

# PM Farligt gods Trafikplats Tollered

Lerums kommun, Västra Götalands län

Vägplan, 2018-03-29

Projektnummer: 106595



Dokumenttitel: PM Farligt Gods

Skapat av: Oscar Lindén

Dokumentdatum: 2018-03-29

Dokumenttyp: Rapport

Projektnummer: 106595

Version: 1.0

Utgivare: Trafikverket

Kontaktperson: Anders Nordeman

Uppdragsansvarig: Carl Stenberg, ÅF-Infrastructure AB

Distributör: Trafikverket, Kruthusgatan 17, 411 04 Göteborg, telefon: 0771-921 921

# Innehåll

1 Inledning .....	5
1.1 Områdesbeskrivning .....	5
1.2 Metod.....	6
1.3 Bedömningskriterier risk i samhällsplanering.....	7
1.4 Avgränsningar .....	9
1.5 Styrande lagstiftning och riktlinjer.....	9
2 Skyddsobjekt.....	10
2.1 Persontäthet.....	10
3 Riskobjekt .....	11
3.1 Trafikmängd väg E20 .....	11
3.2 Fördelning av farligt gods .....	11
3.3 Sannolikhet för olycka med farligt gods.....	12
4 Konsekvenser olycka med farligt gods.....	14
4.1 Olycksscenario.....	14
4.1.1. Explosiva ämnen (klass 1) .....	14
4.1.2. Kondenserad brandfarlig gas (klass 2.1).....	14
4.1.3. Kondenserad giftig gas (klass 2.3) .....	15
4.1.4. Brandfarlig vätska (klass 3) .....	15
4.1.5. Brandfarliga fasta ämnen, självreaktiva ämnen och okänsliggjorda explosivämnen (klass 4) .....	16
4.1.6. Oxiderande ämne (klass 5) .....	16
4.1.7. Giftiga och smittbärande ämnen (klass 6).....	16
4.1.8. Radioaktiva ämnen (klass 7).....	16
4.1.9. Frätande ämne (klass 8) .....	17
4.1.10. Övriga farliga ämnen och föremål (klass 9).....	17
4.2 Sammanfattning olycksscenario farligt gods.....	17
5 Resultat individrisk.....	18
6 Resultat samhällsrisk.....	20
7 Känslighets- och osäkerhetsanalys .....	21
7.1 Känslighetsanalys .....	21
7.2 Osäkerhetsanalys.....	21
8 Bedömning och behov av skyddsåtgärder .....	22
9 Slutsatser.....	24
Referenser .....	25
10 Bilaga A – Frekvensberäkning .....	27
10.1 Trafikolycka väg.....	27

10.2 Olycka explosiva ämnen .....	28
10.3 Olycka brandfarlig gas.....	29
10.4 Olycka giftig gas.....	31
10.5 Olycka brandfarlig vätska .....	32
10.6 Olycka med oxiderande ämne .....	33
11 Bilaga B – Konsekvensberäkning .....	35
11.1 Olycka med explosiva ämnen .....	35
11.2 Olycka brandfarlig gas .....	38
11.3 Olycka giftig gas .....	40
11.4 Olycka brandfarlig vätska .....	45
11.5 Olycka med oxiderande ämne.....	48

# 1 Inledning

Trafikverket planerar att bygga om väg E20 i Västra Götaland till helt mötteseparerad väg. Som ett delprojekt ingår att höja säkerheten för den befintliga anläggningen förbi Trafikplats Tollered. Denna sträcka är byggd på 1950-talet men nu planeras en ombyggnation som påverkar den befintliga utformningen för väg E20. Befintliga av- och påfarter kommer att förlängas medan överbyggnad och tvärfall förändras med vägens nya utbredning. Då väg E20 är en primär led för transporter av farligt gods kommer krav om utredning av personrisker från Länsstyrelsen vilket således är syftet med detta PM.

Specifikt undersöks följande frågeställningar:

- Vilka risknivåer orsakar transport av farligt gods på E20?
- Krävs skyddsåtgärder eller skyddsavstånd för att nå acceptabla risknivåer idag och/eller i framtiden?

## 1.1 Områdesbeskrivning

Vägplanområdet är en 1,1 kilometer lång sträcka som inleds i höjd med Stålebäckens korsning med väg E20 och sträcker sig till vägens korsning med Tollereds ström, se Figur 1. Omgivningarna längs stora delar av sträckan är glesbefolkad, däremot har samhället Tollered ungefär 900 invånare. Bebyggelsen närmast väg E20, i samhället Tollered, består av en del bostäder, en restaurang och ett hotell med tillhörande parkeringsplatser. De två vattendragen mynnar i sjön Sävelången som är klassificerad som naturvärdesklass 1 och fiskevårdsområde.

Topografin i området är varierande. För de delar av vägsträckan som går genom samhället Tollered lutar marken ner mot Båt-Johans väg, Nääs Fabriker och deras parkeringsplatser och i förlängningen mot sjön Sävelången. Ett plötsligt utsläpp av stora mängder vätska på denna del av vägbanan skulle sannolikt transporteras detta håll. I samband med framtagande av vägplan undersöks därför kostnad och nytta med ett fördröjningsmagasin vid Båt-Johans väg i höjd med Nääs Fabriker för att kunna ta upp stora mängder miljöfarlig vätska. Beräkningarna i denna utredning utgår dock ifrån att planerna på fördröjningsmagasinet inte verkställs.

Delar av sträckan genom samhället Tollered går på en bro varpå bullerskyddsskärmar planeras att föras upp på båda sidor av vägen som komplement till de befintliga bullerskyddsskärmar längre norrut.



Figur 1. Utredningsområdet för vägförslag för ombyggnation av väg E20 vid Trafikplats Tollered syns markerat med gult. Blåmarkerat är vattendrag som mynnar i sjön Sävelången.

## 1.2 Metod

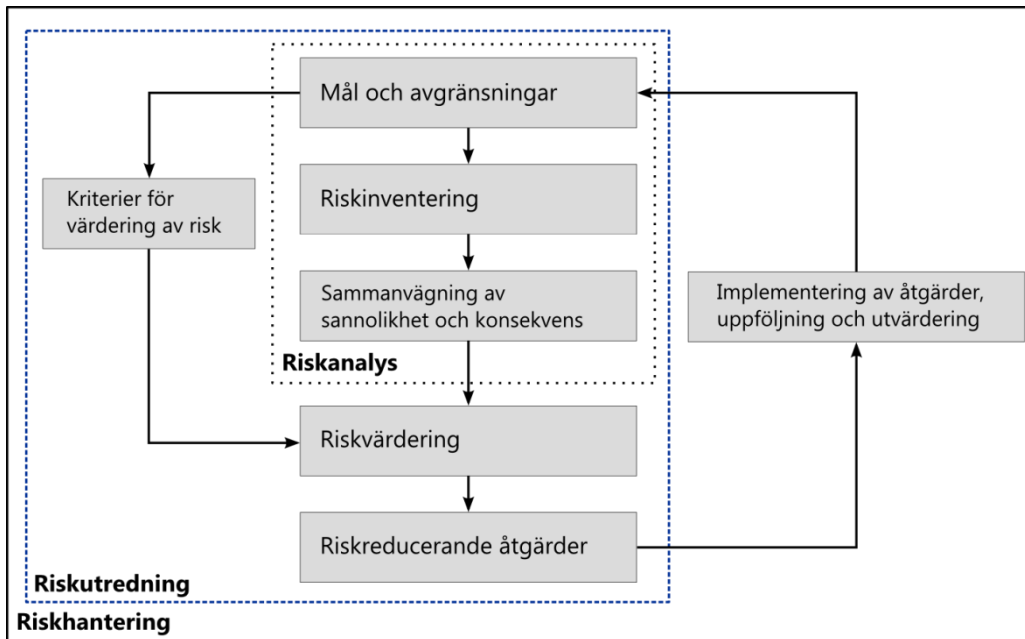
Att genomföra en **riskutredning** innebär i sig flera olika delmoment. Först görs en **riskanalys** som inleds genom att *mål och avgränsningar* bestäms för den aktuella analysen. Också de principer för hur risken ska värderas definieras. Därefter tar *riskinventeringen* vid, som syftar till att definiera de scenarier som är specifika för den studerade processen. Därefter görs en *sammanvägning av sannolikhet och konsekvensen* för de identifierade representativa scenarierna, för att kunna värdera risknivån.

