLEVE (Boiling Liquid Expanding Vapour Explosion) inträffa.
- › Vid en fördröjd antändning kan ett gasmoln bildas som vid antändning ger upphov till en gasmolnsbrand.
- › En antändning av ett gasmoln kan ge upphov till en gasmolnsexplosion.

Fördelning av dessa scenarier varierar ganska kraftigt mellan olika källor. I WUZ (2011) relateras till ett antal källor och följande sannolikheter används:

- › Ingen antändning: 30 %
- › Jetbrand: 19 %
- › BLEVE: 1 %
- › UVCE (Unconfined Vapour Cloud Explosion eller gasmolnsexplosion): 50 %

Dessa värden bedöms rimliga med tillägget att kategorin UVCE bör delas upp i två scenarier, enligt figur A.2. Ett scenario med gasmolnsbrand utan övertryck och ett med övertryck. En fördelning av 80/20 mellan dessa scenarion tillämpas baserat på TNO (2005).

Enbart ett startscenario med 50 mm hål (motsvarande armaturbrott) beaktas. Risk för tankhaveri beaktas genom att inledande hål antas kunna utvecklas till BLEVE.

### Järnvägsolycka

Frekvens att en gastanksolycka med utsläpp och antändning ska inträffa är  $1,3 \cdot 10^{-9}$  per vagn och år, på en sträcka av två km (GÖP, 1999). Läckagesannolikhet ingår då med 0,01 och antändningssannolikhet med 0,7. Detta innebär att frekvensen för att en gasolvagn utsätts för olycka är  $= 0,93 \cdot 10^{-7}$  per vagn och år för en km.

Följande frekvenser erhålls för möjliga scenarier:

#### Jetbrand

$$0,93 \cdot 10^{-7} \cdot 0,01 \cdot N_{\text{klass}2.1} \cdot 0,19$$

Olycka \* Läckage \* antal transporter med brandfarlig gas \* andel jetbrand

#### Gasmolnsbrand

$$0,93 \cdot 10^{-7} \cdot 0,01 \cdot N_{\text{klass}2.1} \cdot 0,4$$

Olycka \* Läckage \* antal transporter med brandfarlig gas \* andel gasmolnsbrand

#### Gasmolnsexplosion

$$0,93 \cdot 10^{-7} \cdot 0,01 \cdot N_{\text{klass}2.1} \cdot 0,1$$

Olycka \* Läckage \* antal transporter med brandfarlig gas \* andel gasmolnsexplosion.

#### BLEVE

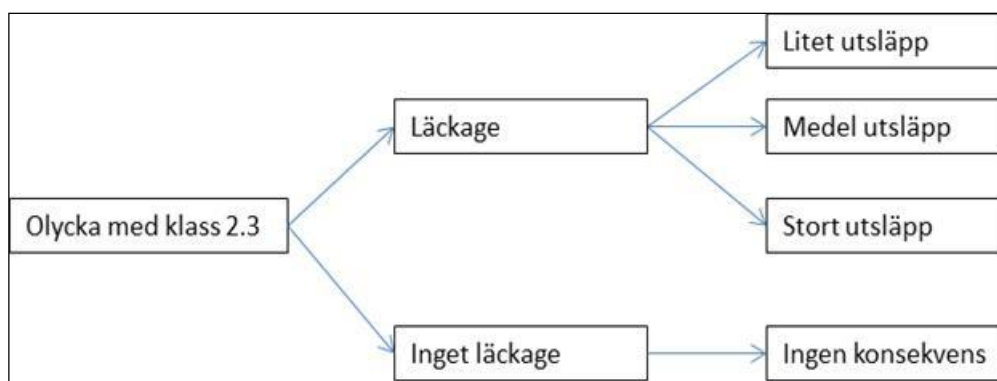
Då utfallet av en BLEVE ofta sker med en fördröjning görs här antagandet att i 50 % av fallen kommer området hinnas utrymmas innan en BLEVE inträffar.

$$0,93 \cdot 10^{-7} \cdot 0,01 \cdot N_{\text{klass}2.1} \cdot 0,01 \cdot 0,5$$

Olycka \* Läckage \* antal transporter med brandfarlig gas \* andel BLEVE \* fall då utrymning ej sker.

## A.3 Olycka med giftig gas

Figur A.3 illustrerar möjliga händelseförlopp vid olycka med giftig gas



**Figur A.3.** Händelseförlopp vid olycka med giftig gas.

Storleken på ett läckage kan variera, följande indelning görs för läckage:

- > Litet utsläpp (packningsläckage)

- > Medelstort utsläpp (rörbrott)
- > Stort utsläpp (stort hål på tank/punktering av tank)

I denna analys antas att medelstort och stort utsläpp kan leda till scenarion där människor omkommer varför de finns med i beräkningar. Fördelningen mellan medelstort och stort utsläpp är satt till 50/50 vilket resulterar i liknande storleksordning som finns angivet i TNO för liknande händelser. I denna analys bortser vi från packningsläckage.

### Järnvägsolycka

Sannolikheten för att en olycka med kondenserad giftig gas ska inträffa och utflöde sker är  $1,8 \cdot 10^{-9}$  per vagn och år och på en sträcka av två km (GÖP, 1999).

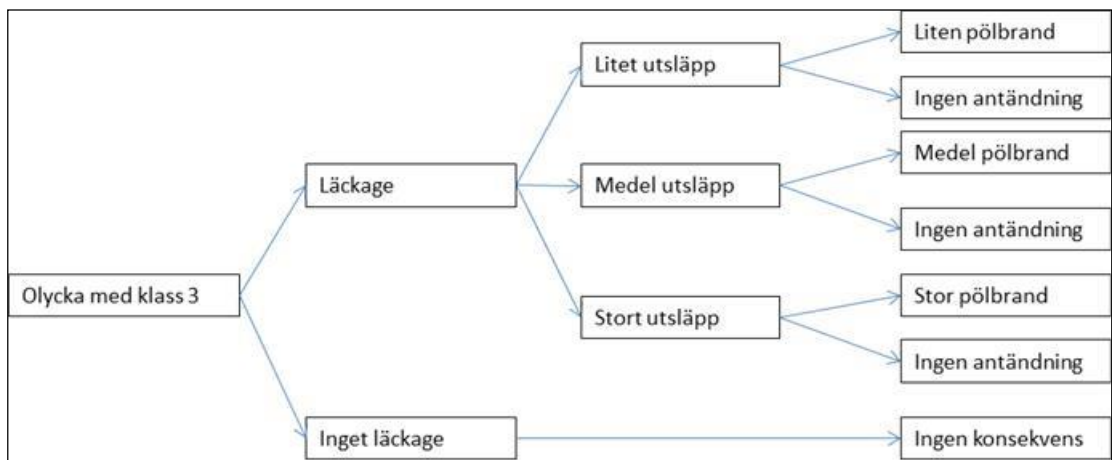
Antalet vagnar med giftig gas fås från tabell i huvudrapport och sannolikheten kan beskrivas enligt följande:

$$1,8 \cdot 10^{-9} / 2 \cdot N_{\text{giftig gas}} \cdot 0,5$$

Olycka per 1 km \* antal transporter med giftig gas \* andel scenario (medel/stort)

## A.4 Olycka med brandfarlig vätska bensin

Händelseförloppet för en olycka med brandfarlig vara illustreras av figur A.4.



**Figur A.4.** Händelseutveckling efter utsläpp av brandfarlig vätska.

Ett utsläpp som inte antänds har främst en påverkan på miljön, skadliga konsekvenser för människor uppstår om vätskan antänds och bildar en pölbrand (brinnande vätska på marken). Hur stor pölbranden blir beror på storleken på utsläppet och pölens utbredning.

Följande pölbrandsscenario kan sättas upp:

- > Medel utsläpp
- > Stort utsläpp
- > Liten pölbrand bedöms inte ha någon betydande omgivningspåverkan.

Antagandet görs att enbart brandfarlig vara klass 1 t.ex. bensin kan medföra personskada och utgöra risk för området. Enligt petroleuminstitutet är andelen bensin ca 40 % av totala petroleumprodukterna varför mängden klass 1 produkter antas utgöra 40 % av den totala mängden transporterad brandfarlig vara.

### Järnvägsolycka

Sannolikheten för olycka med brandfarlig vätska baseras på Fredén (2001). Beräkningar utgår från scenarier enligt ovan samt antaganden baserade på uppgifter från TNO (2005). Sannolikheten för respektive dimensionerande scenario beskrivs enligt följande:

(sannolikheten för urspårning \* sannolikhet för att urspårad vagn är lastad med brandfarlig vätska + sannolikhet för kollision \* sannolikhet för att vagn i kollision är lastad med brandfarlig vätska) \* sannolikhet för läckage \* sannolikhet för antändning \* antal vagnar.