I *riskvärderingen* jämförs resultatet från riskanalysen med principer för hur risken ska värderas, för att komma fram till om risken är acceptabel eller inte. Baserat på resultatet av riskvärderingen analyseras behovet av *riskreducerande åtgärder*.

Riskutredningen är en regelbundet återkommande del av den totala **riskhanteringsprocessen** där en kontinuerlig implementering av riskreducerande åtgärder, uppföljning av processen och utvärdering av resultatet är utmärkande.

Figur 2 nedan ger en visuell representation av ovanstående beskrivning.

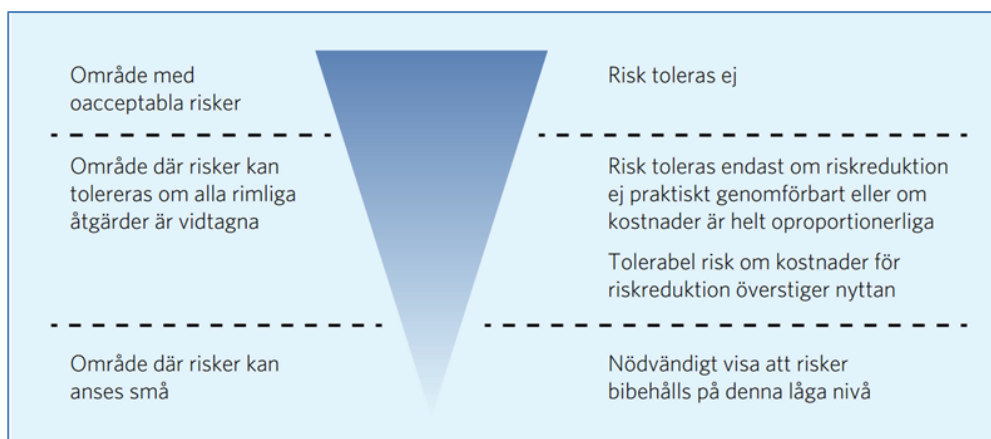
Riskutredningens metodik följer den översiktligt föreslagna i *Olycksrisker och MKB* (MSB, 2012) samt de riktlinjer som Länsstyrelserna i Skåne, Stockholm och Västra Götaland tagit fram (2006).



Figur 2. Illustration av riskhanteringsprocessen. Denna riskutredning innefattar det som är markerat med blå streckad linje.

### 1.3 Bedömningskriterier risk i samhällsplanering

I Sverige finns det inget nationellt beslut över vilka kriterier som ska tillämpas vid riskvärdering i samhällsplaneringsprocessen. Det Norske Veritas har på uppdrag av Räddningsverket (numera MSB) tagit fram förslag på acceptanskriterier avseende individ- och samhällsrisk som kan användas vid riskvärdering (Värdering av Risk, 1997). Acceptanskriterierna avser frekvensen att omkomma. Beroende på storlek kan risken vara acceptabel, acceptabel om rimliga riskreducerande åtgärder införs eller oacceptabla, se Figur 3 nedan.



Figur 3 Principiella kriterier för riskvärdering.

Följande förslag till tolkning rekommenderas.

- De risker som hamnar inom område med oacceptabla risker värderas som oacceptabelt stora och tolereras ej. För dessa risker behöver mer detaljerade analyser genomföras och/eller riskreducerande åtgärder vidtas tills risken kan anses acceptabel.
- Området i mitten kallas ALARP-området (As Low As Reasonably Practicable). De risker som hamnar inom detta område värderas som tolerabla om alla rimliga åtgärder är vidtagna. Risker som ligger i den övre delen, nära gränsen för oacceptabla risker, tolereras endast om nyttan med verksamheten anses mycket stor och det är praktiskt omöjligt att vidta riskreducerande åtgärder. I den nedre delen av området bör kraven på riskreduktion inte ställas lika hårda, men möjliga åtgärder till riskreduktion ska beaktas. Ett kvantitativt mått på vad som är rimliga åtgärder kan erhållas genom kostnad-nytta-analys.
- De risker som hamnar inom område där risker kan anses små värderas som acceptabla. Dock skall möjligheter för ytterligare riskreduktion undersökas. Riskreducerande åtgärder som med hänsyn till kostnad kan anses rimliga att genomföra skall genomföras.

För individrisk föreslår Räddningsverket (Davidsson, Göran; Lindgren, Mats; Mettler, Liane, 1997) följande kriterier:

- Övre gräns för område där risker under vissa förutsättningar kan tolereras:  $10^{-5}$  per år
- Övre gräns för område där risker kan anses vara små:  $10^{-7}$  per år

Som komplement till acceptanskriterierna brukar följande fyra principer användas.

- **Rimlighetsprincipen:** En verksamhet bör inte innebära risker som med rimliga medel kan undvikas. Detta innebär att risker som med teknisk och ekonomiskt rimliga medel kan elimineras eller reduceras alltid skall åtgärdas, oavsett risknivå.
- **Proportionalitetsprincipen:** De totala risker som en verksamhet medför bör inte vara oproportionerligt stora jämfört med de fördelar som verksamheten medför.
- **Fördelningsprincipen:** Riskerna bör vara skäligt fördelade inom samhället i relation till de positiva effekter som verksamheten medför. Detta innebär att enskilda personer eller grupper inte bör utsättas för oproportionerligt stora risker i förhållande till de fördelar som verksamheten innebär för dem.
- **Principen om undvikande av katastrofer:** Riskerna bör hellre realiseras i olyckor med begränsande konsekvenser som kan hanteras av tillgängliga beredskapsresurser än i katastrofer.



## 1.4 Avgränsningar

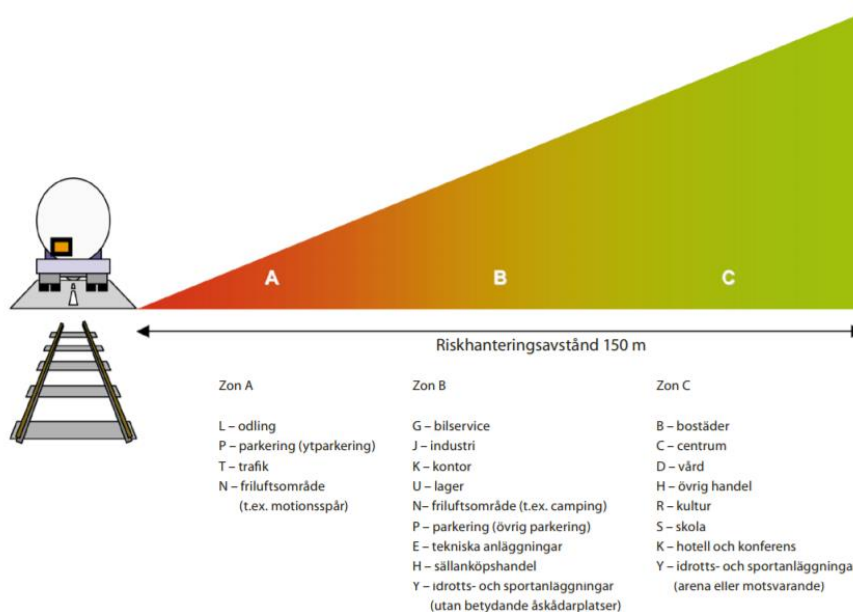
De risker som studeras är sådana som är förknippade med plötsligt inträffade händelser (olyckor) som har sitt ursprung i transporter av farligt gods. Generellt studeras enbart risker som kan innebära konsekvenser i form av personskada på personer inom det studerade området.