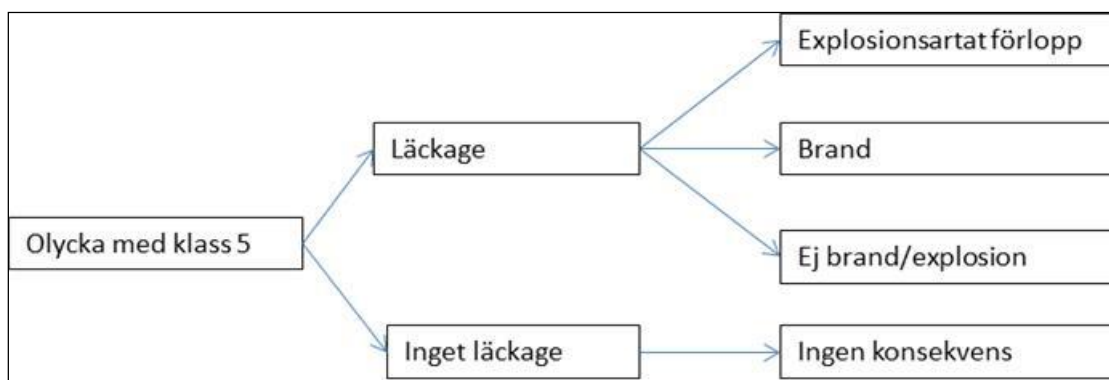
Sannolikhet för mellan och stor läckage är satt till 0,2 och 0,1 och antändning till 0,05. Värdet för antändning är hälften av värdet som används för väg.

Mellan läckage:  $(6 \cdot 10^{-8} \cdot 0,17 + 6,7 \cdot 10^{-7} \cdot 0,12) \cdot 0,2 \cdot 0,05 \cdot N_{\text{klass3}}$

Stort läckage:  $(6 \cdot 10^{-8} \cdot 0,17 + 6,7 \cdot 10^{-7} \cdot 0,12) \cdot 0,1 \cdot 0,05 \cdot N_{\text{klass3}}$

## A.5 Olycka med oxiderande ämne

Oxiderande ämne kan tillsammans med organiska ämnen bli explosivt. Figur A.5 illustrerar händelseförloppet vid olycka med oxiderande ämnen. Utöver explosion kan även en brand inträffa men konsekvensen för ett sådant händelseförlopp bedöms vara relativt begränsad och ingår inte i de beräkningar som genomförs.



**Figur A.5.** Händelseförlopp vid olycka med oxiderande ämnen.

### Järnvägsolycka

Sannolikheten för att en olycka med oxiderande ämnen ska inträffa och explosion sker är  $2,0 \cdot 10^{-11}$  per vagn och år och på en sträcka av två km (GÖP, 1999). I denna analys beskrivs sannolikheten för en sträcka av 1 km och kan därmed beskrivas enligt följande:

$2 \cdot 10^{-11} / 2 \cdot N_{\text{klass5.1}}$

## A.6 Resultat av beräkningar

Notera att sannolikheten för att en händelse ska inträffa är den samma oavsett om hänsyn tas/inte tas till studerade skyddsåtgärder. Detta beror på att studerade skyddsåtgärder är av konsekvensreducerande karaktär.

**Tabell A.1.** Beräknad sannolikhet för resp. händelse med farligt gods på Bohusbanan (nollalternativ)

Händelse	Sannolikhet (per år)
Olycka med klass 1.1– massexplosion (stor)	0,00E+00
Olycka med klass 2.1- Jetbrand	1,39E-07
Olycka med klass 2.1- Gasbrand	2,92E-07
Olycka med klass 2.1- Gasmolnsexplosion	7,30E-08
Olycka med klass 2.1- BLEVE	3,65E-09
Olycka med klass 2.3- utsläpp av giftig gas (rörbrott)	4,61E-08
Olycka med klass 2.3- utsläpp av giftig gas (punktering)	9,22E-08
Olycka med klass 3.1 -brandfarlig vätska (medel utsläpp)	0,00E+00
Olycka med klass 3.1 -brandfarlig vätska (stort utsläpp)	0,00E+00
Olycka med klass 5 -explosion	0,00E+00

**Tabell A.2.** Beräknad sannolikhet för resp. händelse med farligt gods på Bohusbanan (utbyggt dubbelspår)

Händelse	Sannolikhet (per år)
Olycka med klass 1.1– massexplosion (stor)	0,00E+00
Olycka med klass 2.1- Jetbrand	1,39E-07
Olycka med klass 2.1- Gasbrand	2,92E-07
Olycka med klass 2.1- Gasmolnsexplosion	7,30E-08
Olycka med klass 2.1- BLEVE	3,65E-09
Olycka med klass 2.3- utsläpp av giftig gas (rörbrott)	4,61E-08
Olycka med klass 2.3- utsläpp av giftig gas (punktering)	9,22E-08
Olycka med klass 3.1 -brandfarlig vätska (medel utsläpp)	0,00E+00
Olycka med klass 3.1 -brandfarlig vätska (stort utsläpp)	0,00E+00
Olycka med klass 5 -explosion	0,00E+00



## Bilaga B - Bedömning av konsekvenser



## Bilaga B - Bedömning av konsekvenser

I detta kapitel redovisas först en övergripande tabell över möjliga konsekvenser i händelse av en olycka med farligt gods och därefter sammanställs en tabell med resultat från konsekvensberäkningar/simuleringar. Under respektive delkapitel beskrivs bakgrund för bedömning av konsekvenser/olyckseffekter för respektive ämnesklass.

I tabell B.1 nedan redovisas respektive farligt godsklass och möjliga konsekvenser i händelse av olycka. Konsekvenser har här beskrivits ur 3:e persons synpunkt.

**Tabell B.1** Relevanta typer av farligt gods och möjliga olyckskonsekvenser.

ADR-/RID- Klass	Möjliga konsekvenser i händelse av olycka	Kommentarer
1 Explosiva ämnen	Övertryck som kan skada/rasera byggnader, ge upphov till splitter och skada på människor	Massexplosiva ämnen kan ge effekter på flera tiotals- upp till något hundratal meter beroende på tillgänglig mängd.
2 Brännbar gas	Jetflamma – värmestrålning  Brännbart gasmoln – gasmolnsbrand  Gasmolnsexplosion	Direkta effekter oftast begränsade till närområdet <sup>1</sup> .  Små effekter utanför gasmolnet, mkt allvarliga konsekvenser för personer som omfattas av molnet.  Oftast begränsade övertryck vid fritt gasmoln. Personskador kan uppkomma genom splitter och

<sup>1</sup> ”Närområde” är inte ett entydigt definierat begrepp men avser i detta sammanhang några tiotal meter (t.ex. i samband med pölbrand) eller direkt exponering (t.ex. i samband med utsläpp av frätande ämnen).

ADR-/RID- Klass	Möjliga konsekvenser i händelse av olycka	Kommentarer
	BLEVE	raserade byggnader.  Värmestrålning kan ge effekter inom några hundratal meter, ”missiler” kan ge effekter på längre avstånd.
2 Giftig gas	Gasmoln – toxiska effekter	Kan ge effekter över mycket stora områden beroende på ämne, tillgänglig mängd, utflöde, atmosfäriska förhållanden och topografi.
3 Brandfarliga vätskor	Pölbrand – värmestrålning	Risk för brännskador oftast begränsade till närområdet. Allvarligare konsekvenser kan uppstå beroende på lutning, risk för brandspridning, mm
4 Brandfarliga fasta ämnen, mm	Brand – värmestrålning	Risk för brännskador oftast begränsade till närområdet.
5 Oxiderande ämnen, organiska peroxider	Brand – värmestrålning  Explosion i händelse av blandning med andra brännbara ämnen	Risk för brännskador, oftast begränsade till närområdet.  I händelse av explosion kan effekter jämförbara med klass 1 uppstå.
6 Giftiga ämnen, mm	Toxiska effekter	Risker begränsade till närområdet
7 Radioaktiva ämnen	Strålskada	Ger normalt ej upphov till akuta effekter, däremot kan kroniska effekter uppstå.
8 Frätande ämnen	Frätskada	Risker begränsade till närområdet
9 Övrigt	-	Risker begränsade till närområdet

Området kring led med farligt gods har delats in i intervall för att beskriva konsekvensen av en olycka på olika avstånd från en olycksplats. Konsekvensbedömningen baseras på Göteborgs översiktsplan (1999), VTI rapport 387:4 (1994), konsekvensberäkningar genomförda i Effekt Plus och PHAST (DNV, 2010) samt simuleringar i programmet Bfk (RIB, 2012).

Resultat från konsekvensberäkningar/simuleringar är sammanställt i tabell B.2 och visar hur stor andel av de personer som befinner sig utomhus respektive inomhus som bedöms omkomma till följd av en viss händelse.

För varje avståndsintervall ges två uppgifter på andel omkomna:

**Andel omkomna utomhus.** Baseras på oskyddade personer samt att topografin för olycksplats och omgivning är plan. Denna uppgift är mycket konservativ och anger en teoretiskt högsta andel omkomna.

**Andel omkomna inomhus.** Baseras på de personer som befinner sig inomhus och därmed delvis är skyddade. Denna siffra varierar beroende på byggnad och placering

**Tabell B.2.** Andel omkomna av personer som befinner sig utomhus respektive inomhus inom olika avståndsintervall från en eventuell olycka på järnväg. Värden i denna tabell är grundvärden från beräkningar vilket är de som används om inget annat anges.