Trafikolyckor med konsekvenser endast för de som färdas på vägen avhandlas ej.

## 1.5 Styrande lagstiftning och riktlinjer

Det generella kravet på riskanalyser i samhällsplaneringen har sin grund i Plan- och bygglagen (2010:900) och i vissa fall också Miljöbalken (1998:808), där det anges att människors hälsa och miljön ska skyddas mot störningar.

Det anges dock inte i detalj hur riskanalyser ska genomföras och vad de ska innehålla. På senare tid har rekommendationer getts ut av Länsstyrelserna i Skåne, Stockholms samt Västra Götalands län i det gemensamma dokumentet *Riskhantering i detaljplaneprocessen* (2006), se Figur 4. Detta dokument behandlar vilka typer av riskanalyser som bör utföras och vilka krav som ställs på dessa. I denna utredning har dessa riktlinjer beaktats. I dokumentet anges bland annat att riskhanteringsprocessen ska beaktas i planprocesser inom 150 meter från en transportled för farligt gods.



Figur 4 Länsstyrelserna i Skåne, Stockholms och Västra Götalands län gemensamma riktlinjer för Riskhantering i detaljplaneprocessen (2006).

Avsteg från rekommendationerna kan ske efter analys av specifik information för aktuellt planområde och/eller riskanalys samt då lämpliga riskreducerande åtgärder vidtas.

## 2 Skyddsobjekt

Människors hälsa är det enda skyddsobjekt som undersöks i denna utredning.

### 2.1 Persontäthet

I beräkningarna för persontäthet används 900 personer som maximal personbelastning. Det största beräknade skadeområdet används för att beräkna persontätheterna. Dessa personer antas befinna sig inom och utom området samt vara fördelade mellan inomhus och utomhus enligt siffror presenterade i 'Purple book' (Drs. P.L.B.A van Geel, 2005).

*Tabell 1: Andel personer inomhus och utomhus vid olika tider på dygnet. Grundantaganden har erhållits från 'Purple book' (Drs. P.L.B.A van Geel, 2005) och ändrats i mindre omfattning för att anpassas till vägplanens omgivning. Dygnsmedel persontäthet per kvadratmeter för inomhus respektive utomhus används i beräkningarna.*

<i>Tid på dygnet</i>	Dagtid	Natttid	Dagtid	Natttid
<i>Inomhus/utomhus</i>	Inomhus	Inomhus	Utomhus	Utomhus
<i>Andel personer av maximal personbelastning</i>	65 %	93 %	8 %	3 %
<i>Persontäthet</i>	$6,1 \cdot 10^{-4}$	$8,7 \cdot 10^{-4}$	$7,5 \cdot 10^{-5}$	$2,8 \cdot 10^{-5}$
<i>Dygnsmedel för persontäthet</i>	$7,4 \cdot 10^{-4}$		$5,2 \cdot 10^{-5}$	

## 3 Riskobjekt

I detta kapitel presenteras de mängder och klasser av farligt gods som transporteras på väg E20 förbi Trafikplats Tollered. De mycket små mängder av farligt gods som transporteras på av- och påfartsramperna vid trafikplatsen anses försumbara i förhållande till trafikmängden på huvudleden.

### 3.1 Trafikmängd väg E20

År 2040 bedöms årsmedelsdygnstrafiken (ÅDT) på den aktuella sträckan vara 27 031 fordon (Trafikverket, Sammanställning trafikprognos, 2017). Enligt samrådsunderlaget (Trafikverket, Samrådsunderlag, 2017) är andelen tung trafik av totaltrafik för sträckan cirka 12,5 %. Transporter av farligt gods utgör i Sverige cirka 3,6 % av tung trafik (Vikman, 2017). Det finns därmed goda skäl att anta att denna siffra även gäller för den aktuella sträckan. Dessa trafikmängder presenteras i Tabell 2.

Tabell 2: Trafikverkets uppskattning av totaltrafik (ÅDT) år 2040 tillsammans med beräknade värden för tung trafik och transporter av farligt gods.

År	ÅDT – totaltrafik	ÅDT – Tung trafik	ÅDT – Farligt gods
2040	27031	3379	122

### 3.2 Fördelning av farligt gods

Väg E20 ingår i det så kallade Transeuropeiska transportnätet (TEN-T) som utgörs av Europas viktigaste vägar. Sträckan förbi Trafikplats Tollered är därtill en primär led för farligt gods vilket gör att det inte finns några inskränkningar eller begränsningar i vilka transporter som får framföras på vägen.

Produkter som har potentiella egenskaper att skada människor, egendom eller miljö vid felaktig hantering eller olycka, går under begreppet farligt gods. Farligt gods på väg delas in i nio olika huvudklasser (ADR) beroende av art och vilken risk ämnet förknippas med. Eftersom klasserna utgör en god indelningsgrund vid en riskinventering delas transporter in i dessa klasser även i denna utredning.

Statistik för transporter av farligt gods på väg E20 har inhämtats från myndigheterna Trafikanalys (Vikman, 2017) och från MSB (dåvarande Räddningsverket, 2006). Utifrån dessa två källor har en fördelning av de olika klasserna av farligt gods tagits fram, vilken presenteras i Tabell 3. Konsekvenserna vid en olycka med respektive klass av farligt gods presenteras i avsnitt 4.1 Olycksscenario.

Tabell 3: Fördelning av farligt gods på väg E20 förbi Tollered. Fördelningen är resultatet av en sammanställning från statistik från myndigheterna MSB (Räddningsverket, 2006) och Trafikanalys (Vikman, 2017).

ADR	Kategori	Andel [%]
1	Explosiva ämnen	0,09
2.1	Brandfarlig gas	2,4
2.2	Trycksatt, icke brandfarlig icke giftiga gaser	5,9
2.3	Giftig gas	0,01*
3	Brandfarlig vätska	44
4.1	Brandfarliga fasta ämnen	0,36
4.2	Självantändande ämnen	0,11
4.3	Ämnen som utvecklar brandfarlig gas vid vattenkontakt	0,12
5	Oxiderande ämnen	0,65
6	Giftiga eller smittförande ämnen	0,31
7	Radioaktiva ämnen	-
8	Frätande ämnen	15,46
9	Övriga farliga ämnen och föremål	30,6
	Totalt	100

\* Enligt statistik transporteras det ingen eller nästan ingen giftig gas förbi Trafikplats Tollered. Giftig gas inkluderas ändå i beräkningarna för att ta höjd för en potentiell framtida förändring av transporter.

### 3.3 Sannolikhet för olycka med farligt gods

För att beräkna sannolikheten för olycka med farligt gods används den modell som tagits fram av MSB, dåvarande Räddningsverket (Räddningsverket, 1996). För denna metod används data om vägens egenskaper som underlag för att beräkna sannolikheten för farligt gods-olycka, tillsammans med ÅDT total trafik (årsmedeldygnstrafik) och för tung trafik. För väg E20 förbi Trafikplats Tollered används de data som presenteras i Tabell 4.

Tabell 4: Data för beräkning av frekvens för olycka med farligt gods på väg E20 förbi Trafikplats Tollered.