Ämnesklass	Olycksscenario	0-25 m	26-50 m	51-100 m	101-150 m	151-200 m
Klass 1.1 Massexplсивt	Liten explosion (200 kg)	1/0,15	0/0,05	0/0,01	0/0	0/0
	Stor explosion (6 ton)	1/0,3	1/0,3	0,5/0,15	0/0	0/0
Klass 2.1 Kondenserad Brandfarlig gas	Jetbrand	1/1	0,2/0,1	0/0	0/0	0/0
	Gasbrand	1/1	0,75/0,4	0,5/0,3	0/0	0/0
	Gasmolnsexplosion	1/1	0,5/0,5	0,1/0,1	0/0	0/0
	BLEVE	1/1	1/1	1/0,25	0,5/0,0	0/0
Klass 2.3 Kondenserad giftig gas	Rörbrott	1/0,95	0,9/0,5	0,5/0,1	0,01/0	0/0
	Punktering	1/1	1/1	1/0,5	0,6/0	0,2/0
Klass 3 Brandfarlig vätska	Liten pölbrand	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0
	Medelstor pölbrand (50 m <sup>2</sup> )	0,5/0,1	0/0	0/0	0/0	0/0
	Stor pölbrand (200 m <sup>2</sup> )	0,8/0,8	0,2/0,1	0/0	0/0	0/0
Klass 5 Oxiderande ämne	Explosion	1/0,15	1/0,05	0/0,01	0/0	0/0

Andel omkomna är behäftat med osäkerhet på grund av att det inte med säkerhet går att förutsäga det exakta händelseförloppet, till exempel kan vädersituationen

vara mer eller mindre gynnsam, förutsättningarna för om människor kan sätta sig i säkerhet kan variera och så vidare.

## B.1 Konsekvenser för massexplodivt ämne (klass 1.1)

Inom klass 1 (explosiva ämnen) är det främst klass 1.1 (massexplosiva ämnen) som kan orsaka skada för personer i samband med en olycka.

Vid en eventuell olycka kan händelseförloppet utvecklas mycket snabbt och ge svåra konsekvenser. Hur stora konsekvenserna blir beror på mängden transporterat ämne samt avståndet till människor. Hur stora skadorna blir på byggnader beror till stor del på byggnadskonstruktion och material.

En explosion leder till höga tryck i närzonen, trycket minskar sedan med avståndet från explosionen. Människor tål tryck bättre än vad byggnader gör. Dödsfall som direkt följd av tryckvågen vid en fullastad vägtransport (16 ton) kan förväntas inträffa på avstånd upp till 75 meter ifrån olycksplatsen. För mindre transporter (50-1000 kg) kan dödsfall förväntas på upp till ca 25 meter ifrån olycksplatsen. Skador på lungor och trumhinnor (på grund av tryck) kan inträffa upp till 25 meter ifrån olycksplatsen för olycka motsvarande ca 200 kg.

Dödsfall och skador kan inträffa i och med att byggnader rasar, eller från splitter och flygande material. Även nyare betongbyggnader med väl sammanhållen stomme kan raseras på ett avstånd av ett par hundra meter från explosionscentrum. Skador på människor inomhus är troliga, liksom dödsfall, både vid olyckor med små och stora transporter. Skador på grund av splitter och flygande material kan förekomma på ett område mellan några 10-tals meter upp till 1 km beroende på storleken på explosionen, var den inträffar och i vilken typ av område/bebyggelse som olyckan inträffar.

Nedan följer material i form av gränsvärden, beräkningar och antaganden som används vid bedömningar för antal skadade och omkomna.

Gränsen för dödliga skador går vid 180 kPa. I tabell B.3 sammanställs rimliga tryck för vad byggnader klarar av. Tabell B.4 redogör för olika trycks påverkan på människokroppen.

**Tabell B.3.** Maximala infallande tryck för material och byggnader

Material för byggnaden	Maximalt tryck
Träbyggnader och plåthallar	10 kPa
Tegel- och äldre betonghus	20 kPa
Nyare betonghus	40 kPa

Gränsvärde för att glasfönster spricker och i sin tur kan orsaka personskada går vid ca 0,03 bar (ca 3 kPa) och från samma källa (Clancey, 1997) anges 0,02 bar (ca 2 kPa) som ett gränsvärde för att material inte ska flyga iväg.

**Tabell B.4.** Skador på människan vid olika infallande tryck

Skadenivå på människan	Tryck
Dödlig skada	≥180 kPa
Lungskador	180-69 kPa
Trumhinneruptur (skador på trumhinnor)	69-21 kPa

### Beräkningsmetodik

Tryckklaster har beräknats för händelsen att en explosion inträffar, antingen direkt eller efter en antändning i samband med en olycka. Konsekvensberäkningar har utförts i beräkningsprogrammet Effects PLUS version 5.5 (Yellow Book, 1997). För att kunna utföra explosionsberäkningar i programmet har massan av TNT räknats om till ekvivalent massa brännbar metangas i ett tänkt gasmoln.

Metoden för omräkning mellan massa av brännbar gas och massa av TNT är välkänd och kallas TNT-ekvivalent metoden (TNT-Equivalency Method) (FOA, 1997).

Högsta explosionsstyrka 10 (detonation) har antagits och beräkningsmetoden följer The Multi Energy Method (FOA, 1997).

Lasterna från explosionen har beräknats som infallande tryck mot människor, byggnader och annan utrustning för olika avstånd från explosionscentrum. Nettovikten explosivt ämne varierar mellan 1-16 ton per transport samt 25-1000 kg per transport.

Resultaten från beräkningar beskriver tryck på olika avstånd ifrån en explosionskälla. Dessa tryck har översatts till andel omkomna.

### Konsekvenser för massexplodivt ämne

Andelen omkomna beror på flera parametrar. Exempelvis spelar avståndet från explosionscentrum roll samt eventuella objekt mellan explosionen och individer. Första radens hus skyddar exempelvis bakomliggande hus eller personer som vistas utomhus. Denna analys baserar sig på andelen omkomna.

För varje avståndsintervall ges två uppgifter på andel omkomna:

- › Andel omkomna utomhus. Andelen omkomna utomhus baseras på oskyddade människor som omkommer av det dödliga trycket större eller lika med 180 kPa.

Vid lägre tryck än 180 kPa antas att personer som vistas utomhus kommer att överleva. Skador kan dock förkomma som ett resultat av exempelvis flygande material eller höga tryck. Vid exempelvis 69 kPa förväntas lungskador.

- › Andel omkomna inomhus. Baseras på de personer som befinner sig inomhus vid en explosion. Orsak till dödsfall beror på att byggnader rasar. Andelen omkomna beror på tryckets storlek samt avståndet från explosionen. Nedan sammanfattas vilka antaganden som gjorts för bedömning av omkomna inomhus.

För bedömningar angående omkomna inomhus används i viss mån värden som förekommer i Göteborgs översiktsplan. Vid tryck större än 180 kPa, (total destruktion av byggnader) antas att 30 % omkommer inomhus på avståndet 0-49 meter ifrån explosionskällan. På avståndet 50 meter antas 15 % omkomma inomhus (första radens hus). På avståndet större än 100 meter antas 5 % omkomma vid första radens hus om trycket är så högt att det resulterar i total destruktion av byggnaden.

För tryck mellan 180- 69 kPa antas 5 % omkomma inomhus. På tryck mellan 69-21 kPa antas 1 % omkomma.

**Tabell B.5.** Visar antagna andelar omkomna inomhus på olika avstånd vid olycka

Tryck/Avstånd	Andelen omkomna inomhus på olika avstånd		
	0-49 meter	50-99 meter	>100 meter
$P_s \geq 180$ kPa	0,3	0,15	0,05
$180 \text{ kPa} > P_s \geq 69$ kPa	0,05	0,05	0,05
$69 \text{ kPa} > P_s \geq 21$ kPa	0,01	0,01	0,01
$21 \text{ kPa} > P_s \geq 9$ kPa	Ingen antas omkomma.		

Utifrån ovan beräkningar och antaganden har andelen omkomna inomhus och utomhus beroende på transportstorlekar sammanställs vilket redovisas i tabell B.6 och B.7.

**Tabell B.6.** *Andel omkomna av personer som befinner sig utomhus respektive inomhus på olika avståndintervaller från en eventuell olycka med stora mängder transporterad vara*

Stora Transporter	2 ton		6 ton		16 ton	
	Ute	Inne	Ute	Inne	Ute	Inne
0-25 m	1	0,3	1	0,3	1	0,3
25-50m	1	0,15	1	0,3	1	0,3
50-75 m	0	0,15	1	0,15	1	0,15
75-100 m	0	0,01	0	0,15	1	0,15
100-250 m	0	0,01	0	0,01	0	0,05

**Tabell B.7.** *Andel omkomna av personer som befinner sig utomhus respektive inomhus på olika avståndintervaller från en eventuell olycka med små mängder transporterad vara.*

Små Transporter	25 kg		200 kg		1000 kg	
	Ute	Inne	Ute	Inne	Ute	Inne
0-25 m	0	0,05	1	0,15	1	0,3
25-50m	0	0,01	0	0,05	1	0,15
50-75 m	0	0	0	0,01	0	0,05
75-100 m	0	0	0	0	0	0,01
100-250 m	0	0	0	0	0	0

Andel omkomna är behäftad med osäkerhet på grund av att det inte med säkerhet går att förutsäga det exakta händelseförloppet.

För jämförelse till beräkningar finns de tabeller som Göteborgs översiktsplan utgår ifrån. Tabell B.8 visar andel omkomna på olika avstånd vid olycka på väg med massexplodivt ämne för personer utomhus eller inomhus baseras på Göteborgs översiktsplan (1999).

**Tabell B.8.** Andel omkomna vid olycka med massexplösivt ämne på väg (15 ton).

Personers vistelseplats vid olycka	Andel omkomna 0-50 meter från väg	Andel omkomna 50-100 meter från väg
Utomhus	100 %	100 %
Första radens hus	15 %	5 %
Andra radens hus	5 %	-

## B.2 Konsekvenser för utsläpp av brandfarlig gas vid olycka

I följande figurer redovisas andel oskyddade människor omkomna för utsläpp av brandfarlig kondenserad gas vid en olycka. Följande scenario med antändning av brandfarlig gas analyseras:

- Omedelbar antändning som ger upphov till jetbrand.
- Uppvärmning av tank eller tankhaveri som leder till BLEVE (Boiling Liquid Expanding Vapour Explosion).
- Fördröjd antändning som ger upphov till en gasmolnsbrand.
- Fördröjd antändning som ger upphov till en gasmolnsexplosion.

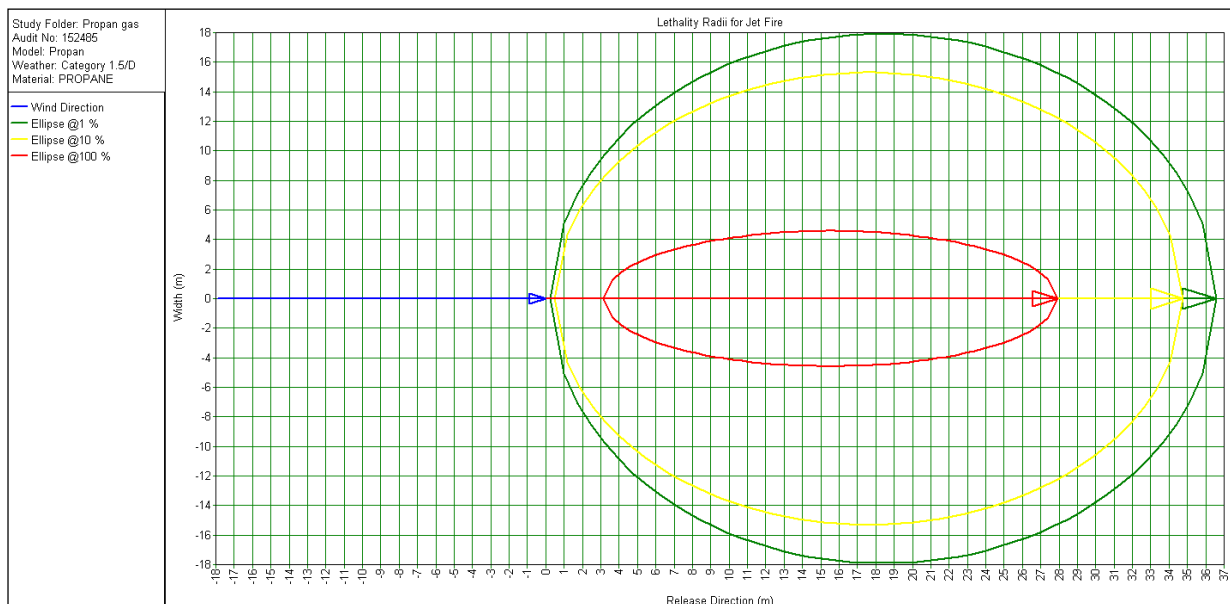
Beräkningar är utförda i programvaran PHAST (DNV, 2010). Bedömningar av konsekvenser för strålningsnivåer och övertryck baseras huvudsakligen på TNO (2005). Olyckseffekter och konsekvenser av dessa scenarier beror på ett antal parametrar, varav de viktigaste är hålstorlek, om utsläpp sker i vätske- eller gasfas, vindstyrka, atmosfärisk stabilitet samt topografi och hinder. I avsnitten nedan redovisas exempel på olyckseffekter och konsekvenser som kan uppkomma.

### Jetbrand

En jetbrand uppstår då gas strömmar ut genom ett hål i en tank och därefter antänds. Omfattningen och effekten av en jetbrand bestäms av om ämnet strömmar ut i gasfas eller vätskefas, om en fri jetstråle kan utvecklas samt av riktningen på denna. I flammans riktning och i närhet av utsläppet kommer strålningsnivåerna att vara mycket höga, över 40 kW/m<sup>2</sup>. Personer som utsätts för denna strålningsnivå antas omkomma. Däremot avtar strålningsnivåerna snabbt både i sidled och i längsled.

Figur nedan visar område för 100, respektive 10 och 1 % dödlighet vid en fri jetbrand och utsläpp i gasfas vid ett 50 mm rörbrott. Vid ett utsläpp i vätskefas kommer avstånden att vara betydligt längre, avståndet till 100 % dödlighet blir då ca 80 meter, istället för som här ca 30 meter.





**Figur B.1.** Område för 100, respektive 10 och 1 % dödlighet vid en fri jetbrand och utsläpp i gasfas vid ett 50 mm rörbrott. Beräkning PHAST.

Konsekvensen för personer utomhus är vid jetbrand förutom dödsfall även 1:a till 3:e gradens brännskador. För jetbrand förväntas inga omkomna på längre avstånd än 50 meter ifrån en olycka.

## BLEVE

BLEVE är en speciell händelse som kan inträffa om en tank med kondenserad brandfarlig gas utsätts för yttre brand. Trycket i tanken stiger och på grund av den inneslutna mängdens expansion kan tanken rämna. Innehållet övergår i gasfas på grund av den höga temperaturen och det lägre trycket utanför och antänds. Vid en BLEVE bildas ett eldklot som ger upphov till värmestrålning och tryckeffekter. För att en sådan händelse ska kunna inträffa krävs att tanken hettas upp kraftigt. Tillgänglig energi för att klara detta kan finnas i form av en antänd läcka i en annan närstående tank.

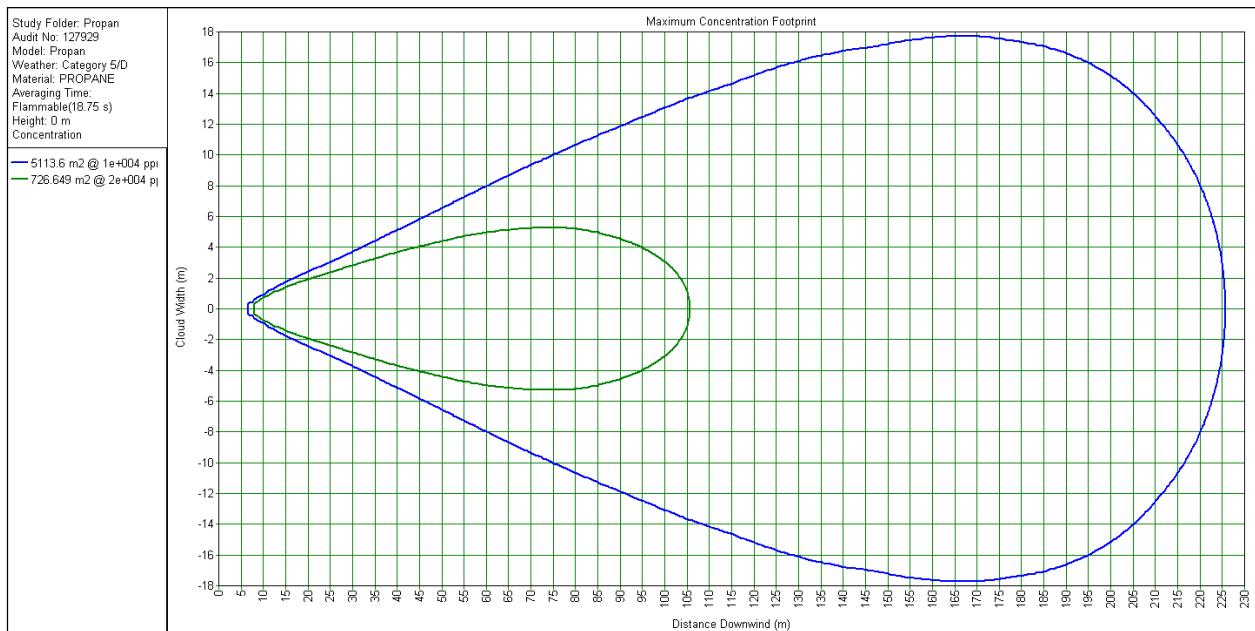
Storleken på eldklotet beror framförallt på tankens innehåll. En tank på 20 ton ger upphov till ett eldklot på 60-75 meters radie (TNO, 2005).

Personer som befinner sig inom eldklotet eller som utsätts för en strålningsnivå över 35 kW/m<sup>2</sup> antas omkomma, detta gäller även om man befinner sig inomhus (TNO, 2005). För personer som utsätts för lägre strålningsnivåer bestäms andel omkomna av exponeringstid och strålningsnivå.