Variabel	Förklaring	Scenario	Kommentar
$P_{olycka}$	Frekvens olycka	[olyckor/år]	Beräknas
$N$	ÅDT år 2040	27 031	ÅDT totaltrafik
$Q$	Olyckskvot, antal fordonsolyckor per miljoner fordonskilometer	0,28	Enligt Räddningsverket (1996) 110 km/h motortrafikled och flerfältsväg
$s$	Vägavsnittets längd	1,1 km	-
$Y$	Andel singelolyckor	0,5	Enligt Räddningsverket (1996) 110 km/h motortrafikled och flerfältsväg
$X$	Andel fordon skyltade med farlig gods	$4,5 \cdot 10^{-3}$	Beräknat utifrån uppgifter från Trafikverket (Trafikverket, Sammanställning trafikprognos, 2017).
365	Antal dagar per år	-	-
$FG$	Totala antalet transporter med farligt gods på väg E20 per år	44 400	-

Detta används sedan för att beräkna frekvensen för olycka med farligt gods på den aktuella sträckningen på väg E20 med ekvationen nedan.

$$P_{olycka} = N \cdot Q \cdot 10^{-6} \cdot s \cdot 365 \cdot ((Y \cdot X) + ((1 - Y)(2X - X^2))) \cdot I_{FG}$$

## 4 Konsekvenser olycka med farligt gods

Nedan redogörs för de olycksscenario som är möjliga för respektive klass av farligt gods. Varje avsnitt avslutas med en bedömning av om motsvarande klass är motiverat att vidare analysera i riskutredningen med avseende på personriskerna.

### 4.1 Olycksscenario

#### 4.1.1. Explosiva ämnen (klass 1)

Inom kategorin explosiva ämnen är det primärt underklass 1.1 som utgörs av massexplosiva ämnen som har ett skadeområde på människor större än ett 10-tal meter. Skadeområden upp till 75 meter kan förekomma med maximal tillåtna transporterade mängder. Exempel på sådana varor är sprängämnen, krut mm. Risken för explosion föreligger vid en brand i närheten av dessa varor samt vid en kraftfull sammanstötning där varorna kastas omkull. Skadorna vid en explosion härrör dels till direkta tryckskador men även värmestrålning samt indirekta skador som följd av sammanstörtade byggnader är troliga. Skadorna vid påverkan på varor av klass 1.2 till 1.6 ger inte samma effekt utan rör sig mer om splitter eller dylikt som flyger iväg från olycksplatsen (VTI, 1994).

Bedömning: Givet att regelverket kring transport av explosiva ämnen är mycket strikt, bedöms sannolikheten för explosion med explosiva ämnen som mycket låg, men inkluderas ändå i beräkningarna.

#### 4.1.2. Kondenserad brandfarlig gas (klass 2.1)

Gasol (propan) är det vanligaste exemplet på kondenserad brandfarlig gas. En olycka som leder till utsläpp av kondenserad brandfarlig gas kan leda till någon av följande händelser:

- Jetbrand
- Gasmolnsbrand/explosion
- BLEVE

Jetbrand:

En jetbrand uppstår då gas strömmar ut genom ett hål i en tank och direkt antänds. Därmed bildas en jetflamma. Flammans längd beror av trycket och storleken på hålet i tanken (FOA, 1998).

Gasmolnsbrand/explosion:

Om gasen vid ovanstående scenario inte antänds omedelbart uppstår ett brännbart gasmoln. Antändning av det brännbara gasmolnet kan leda till två principiellt olika förlopp, gasmolnsbrand respektive gasmolnsexplosion. Gasmolnsbrand är det vanligaste utfallet och kännetecknas av en lägre förbränningshastighet som ej genererar en tryckvåg. En gasmolnsbrand kan medföra skador på människa och egendom till följd av, i första hand, värmestrålning (FOA, 1998).

Vid en gasmolnsexplosion är förbränningshastigheten högre och en tryckvåg genereras. Explosionen blir i de allra flesta fallen av typen deflagration, d.v.s. flamfronten rör sig betydligt långsammare än ljudets hastighet och har en svagare tryckvåg än detonation. För att en gasmolnsexplosion ska kunna uppstå krävs rätt blandningsförhållande mellan den brännbara gasen och luft och, i de flesta fall, att antändning sker i en miljö med många hinder, eller i ett delvis slutet utrymme, som resulterar i en mer turbulent

förbränning. Fria gasmolnsexplosioner är ovanliga. En gasmolnsexplosion kan medföra skador på människa och egendom både till följd av värmestrålning och direkta samt indirekta skador av tryckvågen.

BLEVE:

BLEVE (Boiling Liquid Expanding Vapor Explosion) är en 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 antändning bildas ett eldklot med stor diameter under avgivande av intensiv värmestrålning. 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 med brandfarlig gas eller vätska. BLEVE kan ha skadeavstånd på upp till 300 meter.

Bedömning: Brandfarlig gas transporteras förbi området, och om en olycka skulle ske är det troligt att detta leder till konsekvenser i de omgivande detaljplaneområdena. Jetbrand, gasmolnsbrand och explosion samt BLEVE bedöms kunna inträffa, och undersöks i den kvantitativa analysen.

#### 4.1.3. Kondenserad giftig gas (klass 2.3)

Läckage av kondenserad giftig gas kan medföra att ett moln av giftig gas driver mot de omgivande detaljplaneområdena och kan orsaka allvarliga skador eller dödsfall. Spridningen är beroende av vindriktning och vindstyrka och kan påverka områden hundratals meter från källan. Ammoniak och klorgas används vid simulering och beräkningar för att ta hänsyn till lätta såväl som tunga gaser samt "giftiga" och "mycket giftiga" gaser.

Ammoniak:

Generellt är ammoniak tyngre än luft varför spridning av gasen, åtminstone initialt, sker längs marken. Giftig kondenserad gas kan ha ett riskområde på hundra meter upp till många kilometer beroende på mängden gas. Gasen är giftig vid inandning och kan innebära livsfara vid höga koncentrationer. Ammoniak har ett AEGL-3 (Acute Exposure Guideline Level, livsfarlig effekt för känsliga individer) på 2700 ppm under 10 minuter exponering (EPA, 2016). Motsvarande koncentration LC50 har i studier funnits vara mellan ungefär 5000- 10000 ppm för mycket kort exponering (HHS1, 2004). I riskberäkningarna används därför också 5000 ppm LC50 som gränsvärde för effekt.

Klorgas:

Klor utgör den giftigaste gasen som här ges som exempel på gaser som kan drabba skyddsområdet. Den kan sprida sig långt likt ammoniak. Klor har ett AEGL-3 (Acute Exposure Guideline Level, dödlig effekt för känsliga individer) på 50 ppm under 10 minuter exponering vilket gör att klor har potentiella konsekvensavstånd som är ännu längre än ammoniak. Samma effekt (död för känsliga individer) har också angivits till 173 ppm LC50 (Agency for Toxic Substances and Disease Registry, 2010).

Bedömning: En olycka med kondenserad giftig gas kan ha allvarliga konsekvenser på långa avstånd från vägområdet varför ovan nämnda olycksscenario undersöks vidare.

#### 4.1.4. Brandfarlig vätska (klass 3)

Om brandfarlig vätska läcker och antänds innan den har avdunstat uppstår en pölbrand som har typiska konsekvensavstånd på upp till 20-30 meter från flamfronten beroende

på storleken på utsläppet. Människor kan påverkas av en sådan på flera sätt: strålning direkt på kroppen, strålning som orsakar brand i byggnad där människor befinner sig eller inandning av giftiga brandgaser.

Bedömning: Brandfarlig vätska transporteras i stor utsträckning på vägen och kan ha konsekvenser utanför planområdet varför klassen undersöks vidare.

#### 4.1.5. Brandfarliga fasta ämnen, självreaktiva ämnen och okänsliggjorda explosivämnen (klass 4)

Exemplen på ämnen inom klass fyra är metallpulver (t.ex. kisel- magnesium och aluminiumpulver), tändstickor, aktivt kol och fiskmjöl. Konsekvenserna av en olycka med dessa ämnen är brand med påföljande strålning och giftig rök.