Erfarenheter från inträffade BLEVE visar att det ofta tar lång tid för en BLEVE att utvecklas. Om så är fallet finns möjligheter att utrymma närområdet. Ansatsen görs här att detta lyckas i 50 % av fallen.

## Gasmolnsbrand

En gasmolnsbrand uppkommer då ett gasmoln hunnit utvecklas innan antändning sker. Denna brand kan sedan övergå i en jetbrand. Storlek och utbredning av gasmolnet bestäms av hålstorlek, utsläpp i vätske- eller gasfas, vindstyrka, atmosfärisk stabilitet samt topografi och hinder. Spridning av molnet påverkas av vindriktningen, en korrigering av sannolikhet görs därmed med en faktor 1/3. I figur nedan redovisas ett utsläpp av propan, 50 mm hål, utsläpp i vätskefas vid 5 m/s.



**Figur B.2.** Utsläpp av propan, 50 mm hål, utsläpp i vätskefas vid 5 m/s. Beräkning PHAST. Grön linje redovisar avstånd till undre brännbarhetsgräns (LEL = Lower Explosive Limit). Blå linje visar avstånd där gaskoncentrationen är hälften av detta (halva LEL).

Som framgår av figur är avstånd till LEL ca 100 meter. Vid ett utsläpp i gasfas är motsvarande avstånd ca 20 meter.

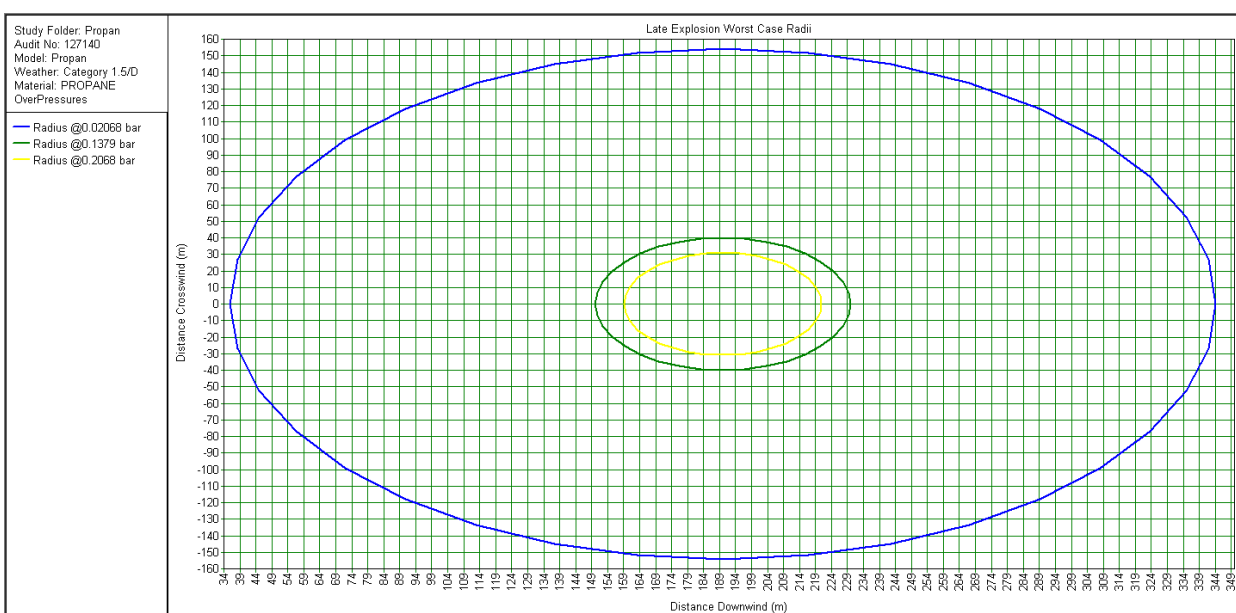
Vid en antändning kommer moln inom LEL gränsen att forma ett brinnande gasmoln. Område för gasmolnsbrand sätts här till samma som LEL (TNO, 2005). I vissa sammanhang används 1/2 LEL som gräns för brandmoln.

Personer som vistas inom brandmolnet antas omkomma, detta gäller även om personer som befinner sig i byggnader som helt omsluts av molnet. Personer som vistas utanför molnet kan antas överleva. Konsekvensen för personer utomhus är vid gasbrand förutom dödsfall även 1:a till 3:e gradens brännskador. Omkomna på grund av gasbrand förväntas inte förekomma på längre avstånd än 100 meter ifrån olycka.

### Gasmolnexplosion

Ett fritt gasmoln som antänds ger som regel upphov till en gasmolnsbrand utan signifikant övertryck (TNO, 2005), vilket behandlats ovan. En explosion kan dock inte helt uteslutas. Om gasmolnet inte antänds omedelbart kommer luft att blandas med den brandfarliga gasen. Vid antändning kan en gasmolnexplosion ske om gasmolnet består av en tillräckligt stor mängd gas/luft av en viss koncentration. En gasmolnexplosion kan beroende på vindstyrka och riktning inträffa en bit ifrån själva olycksplatsen.

Figur B.3 visar explosionövertryck på olika avstånd från ett maximalt stort gasmoln, vid ett 50 mm hål och utsläpp i vätskefas.



**Figur B.3.** Explosionövertryck på olika avstånd från ett maximalt stort gasmoln, vid ett 50 mm hål och utsläpp i vätskefas.

Från figur ovan erhålls följande avstånd till trycknivåer från explosionscentrum (för jämförelse redovisas även utsläpp i gasfas).

**Tabell B.9.** Trycknivåer från explosionscentrum.

bar övertryck	Utsläpp i vätskefas	Utsläpp i gasfas
0,02	150 m	30 m
0,14	40 m	8 m
0,21	30 m	6 m

Var explosionscentrum är beläget beror på ett antal faktorer som spridningsförhållanden, vind och tidpunkt för antändning. Här antas att explosionscentrum ligger i närhet av transportleden.

### B.3 Konsekvenser vid utsläpp av giftig gas

Exempel på kondenserad giftig gas är svaveldioxid, ammoniak och klor som alla är giftiga vid inandning och som redan vid låga koncentrationer kan ge svåra skador och i värsta fall leda till dödsfall. Gasen transporteras under tryck i vätskeform och vid utströmning till luft förångas vätskan fort och övergår i gasform. Generellt är gaserna tyngre än luft vid själva utsläppet varför spridning av gasen primärt sker längs marken.

Giftig kondenserad gas kan ha riskområde på hundra meter upp till många kilometer och gasen når ofta sin största utbredning efter bara några minuter. Utbredningen och hur hög koncentrationen blir beror på ett antal parametrar så som vindstyrka och riktning samt storleken på läckaget. Vid exempelvis högre vind blandas mer luft in i gasmolnet vilket resulterar i lägre koncentrationer.

Andelen omkomna beror på vilken toxisk gas som förekommer, utsläppets storlek, väderförhållande, inbyggda skydd etc. Risken för att omkomma är som störst närmast utsläppet. På längre avstånd minskar andelen omkomna men i samband med det ökar andelen svårt- och lindrigt skadade. Gasen sprider sig i vindens riktning vilket gör att skadeutfallet (antalet omkomna och skadade) beror på hur marken ser ut och hur många personer som befinner sig i området där gasmolnet drar fram.

Storleken på ett läckage kan variera och följande indelning kan illustrera tänkbara läckage scenarier.

- › Litet utsläpp (packningsläckage)
- › Medelstort utsläpp (rörbrott)
- › Stort utsläpp (stort hål på tank/punktering av tank)

I denna analys antas att medelstort och stort utsläpp kan leda till scenarion där människor omkommer varför de finns med i beräkningar.

För beräkning av konsekvenser i samband med utsläpp av giftig gas har beräkningsprogrammet Bfk använts (RIB, 2012). Beräkningarna resulterar i koncentration av den utsläppta gasen på olika avstånd, i höjddled samt andel omkomna och (svårt) skadade personer inomhus respektive utomhus. Som dimensionerande fall har gasen ammoniak använts.

Tabell B.10-12 sammanfattar den procentuella andelen omkomna och svårt skadade vid olika avstånd från utsläppspunkten. Det fall som redovisas baseras på följande väderparametrar: Medeltemperatur 8°C, vindhastighet 4 m/s.

Tabell B.10 visar på resultat från simuleringar med ammoniak vid rörbrott, vilket motsvarar medelstort utsläpp. Två olika simuleringar har genomförts, den första med luftintag på 1 meters höjd och 0,5 luftväxlingar/timma (representerar enskilda hus) och den andra med luftintag på 5 meters höjd och 3 luftväxlingar (representerar kontor/industri med centralt luftintag).