Eftersom dessa ämnen transporteras i fast form sker ingen eller endast mycket begränsad spridning i samband med en olycka. För att t.ex. brandfarliga fasta ämnen (ferrokisel, vit fosfor m.fl.) ska leda till brandrisk krävs att det t.ex. att de vid olyckstillfället kommer i kontakt med vatten varvid brandfarlig gas kan bildas. Mängden brandfarlig gas som bildas står i proportion till mängden tillgängligt vatten.

Bedömning: Eftersom konsekvenserna vid en olycka med klass 4 begränsas till området på olycksplatsen och strålningsnivåerna endast är farliga för människor i absolut närheten av branden, bedöms det inte motiverat att ytterligare analysera risken i samband med olyckor med dessa typer av farligt gods.

#### 4.1.6. Oxiderande ämne (klass 5)

Klass fem består av underklasserna 5.1 Oxiderande ämnen och 5.2 Organiska peroxider. Flertalet oxiderande ämnen (väteperoxid, natriumklorat m.fl.) kan vid kontakt med vissa organiska ämnen (t.ex. diesel) genomgå en exoterm reaktion och orsaka en häftig explosiv brand. Vid kontakt med vissa metaller kan det sönderdelas snabbt och frigöra stora mängder syre som kan underhålla en eventuell brand. Det finns även risk för kraftiga explosioner där människor kan komma till skada. Syrgas kan förvärra en brand i organiskt material och ska därför hållas åtskilt från sådana material. Mängder upp till 30 m<sup>3</sup> kan transporteras av klass 5.1.

Bedömning: För att en olycka med oxiderande ämnen ska inträffa krävs att en serie av händelser ska inträffa vilket medför att sannolikheten bedöms vara mycket låg, men klassen inkluderas ändå i beräkningarna.

#### 4.1.7. Giftiga och smittbärande ämnen (klass 6)

Arsenik, bly, kadmiem, sjukhusavfall etc. är exempel på dessa ämnen. För att människor ska utsättas för risk i samband med dessa ämnen krävs att man kommer i fysisk kontakt med dem eller förtäring. Ämnena skulle kunna förgifta och göra en vattentäkt otjänlig.

Bedömning: Identifierade olycksscenario för giftiga och smittbärande ämnen bedöms inte vara relevanta avseende personrisker då de har mycket lokal effekt. Därav är det inte motiverat att ytterligare analysera denna olyckstyp här.

#### 4.1.8. Radioaktiva ämnen (klass 7)

Ämnen som räknas till klass sju kan vara medicinska preparat, mätinstrument, pacemakers och kärnavfall. Konsekvenserna är oftast väldigt begränsade till närområdet, men om stora mängder transporteras, t.ex. kärnavfall, kan konsekvenserna bli större.



Bedömning: Mängden radioaktiva ämnen som transporteras i området är svår att uppskatta och bedöms vara begränsad till mindre mängder med begränsade konsekvenser vid olycka, varför det inte bedöms som motiverat att ytterligare analysera denna kategori.

#### 4.1.9. Frätande ämne (klass 8)

Olyckan med läckage av frätande ämnen (saltsyra, svavelsyra m.fl.) ger endast påverkan lokalt vid olycksplatsen då skador endast uppkommer om individer får ämnet på huden. Däremot kan allvarliga skador på den omgivande miljön inte uteslutas vid ett utsläpp.

Bedömning: Eftersom konsekvenserna gällande personskador begränsas till område precis kring olyckan, bedöms det inte motiverat att ytterligare analysera denna kategori med avseende på personrisker.

#### 4.1.10. Övriga farliga ämnen och föremål (klass 9)

Transporter med farligt gods inom denna kategori utgörs av exempelvis magnetiska material, batterier, fordon eller asbest. Konsekvenserna bedöms inte bli sådana att individer inom planområdet påverkas, eftersom en spridning inte förväntas.

Bedömning: Det bedöms inte motiverat att ytterligare analysera denna olyckstyp eftersom konsekvenserna avgränsas till området precis kring olyckan.

## 4.2 Sammanfattning olycksscenario farligt gods

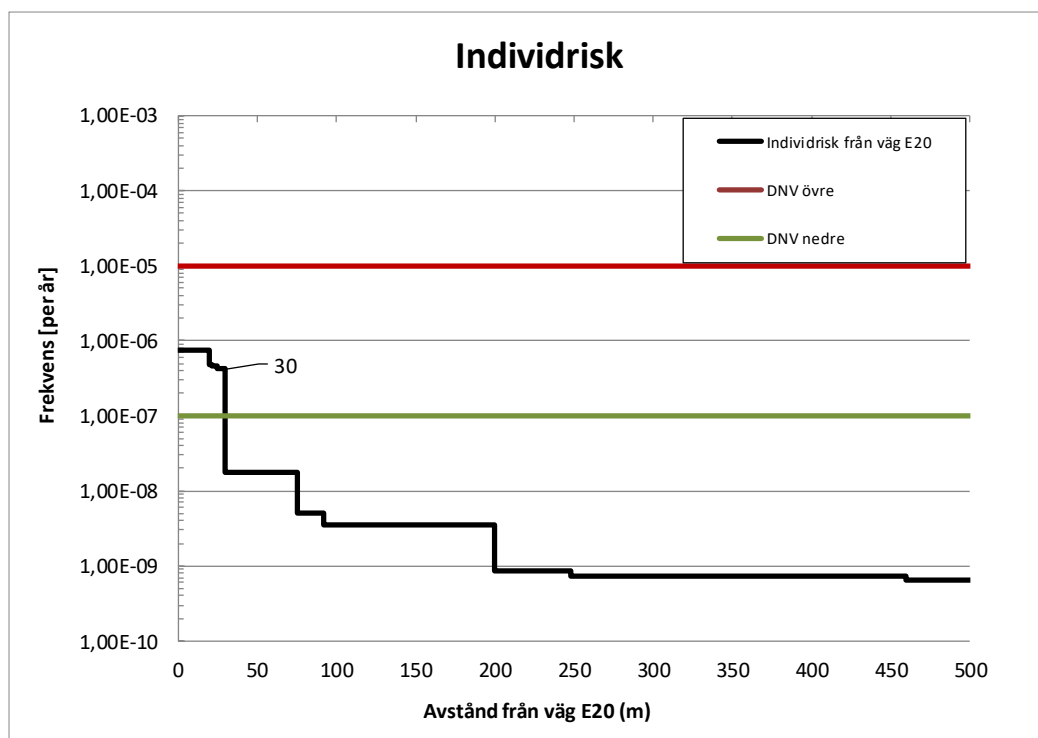
Enligt riskidentifieringen bedöms att följande olycksscenario bör beaktas i riskanalysen.

- Olycka med explosiva ämnen
- Olycka med brandfarlig gas jetbrand, gasmolnsbrand/explosion och BLEVE
- Olycka med giftig gas: utsläpp av ammoniak och klorgas
- Olycka med brandfarlig vätska: pölbrand
- Olycka med oxiderande ämnen: explosion och brand

I beräkningsbilaga A och B redogörs för sannolikhets- och konsekvensberäkningar för ovanstående scenarion.

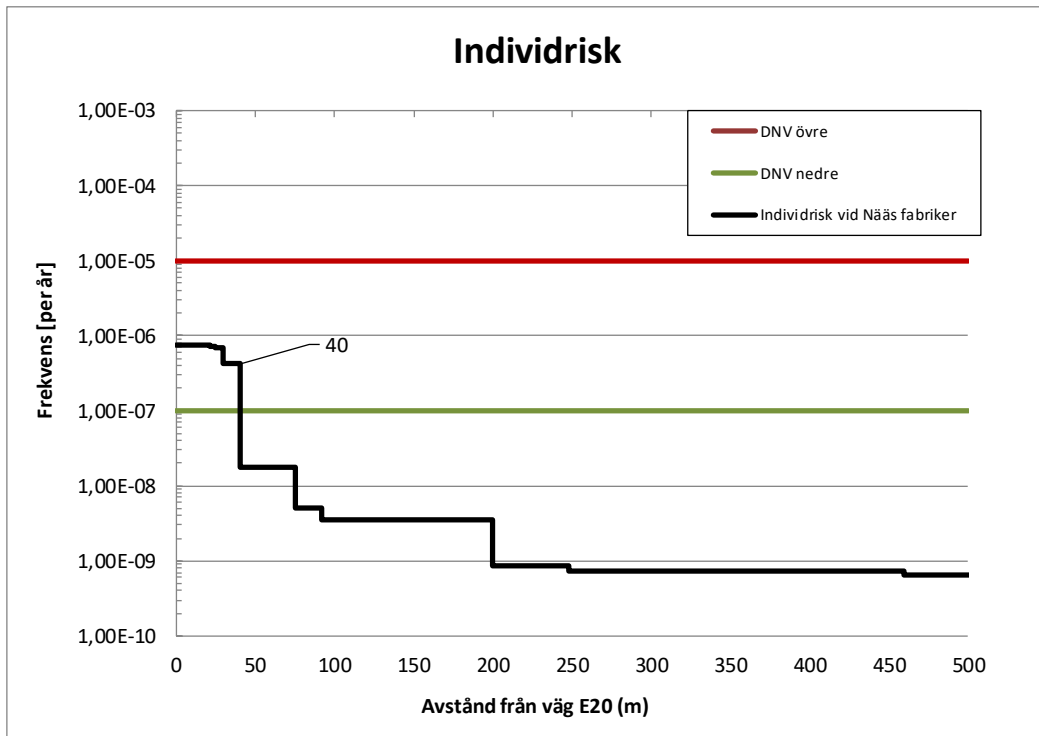
## 5 Resultat individrisk

Individriskberäkningar har utförts för trafikplatsen. Efter att resultaten presenteras används de som underlag för en bedömning av rimliga säkerhetshöjande åtgärder. Individriskresultatet presenteras Figur 5 nedan. Beräknad individriskkurva hamnar inom 0-30 meter från väggkant inom det så kallade ALARP-området, det vill säga det område där riskreducerande åtgärder skall vidtagas i fall det är samhällsekonomiskt motiverat. På större avstånd än 30 meter från väggkant är risknivån att betrakta som acceptabel.



Figur 5: Individriskberäkning för väg E20 förbi Trafikplats Tollered.

I höjd med Nääs fabriker sluttar marken kraftigt ner mot Båt-Johans väg. Då topografin kraftigt påverkar konsekvenser och utbredning av pölbränder med brandfarlig vätska antas konsekvensavståndet för pölbrand vara 10 meter längre vilket påverkar individrisknivån för denna korta delsträcka. Individrisknivån för delsträckan om ungefär 300 meter förbi Nääs fabriker syns i Figur 6.

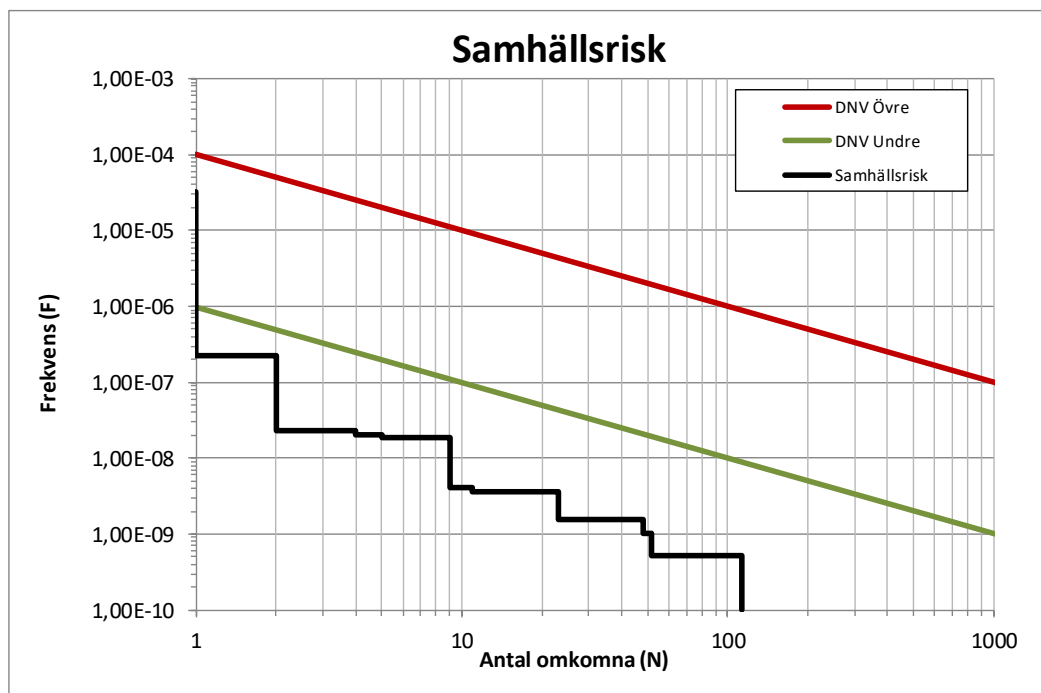


Figur 6. Individrisk från väg E20 för delsträcka på 300 meter förbi Nääs fabriker.

## 6 Resultat samhällsrisk

Samhällsriskberäkningar har utförts för sträckan som planeras för ombyggnad. Efter att resultaten presenterats i Figur 7 används de som underlag för en bedömning av rimliga säkerhetshöjande åtgärder i avsnitt 8 Bedömning och behov av skyddsåtgärder.

Frekvensen för scenarier med få antal omkomna bidrar till att samhällsriskerna hamnar inom ALARP-nivån för dessa händelser. Samhällsriskerna för större konsekvenser hamnar dock inom acceptabla nivåer. Efter en sammanvägning av frekvens och konsekvens kan det konstateras att pölbränder är bidrar mest till samhällsriskerna. Det är således dessa scenarier som föreslagna säkerhetshöjande åtgärder bör inriktas emot.



Figur 7: Samhällsrisk från väg E20 vid Trafikplats Tollered.

# 7 Känslighets- och osäkerhetsanalys

## 7.1 Känslighetsanalys

Syftet med känslighetsanalysen är att visa hur känsligt resultatet är för variationer i indata. Variationer studeras här avseende följande parametrar:

- Sannolikhet för olyckor
- Transportarbete
- Konsekvenser vid studerade scenarier.

Utifrån använda modeller kan det konstateras ett linjärt samband mellan resultatet och förändringar i såväl transportarbete som sannolikhet för olyckor. Detta innebär att en procentuell förändring av dessa parametrar ger motsvarande variation av resultatet. Exempelvis medför en ökning av transportarbetet med 10% att den beräknade risken ökar med 10% inom frekvensdelen.

Resultatets känslighet för variationer avseende konsekvenser vid studerade scenarier bedöms som relativt stor men endast möjlig att värdera kvalitativt. Anledningen till detta är att scenarioberoendet är avgörande för konsekvensberäkningen. Att konsekvensen vid ett utsläpp av giftig gas är starkt beroende på vindriktning och styrka är exempelvis uppenbart.