**Tabell B.10.** *Andel omkomna och skadade vid medelstort utsläpp av giftig gas (ammoniak vid rörbrott) för olika avstånd från utsläppspunkten, inomhus. Resultatet i kolumn till vänster ska representera ett enskilt hus (i simuleringen antas 0,5 luftväxlingar och luftintag på 1 meters höjd). Kolumn till höger representerar t.ex. kontor (antar 3 luftväxlingar och luftintag på 5 meters höjd).*

Avstånd (meter)	Andel omkomna/svårt skadade (%) inomhus	
	0,5 luftväxlingar NH <sub>3</sub>	3 luftväxlingar NH <sub>3</sub>
~11	100/0	0/25
~23	60/39	96/4
~36	5/64	76/24
~48	0/21	36/60
~75	0/0	2/55
~88	0/0	0/32

Tabell B.11 visar på resultat från simuleringar med ammoniak vid punktering av tank (stort utsläpp). Två olika simuleringar har genomförts. Den första med ett luftintag på 1 meters höjd och 0,5 luftväxlingar/timma (representerar enskilda hus). Den andra med luftintag på 5 meters höjd och 3 luftväxlingar (representerar kontor/industri med centralt luftintag).

**Tabell B.11.** *Andel omkomna och skadade vid stort utsläpp av giftig gas (ammoniak vid punktering av tank) för olika avstånd från utsläppspunkten, inomhus. Resultatet i kolumn till vänster representerar ett enskild äldre hus (i simuleringen antas 0,5 luftväxlingar och luftintag på 1 meters höjd) och den högra kolumnen ska representera t.ex. kontor (antar 3 luftväxlingar och luftintag på 5 meters höjd).*

Avstånd (meter)	Andel omkomna/svårt skadade inomhus (%)	
	0,5 luftväxlingar NH <sub>3</sub>	3 luftväxlingar NH <sub>3</sub>
~31	90/10	100/0
~73	12/72	84/16
~116	0/3	11/71
~158	0/0	0/26

I tabell B.12 redovisas andelen omkomna och svårt skadade utomhus vid medelstort och stort utsläpp. Förutom svårt skadade och omkomna kan även lindrig skadade förekomma.

**Tabell B.12.** *Andel omkomna och svårt skadade vid utsläpp av giftig gas (medelstort och stort utsläpp) för olika avstånd från utsläppspunkten, utomhus. Förutom omkomna och svårt skadade kan även lindrigt skadade förekomma.*

Avstånd (meter)	Andel omkomna/svårt skadade utomhus (%)	
	Medelstort utsläpp	Stort utsläpp
~6	100/0	100/0
~36-40	100/0	100/0
~50	91/9	100/0
~70	62/8	100/0
~100	11/72	100/0
~130	1/26	100/0
~150	0/26	100/0

## B.4 Konsekvenser vid olycka med brandfarlig vara (klass 3)

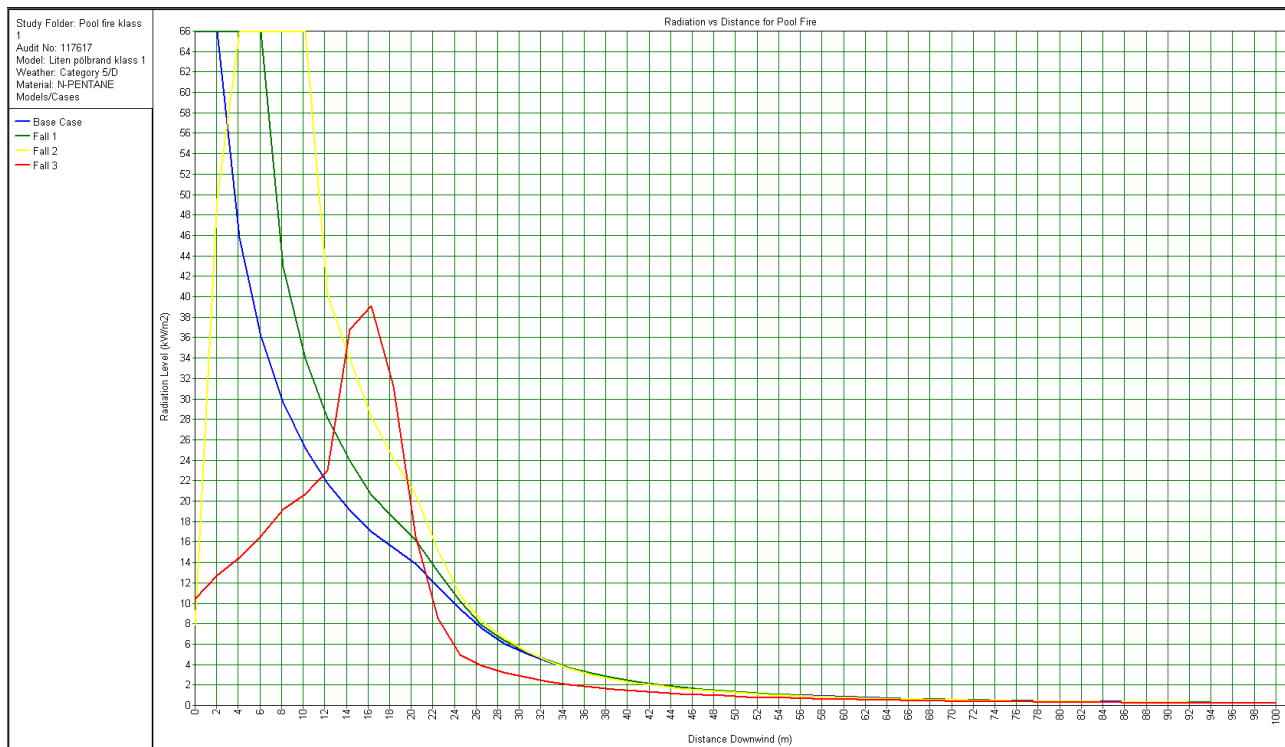
En tankbilsolycka som leder till utsläpp av brandfarlig vätska kan antändas och resultera i en pölbrand (brinnande vätska på marken). Beroende på utformning av området kring vägen kan vätskan antingen sprida sig närmre byggnader eller så kan en utspridning begränsas av exempelvis ett dike.

Det finns olika typer av brandfarlig vätska, vanligt förekommande är bensin och diesel. Bensin har en flampunkt under 21°C och kan antändas vid normala utomhusförhållanden medan brandfarlig vätska, av typen dieselolja, har högre flampunkt och förväntas inte antändas vid lägre temperatur än 55°C. Omkring 40 % av transporterade klass 3 produkter utgör väskor med låg flampunkt.

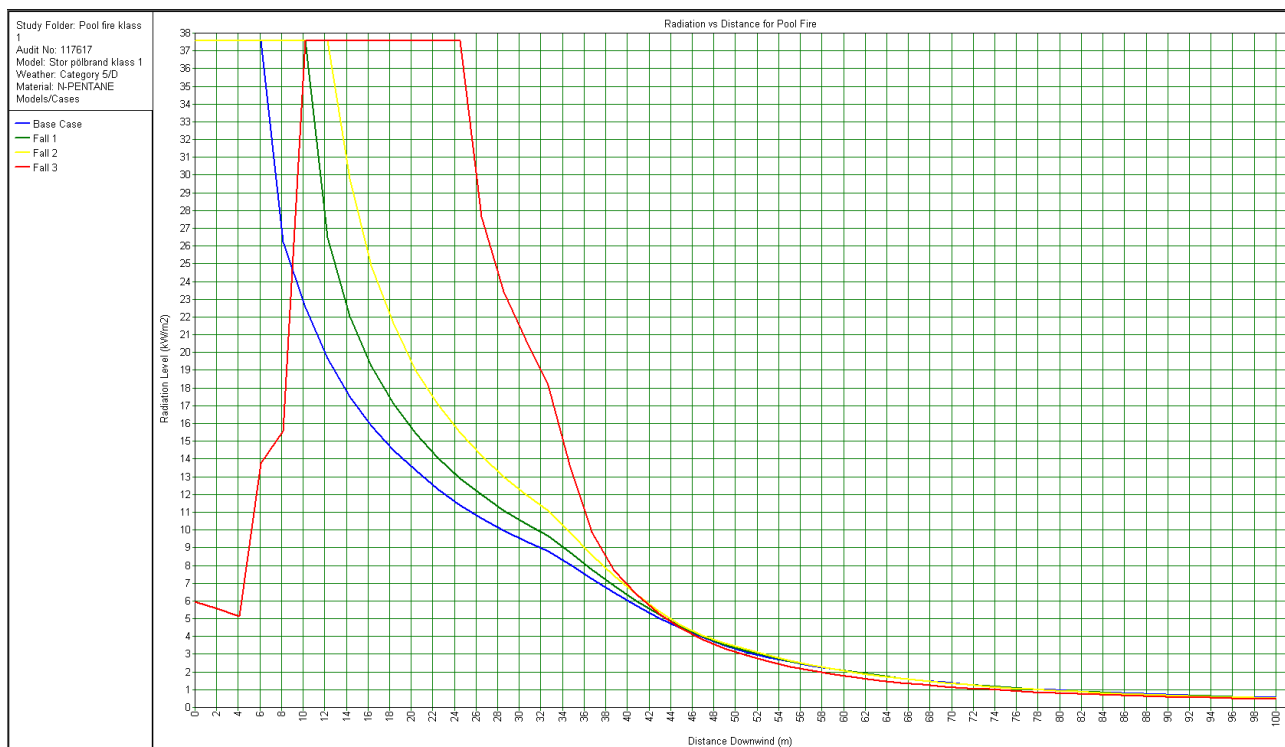
Ett utsläpp som inte antänds har främst en påverkan på miljön, skadliga konsekvenser för människor uppstår om vätskan antänds och bildar en pölbrand (brinnande vätska på marken). Hur stor pölbranden blir beror på storleken på utsläppet och pölens utbredning. Följande scenario har definierats:

- › Litet utsläpp: Bedöms inte ha någon påverkan på omgivningen
- › Medel utsläpp: Antas resultera i pölbrand på 50 m<sup>2</sup>
- › Stort utsläpp: Antas resultera i pölbrand på 200 m<sup>2</sup>

Strålningsnivåer som funktion av avstånd redovisas för 50 respektive 200 m<sup>2</sup> pölbrand i figur B.4 och B.5.



**Figur B.4.** Strålningsnivå i kW/m<sup>2</sup> på olika höjd över mark som funktion av avstånd. Brandscenario; pölbrand 50 m<sup>2</sup>, bensin, vind 5 m/s. De olika fallen beskriver strålningen på olika höjd över marken (Base Case= 0 m, Fall 1=2 m, Fall 2=5 m och Fall 3=15 m). Not: Avstånd (x-axel) räknas från centrum av pöl



**Figur B.5.** Strålningsnivå i kW/m<sup>2</sup> på olika höjd över mark som funktion av avstånd. Brandscenario; pölbrand 200 m<sup>2</sup>, bensin, vind 5 m/s. Not: Avstånd (x-axel) räknas från centrum av pöl

Strålningsnivåer för aktuella avstånd från transportled redovisas i tabell B.13.

**Tabell B.13.** Strålningsnivåer (avrundade värden i kW/m<sup>2</sup>) på marknivå respektive 15 meters höjd för brandarea 50 respektive 200 m<sup>2</sup>.

Brandarea (m <sup>2</sup> )	Strålning 0-20 m (kW/m <sup>2</sup> )	Strålning 20-50 m (kW/m <sup>2</sup> )	Strålning >50 m (kW/m <sup>2</sup> )
50	>10	1-10	<1
	>10-40	1-10	<1
200	>12	2-12	<2
	>24	2-24	<2

Nedan följer en sammanställning av olika effekter/symptom vid olika strålningsnivåer:

**Tabell B.14** Effekter/symptom vid olika strålningsnivåer.

Strålningsnivå	Effekt/symptom
6-7 kW/m <sup>2</sup>	Smärta efter ca 8 sekunders exponering
10-11 kW/m <sup>2</sup>	Smärta efter ca 3 sekunders exponering
13 kW/m <sup>2</sup>	Outhärdlig smärta efter 2-3 sekunders exponering
16 kW/m <sup>2</sup>	Blåsor och liknande brännskador uppstår efter ca 5 sekunders exponering
20 kW/m <sup>2</sup>	Outhärdlig smärta efter ca 1 sekunders exponering

Dessa strålningsnivåer kan jämföras med den strålning som normalt solsken avger vilket ligger i storleksordningen 0,6-0,7 kW/m<sup>2</sup>.

Långvarig strålning mot utrymmande personer får enligt Boverket inte överstiga nivåer om 2,5 kW/m<sup>2</sup>. Kortvarig strålning får inte överstiga 10 kW/m<sup>2</sup>.

Hur hög värmestrålning en person klarar av utan att erhålla skador beror bland annat på hur länge personen exponeras för strålningen. En person som blir varse en brand kommer troligtvis att försöka ta sig ifrån området och på så sätt kan graden av brännskada till viss del begränsas. Detta förutsätter dock att personen i fråga kan förflytta sig, blir varse branden samt reagerar tillräckligt fort för att kunna/hinna agera.

För byggnader finns följande gränsvärden beträffande strålning mot trä/brännbart material.



**Tabell B.15. Gränsvärden beträffande strålning.**

Strålningsnivå	Jämförelse/Gränsvärde
13 kW/m <sup>2</sup>	Antändning av trä vid närvaro av en liten flamma
20 kW/m <sup>2</sup>	Kriterie för överantändning i ett rum
29-30 kW/m <sup>2</sup>	Spontan antändning av trä i det fria

Om strålningsnivån mot en byggnad kan begränsas till maximalt 15 kW/m<sup>2</sup> i minst 30 minuter föreligger det enligt Boverkets byggregler (BBR) inga brandtekniska krav på byggnadens fasad.

Brandtekniskt oklassat glas tål generellt en strålningsnivå upp till 7.5 kW/m<sup>2</sup> innan kollaps.

## B.5 Konsekvenser vid utsläpp av oxiderande ämne

Till klass 5 hör oxiderande ämnen (klass 5.1) och organiska peroxider (klass 5.2) som vid upphettning, kontakt med organiska ämnen (t.ex. bensin eller motorolja) eller vid mycket kraftiga stötar kan få tillräckligt med energi för att spontant börja reagera och därefter orsaka brand eller i värsta fall explosion. Om ämnet, vid en olycka, endast läcker ut föreligger normalt ingen risk för personskada. Explosionsrisk föreligger ifall oxiderande ämne läcker ut och blandas med exempelvis fordonsbränsle, vilket kan ske ifall fordonstanken även skadas vid en olycka eller om andra fordon är inblandade.

Maximalt kan en explosiv blandning motsvarande ca 3 ton erhållas vid en olycka och konsekvenserna är lika de som uppstår vid olycka med massexplosiva ämnen.

Utöver explosion kan även en brand inträffa men konsekvensen (antalet omkomna) för ett sådant händelseförlopp bedöms vara relativt begränsad och ingår inte i de beräkningar som genomförs. I denna analys används en explosion, motsvarande 200 kg som dimensionerande scenario för olycka med oxiderande ämnen.

Utifrån beräkningar och antaganden som genomförts för massexplosiva ämnen görs följande bedömning beträffande antalet omkomna personer. Utöver dödsfall kan även personer skadas. Personskada kan uppkomma på grund av det direkta trycket men även av raserade väggar och tak, omkringflygande material och glassplitter. Personer kan även skadas av att de kastas omkull av tryckvågen.

**Tabell B.16** *Andel omkomna av personer som befinner sig utomhus respektive inomhus på olika avståndsintervaller från en eventuell olycka med klass 5.1 produkter som resulterar i explosion motsvarande 200 kg. För bakgrund till bedömning hänvisas till kapitel om massexplosiva ämnen.*

Andelen omkomna	Ute	Inne
0-25 m	1	0,15
25-50m	1	0,05
50-75 m	0	0,01
75-100 m	0	0
100-250 m	0	0

Andel omkomna är behäftat med osäkerhet på grund av att det inte med säkerhet går att förutsäga det exakta händelseförloppet.

För jämförelse till beräkningar finns de uppgifter som sammanställs i Göteborgs översiktsplan (GÖP, 1999). Enligt Göteborg översiktsplan beräknas dödliga skador ske inom 30 meter och väggar kan raderas inom 70 meter ifrån explosionen med oxiderande ämnen.

## Bilaga C – Känslighetsanalys

## Bilaga C - Känslighetsanalys

Riskanalyser innefattar ett betydande mått av osäkerhet på grund av bland annat litet statistiskt underlag över olyckor, i viss mån antaganden om persontäthet samt variabel konsekvens på grund av till exempel olika vädersituationer vid olyckstillfället.

Resultatet av analysen bygger på ett antal ansatser beträffande trafikunderlag för farligt gods, olycksscenario, olycksfrekvenser, mm. Utgångspunkten i gjorda antaganden och bedömningar har varit att dessa så långt som möjligt skall ”spegla den verkliga situationen” eller, i vissa fall, vara medvetet konservativa. Med begreppet "konservativa" avses här att bedömningarna leder till att risknivån överskattas. Målet är att erhålla en balanserad samlad bedömning.

Exempel på områden som kan påverka resultatet är:

- › Farligt gods (mängd, ämnen)
- › Omgivning (verksamheter, markanvändning och befolkningsmängd)
- › Olycksstatistik
- › Konsekvenser (brand, explosion, giftig gas, väderlek, topografi)
- › Metod för beräkning av risk

Genom att genomföra olika simuleringar och variera valda parametrar och situationer kan man få en bild om vad som mest påverkar resultatet.

Nedan diskuteras och presenteras några av de variabler och resultat som behandlats för att få en uppfattning om robustheten i de bedömningar som görs.

### **Farligt gods:**

Mängder/ämnen som transporteras kan variera. Beräkningarna utgår ifrån olika källor vilka har räknats upp med 20 % för att representera antalet transporter år 2025. Uppräkningen av transporterat farligt bedöms som konservativ. Det finns inga prognoser som bekräftar en ökning av godstransporterna varför ytterligare känslighetsanalys inte genomförts.

**Omgivning:**

Hur många personer som befinner sig på området kan ha stor påverkan på resultatet för samhällsrisk. Störst påverkan har antaganden om människor som befinner sig utomhus nära väg-/järnvägsområdet. Bedömningen är att uppskattningar om personintensiteten är robust och speglar föreslaget användningsområde.

**Olycksfrekvens:**

För resonemang och bedömningar kring olycksfrekvens hänvisas främst till bilaga A.