## 7.2 Osäkerhetsanalys

Syftet med osäkerhetsanalysen är att visa osäkerheter i det underlag som slutsatser är grundade på. För att hantera osäkerheter i denna utredning har rimligt konservativa värden använts i analysen. Exempel på val som innebär en inbyggd säkerhetsmarginal i resultatet är:

- Från erhållna intervaller för trafikmängder på den berörda sträckan har de högsta mängderna använts som underlag för att beräkna mängderna av farligt gods. Detta ger säkerhetsmarginal för dagliga såväl som årliga variationer i trafiksammansättning och mängd.
- Teknikutveckling torde leda till minskad olycksfrekvens då mer moderna fordon kontinuerligt utrustas med teknik som ska minska sannolikheten för olyckor. Exempel på detta är instrument som motverkar risken att fordonet ouppsåttligt lämnar vägbanan och automatiska bromssystem. Sådana åtgärders inverkan på olycksfrekvensen har inte beaktats.
- De hastigheter som väg E20 planeras att dimensioneras för är 100 km/h. Vid frekvensberäkningarna har siffror för 110km/h använts.
- Vid beräkning av individrisk i höjd med Nääs fabriker har antagandet om 10 meter längre konsekvensavstånd gjorts. Detta innebär rent logiskt att hela poelen skulle vara intakt efter att ha runnit ner från slänten. Det bedöms vara ett mycket konservativt antagande då en del av vätskan sannolikt fastnar i växtligheten på slänten eller hinner avdunsta.

## 8 Bedömning och behov av skyddsåtgärder

Den beräknade individrisk som orsakas av transporter på väg E20 förbi Trafikplats Tollered bedöms vara acceptabel på avstånd större än 30 meter enligt DNV:s kriterier. På kortare avstånd är risknivån inom ALARP-området vilket innebär att skyddsåtgärder bör vidtas om de är samhällsekonomiskt försvarbara. I höjd med slänten ner mot Nääs fabriker sträcker sig ALARP-området 40 meter ifrån väg E20. På längre avstånd är individrisknivån att bedöma som acceptabel. Den längre sträckan beror på att slänten bedöms kunna förflytta brännbar vätska närmre omgivande bebyggelse.

I riskutredningen framgår att transport av brandfarlig vätska har stort bidrag till riskbilden kring väg E20. Olyckor av denna typ kan orsaka pölbränder, som i sin tur medför kraftig värmestrålning på korta avstånd. Värmestrålningen kan dels orsaka brännskador på människor, dels leda till brand i närliggande byggnader.

I samhället Tollered lutar marken väster om vägen ner mot Nääs Fabriker och deras parkeringsplatser. Att förhindra att brandfarlig vätska kan nå detta område är ett viktigt skydd. Kostnad och nytta med ett fördröjningsmagasin som kan hantera ett sådant utsläpp utreds i ett separat dokument.

Bullerskyddsskärmar planeras på bron för att hantera buller för de bostäder som i samhället Tollered är närmast väg E20. Dessa bör vara utförda i brandteknisk klass EI30 eller bättre för att ha tillräckligt skyddande effekt mot värmestrålning under ett utrymningsförlopp för de boende.

Vid ny- eller ombyggnation av väg ska en säkerhetszon finnas utmed vägbanan (Trafikverket, VGU, VV publikation 2004:80). Inom detta avstånd från vägen får inga vassa eller oeftergivliga föremål finnas då dessa markant ökar risken för avåkande fordon för persontransport såväl som godstransport. Vassa kanter längs vägen ökar risken att det går hål på tankar eller behållare som kan läcka ut farliga ämnen. Oeftergivliga föremål definieras enligt Trafikverket av:

- träd med diameter > 100 mm i brösthöjd (ca 1,2 m ovan mark)
- bropelare
- kort betongfundament högre än 0,1 m
- jordfast sten högre än 0,1 m
- el- och teleskåp
- bergskärning med skrovlig yta
- stolpar som inte är oeftergivliga enligt standarden SS-EN 12 767

Säkerhetszoner som funktion av skyltad maximal hastighet syns i tabell 5 nedan. God standard skall följas vid förbättring av befintlig väg. I händelse av skenande kostnader för projektet kan mindre god standard accepteras (Trafikverket, VGU, VV publikation 2004:80).

Tabell 5: Bredd på säkerhetszon baserat på skyltad maximal hastighet (Trafikverket, VV publikation 2002:115 sektion 5, 2002).

Skyltad maximal hastighet [km/h]	Standard [m]		
	God	Mindre god	Låg
90	> 9	> 4,5	< 4,5
110	> 10	> 6	< 6

## 9 Slutsatser

Individrisken på längre avstånd än 30 meter ifrån väg E20 är acceptabel. På kortare avstånd ligger individrisken inom ALARP-området. I höjd med slänten ner mot Nääs fabriker sträcker sig ALARP-området 40 meter ifrån väg E20. På längre avstånd är individrisknivån att bedöma som acceptabel.

Samhällsrisken visar att det primärt är utsläpp av brandfarlig vätska som bidrar till risknivån. De föreslagna säkerhetshöjande åtgärderna inriktas mot dessa.

Antagande görs att riskbilden inte förändras avsevärt och att de säkerhetshöjande åtgärder som föreslagits implementeras för att sänka risknivåerna. Under dessa förutsättningar kan utformning av detaljplanen sägas följa principen att riskreducerande åtgärder skall övervägas i området mellan acceptabel och ej acceptabel risk (ALARP).

Sammanfattningsvis omöjliggörs inte en utbyggnad av väg E20. I samband med framtida detaljplaneprocesser inom 150 meter från den aktuella sträckningen för väg E20 kommer det däremot fortsatt att finnas behov av att utreda riskerna mer noggrant enligt de riktlinjer som finns i länet.



# Referenser

- Agency for Toxic Substances and Disease Registry. (2010). Toxicological profile for chlorine. Atlanta, Georgia: U.S. Department of health and human services.
- Davidsson, Göran; Lindgren, Mats; Mettler, Liane. (1997). Värdering av risk - FOU rapport. MSB (Statens Räddningsverk).
- Drs. P.L.B.A van Geel. (2005). Purple book. The State Secretary of Housing Spatial Planning and the Environment (VROM).
- EPA & NOAA. (2016). ALOHA, version 5.4.7. Office of Emergency Management (EPA) & Emergency Response Division, (NOAA).
- EPA. (2016, 08 29). Access Acute Exposure Guideline Levels (AEGs) Values. Retrieved from EPA: <https://www.epa.gov/aegl/access-acute-exposure-guideline-levels-aegs-values#chemicals>
- FOA. (1998). Vådautsläpp av brandfarliga och giftiga gaser och vätskor - Metoder för bedömning av risker. Försvarets forskningsanstalt (FOA).
- FOA. (1998). Vådautsläpp av brandfarliga och giftiga gaser och vätskor - Metoder för bedömning av risker.
- Fredén, S. (2001). Modell för skattning av sannolikheten för järnvägsolyckor som drabbar omgivningen,. Borlänge: Banverket.
- Haag, & Ale. (2005). Purple Book - Guidelines for quantitative risk assessment. RVIM.
- HHS1. (2004). Toxicological Profile for Ammonia. Atlanta: Agency for Toxic Substances and Disease Registry.
- HMSO. (1991). Major Hazard aspects of the transport of dangerous substances. London: Advisory Committee on Dangerous Substances Health & Safety.
- Länsstyrelserna i Stockholm, Skåne och Västra Götalands län. (2006). Riskhantering i detaljplanprocessen. Länsstyrelserna i Stockholm, Skåne och Västra Götaland.
- MSB. (2012). Olycksrisker och MKB. Karlstad: MSB.
- Purdy, G. (1993). Risk analys of the transportation of dangerous goods by road and rail. Amsterdam: Elsevier Science Publishers B.V.
- Räddningsverket. (1996). Farligt gods. Räddningsverket.
- Räddningsverket. (1996). Farligt Gods - Riskbedömning vid transport. Karlstad: Räddningsverket.
- TNO. (2005). Methods for the calculation of physical effects "Yellow Book". The Hague.
- Trafikverket. (2002). VV publikation 2002:115 sektion 5. Trafikverket.
- Trafikverket. (2012). Vägar och gators utformning. Trafikverket.
- Trafikverket. (2017). Sammanställning trafikprognos. Trafikverket.