**Konsekvenser:**

Konsekvenserna av vissa händelser, t ex utsläpp av brandfarlig gas, är beroende på hur händelsen utvecklas - omedelbar antändning, fördröjd antändning av gasmoln, etc. Sannolikheter för dessa scenarier är baserade på tidigare COWI studier och beräkningar som genomförts i olika simuleringsprogram. Dessa ansatser stämmer i många fall väl överens med de ansatser som gjorts i (VTI, 1994) och Översiktsplan för Göteborg fördjupad för sektorn transporter av farligt gods.

Generellt gäller att uppskattning av de konsekvenser som kan uppstå i form av omkomna och skadade personer i händelse av en farligt godsolycka baseras på Översiktsplan för Göteborg fördjupad för sektorn transporter av farligt gods, beräkningar utförda i Bfk (RIB, 2012) samt beräkningar i enlighet med de som beskrivs i bilaga B.

**Metod för beräkning av risk:**

I arbetet har, förutom ovan redovisad data, ytterligare ett antal ansatser gjorts som påverkar slutresultatet. Några av dessa redovisas nedan.

Indelning i analysområde

Vid beräkning av olycksfrekvenser har antagits att en olycka ska inträffa inom det studerade området för att påverka detta område. För händelser med stora konsekvensavstånd, t ex olycka med giftig gas, har frekvensfaktorn multiplicerats upp för att ta hänsyn till att det studerade området kan påverkas även av händelser utanför området.

Antagen placering av ”olyckscentrum”

Vid beräkning av samhälls- och individrisk har olyckan antagits inträffa på den ur risksynpunkt värsta punkten, d.v.s. mitt framför det studerade området.

## Scenarioutveckling

Förutom inledande olycksfrekvenser så påverkas resultatet av de scenarioutvecklingar som antagits. Möjliga händelseutvecklingar och sannolikheter för dessa redovisas i Bilaga A och Bilaga B samt har diskuterats under ”Konsekvenser” ovan.

## C.1 Diskussion kring skadade personer

I analysen har beräkningar baserats på bedömt antal *omkomna* vid olika olycksscenario. Det finns två huvudanledningar till detta:

- › De kriterier som används är baserade på antal omkomna
- › Tillgängliga beräkningsverktyg för att beräkna individrisk, och samhällsrisk i form av FN-kurvor beräknar antal omkomna.

Fördelarna med detta ligger i tydlighet och möjlighet att jämföra med andra risker i samhället. Nackdelar är att:

- › Samhället är utsatt för både dödsfalls- och skaderisker.
- › Vid vissa olyckor, t.ex. utsläpp av toxisk gas, kan antalet dödsfall vara begränsat, medan antalet skadade människor kan vara stort och betydligt högre än t.ex. vid en brandolycka.

Det skulle därför i princip vara önskvärt att kriterier för värdering av risk tog hänsyn till både skade- och dödsfallsrisker. Några olika metoder för detta har prövats internationellt:

- › Begreppet “motsvarande dödsfall” (användes bl.a. i Groningenkriteriet - ett tidigt Holländskt riskkriterium). Antalet skadade adderas där till antalet dödsfall genom bruk av viktfactorer, t.ex. 0,01 för lätt skadad och 0,1 för permanent skada.
- › Begreppet “farlig dos” som används i Storbritannien (HSE) istället för dödsfall i samband med kriterier för den fysiska planeringen. En “farlig dos” är definierad att orsaka följande effekter:
  - › Stora smärtor hos nästan alla personer.
  - › En stor del av de utsatta behöver läkarvård.
  - › Några personer är allvarligt skadade och behöver förlängd medicinsk vård.
  - › Några mycket känsliga personer kan omkomma.

Detta kräver dock att en “farlig dos” måste definieras för varje ämne.

- › Konsekvenskriterier som används i Australien (NSW kriterier). Dessa definierar skador i form av nivåer för värmestrålning, explosionsövertryck och exponering av toxisk gas. Den individuella skaderisken skall inte vara större än 10 till 50 gånger dödsfallsrisken, beroende på skadans allvarlighet.

Även om dessa metoder har den fördelen att de tar hänsyn till skadeeffekter så har de också vissa nackdelar:

- › Skada är ett begrepp som inte är lika klart definierat som dödsfall, eftersom skador kan vara olika allvarliga. Därmed måste skadefallskriterier definieras på ett mycket mer detaljerat sätt än dödsfallskriterier, vilka normalt förutsätter att "dödliga doser" finns definierade.
- › Riskanalyser och riskkriterier har utvecklats mot att beakta dödsfallsrisker och ett skadefallskriterium är därför svårt att jämföra med dessa.

Det bör också påpekas att även om det kan vara önskvärt att beakta skador på ett mer konkret sätt än vad som normalt görs i kvantitativa riskanalyser så finns det en koppling mellan antalet dödsfall och antalet skador, även om denna relation är olika för olika olyckstyper. Genom att kontrollera risk för dödsfall utövas därmed även, om än indirekt, kontroll över risk för skador.

För att *exemplifiera* förhållandet mellan omkomna och skadade ges nedan en kort sammanställning av några inträffade händelser och utredningar. *Man ska observera att händelserna/utredningarna är valda enbart för att ge exempel på förhållande mellan omkomna och skadade och inte för att de anses specifikt relevanta för den aktuella etableringen.*

#### Olycka med brandfarlig vara

Ett antal lastbilsolyckor med brandfarlig vara har inträffat både i Sverige och utomlands. Exempel på händelser i Sverige är Falkenberg 2005 och Kungälv 2012. Vid dessa händelser har lastbilsföraren omkommit medan övriga personer fått inga eller lindriga skador. Dessa händelser inträffade dock inte i tätbebyggt område. Förutsatt att brandspridning till omgivningen förhindras bedöms dock att antalet skadade personer kommer att vara lågt vid denna typ av händelser.

#### Olycka med brandfarlig gas

I Viareggio i Italien inträffade år 2009 en järnvägsolycka där en gasolvagn skadades och gas läckte ut. Gasen spreds bland småhusbebyggelse, antändes och orsakade en explosion med efterföljande brand. Omkring 1 000 personer i området kring stationen evakuerades eftersom det fanns risk att ytterligare tankar skulle rämna på grund av brandpåverkan. Händelsen resulterade i 32 omkomna och 26 skadade personer.

#### Olycka med giftig gas

I februari år 2005 spårade ett godståg med 780 ton klor i tolv vagnar ur i Ledsgård norr om Kungsbacka. Fyra av vagnarna skadades men något läckage uppstod ej.

I den utredning som FOI genomförde beräknades skadeutfall vid olika tänkbara scenarier (FOI, 2007). För det fall som betecknades som ”dimensionerande”, där en järnvägsvagns innehåll (ca 60 ton) antogs läcka ut under en timma bedömdes antalet omkomna, svårt skadade och lätt skadade till 1, 50 respektive 200.



## Bilaga D – Beräkning mekanisk konflikt

## Bilaga D – Mekanisk konflikt

Beräkningarna avseende sannolikhet för mekanisk konflikt mellan urspårat tåg och byggnader baseras på *Structures built over railway lines – Construction requirements in the track zone* (IUR, 2002).

Frekvensen för kollision mellan urspårad tåg och byggnad beräknas enligt:

$$F_1 = F_2 * P_1$$

där

$F_1$  = frekvens för kollision mellan urspårad tåg och byggnad

$F_2$  = frekvens för urspårning i anslutning till bebyggelse

$P_1$  = sannolikhet att tåg kolliderar med byggnad

### Frekvens för urspårning i anslutning till bebyggelse

$$F_2 = e_r * d * Z_d * 365 * 10^{-3}$$

där

$e_r$  = urspårningsfrekvens per tåg km (6,7E-07 per tåg km)

$d$  = den längsta sträcka som den urspårade vagnen kan gå längs med spåret, vilket beräknas som  $V^2/80$ , där  $V$  är tågets hastighet (km/h) vid urspårningstillfället ( $V = 70$  km/h)

$Z_d$  = antal tåg per dygn (50 st)

Beräknad frekvens:

$$F_2 = 7,5E-04 \text{ per år}$$

### Sannolikheten att urspårat tåg kolliderar med byggnad

$$P_1 = \left(\frac{b-a}{b}\right)^2 * 0,5 * \frac{c}{d}$$

där

d = se ovan

b = det maximala vinkelräta avståndet (m) från spåret som vagnen kan hamna, vilket beräknas som  $V^{0,55}$  ( $V = 70$  km/h)

a = vinkelrätt avstånd (m) mellan spårmittpunkt och byggnad

c = det, längs spåret, parallella avståndet inom vilket byggnad löper risk att träffas av urspårad vagn på ett avstånd a, vilket beräknas med ekvationen:

$$c = \frac{d}{b} * (b - a) \text{ om } b > a, \text{ annars blir } c = 0$$

### Resultat

Vinkelrätt avstånd i meter (parameter a ovan)	Frekvens mekanisk konflikt (per år)
0	3,74E-04
1	2,76E-04
2	1,97E-04
3	1,34E-04
4	8,64E-05
5	5,17E-05
6	2,78E-05
7	1,27E-05
8	4,37E-06
9	8,26E-07
10	1,41E-08
11	0
12	0
13	0
14	0
15	0
16	0
17	0
18	0
19	0