Trafikverket. (2017). Samrådsunderlag.

Trafikverket. (n.d.). VGU, VV publikation 2004:80. Trafikverket.

Vikman, P.-Å. (2017). Lastbilstrafik 2016. Trafikanalys.

VTI. (1994). Konsekvensanalys av olika olycksscenarier vid transport av farligt gods på väg, VTI-rapport 387:4. Väg- och trafikforskningsinstitutet.

(1997). Värdering av Risk. Karlstad: Statens Räddningsverk.

## 10 Bilaga A – Frekvensberäkning

Denna bilaga innehåller frekvensberäkningar för farligt gods-olycka på väg E20 på aktuell sträcka för de händelser som tidigare identifierats och som kan leda till utsläpp av farligt gods som påverkar omgivande bebyggelse.

### 10.1 Trafikolycka väg

I Räddningsverkets ”Farligt gods - riskbedömning vid transport” (VTI, 1994) ges metoder för beräkning av frekvens för trafikolycka med farligt godstransport. Denna riskanalysmetod för transporter av farligt gods på väg (VTI-metoden) analyserar och kvantifierar riskerna med transport av farligt gods mot bakgrund av svenska förhållanden. Vid uppskattning av frekvensen för farligt godsolycka på en specifik vägsträcka finns det två alternativ, dels att använda olycksstatistik för sträckan, dels att skatta antalet olyckor med hjälp av den så kallade olyckskvoten för vägvägnittet. I denna riskanalys används det senare av dessa alternativ.

Olyckskvotens storlek samvarierar med ett antal faktorer såsom vägtyp, hastighetsgräns, siktförhållanden samt vägens utformning och sträckning. Med hjälp av beräkningsmatris för farligt godsolyckor efter bebyggelse, hastighetsgräns och vägtyp kan följande parametrar bestämmas: olyckskvoten, andel singelolyckor och index för farligt godsolyckor (se nedan).

Den totala trafikmängden, ÅDT, på väg E20 år 2040 är 27 031 fordon sammanlagt för de två riktningarna enligt trafikprognos. Vägsträckan som kan påverka planområdet är cirka 1,1 kilometer.

Totalt trafikarbete på den studerade vägsträckan beräknas som:

Totalt trafikarbete = 27 031 (fordon/dygn) x 365 (dygn) x 1,1 (km) = 10,9 miljoner fordonskilometer per år

Vid bedömning av antal förväntade fordonsolyckor används följande ekvation:

Antal förväntade fordonsolyckor = O = Olyckskvot x Totalt trafikarbete x 10<sup>-6</sup>

Där olyckskvoten kommer från beräkningsmatris för farligt godsolyckor efter bebyggelse, hastighetsgräns och vägtyp. Olyckskvoten uttrycks i enheten olyckor/miljon fordonskilometer. Väg E20 på platsen kommer i framtiden att utgöras av motortrafikled med skyltad hastighetsgräns 100 km/h. Värdet för 110 km/h används då värdet för 100 km/h inte fanns att tillgå. Olyckskvoten för dessa förhållanden är 0,28 olyckor per miljon fordonskilometer per år.

Nedan beräknas det förväntade antalet fordonsolyckor med avseende på ovanstående trafikarbete.

Förväntade fordonsolyckor (O) = Olyckskvot x trafikarbete = 0,28 x 10,9 = 3,0 olyckor/år

Antal fordon skyltade med farligt gods i trafikolyckor =

$$O \cdot ((X \cdot Y) + (1 - Y) \cdot (2X - X^2))$$

där

X = Andelen transporter skyltade med farligt gods

Y = Andelen singelolyckor på vägavsnittet

O = Antal förväntade fordonsolyckor

Andelen farligt gods på väg E20 beräknas som:

$$\text{Andelen farligt gods} = \text{ÅDT farligt gods} / \text{ÅDT total}$$

ÅDT farligt gods på väg E20 på aktuell sträcka beräknas till 122 (3,6% av tung trafik som är 12,5 % av ÅDT totaltrafik på denna sträcka), ÅDT total enligt ovan.

Andelen farligt gods beräknas till  $X = 4,5 \cdot 10^{-3}$ .

Uppskattad andel singelolyckor (Y) kommer från beräkningsmatris för farligt godsolyckor efter bebyggelse, hastighetsgräns och vägtyp, och för väg E20 som på aktuellt vägavsnitt kommer att utgöras av motortrafikled med skyltad hastighetsgräns 100 km/h (110 km/h används) är denna 0,5.

Antal fordon skyltade med farligt gods i trafikolyckor / år =

$$= O \cdot ((Y \cdot X) + (1 - Y) \cdot (2 \cdot X - X^2)) = 2,05 \cdot 10^{-2} \text{ per år.}$$

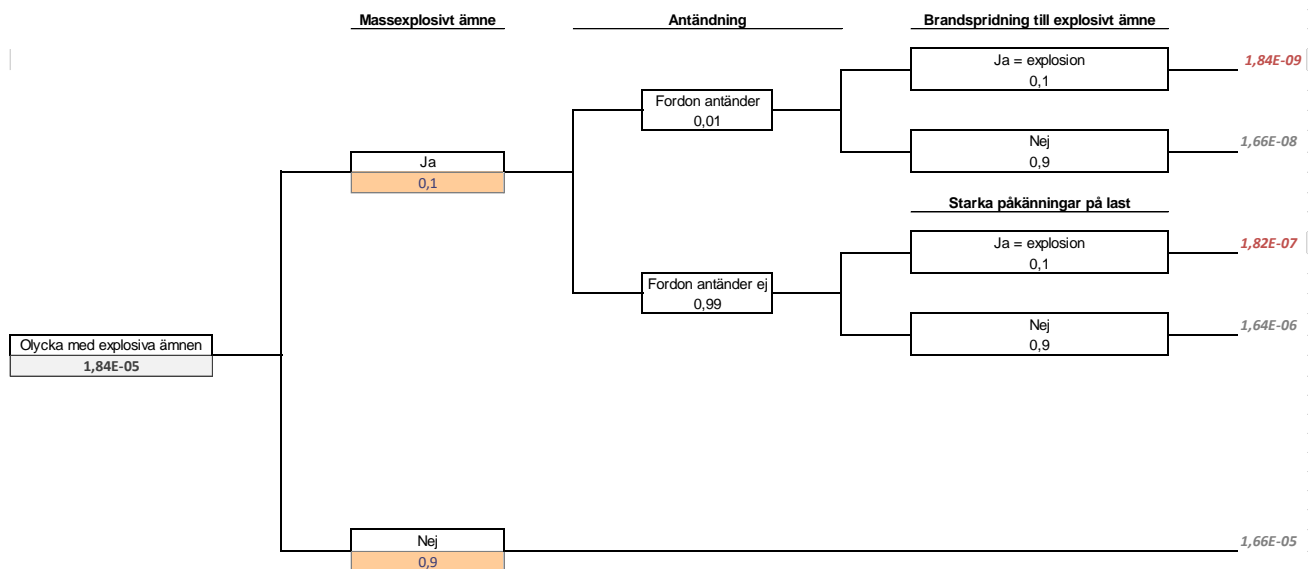
Frekvensen för en trafikolycka med ett fordon skyltat med farligt gods är  $2,05 \cdot 10^{-2}$  per år, vilket motsvarar en olycka med farligt gods ungefär vart 49:e år inom det studerade området.

Frekvens för farligt gods-olycka fördelas sedan på respektive ADR-kategori enligt antagen fördelning som presenterades i avsnitt 3.2.

## 10.2 Olycka explosiva ämnen

Beroende på fordonsklass kan olika mängder av klass 1 transporteras, vilket ger olika scenarier. Med högsta fordonsklass kan maximal mängd massexplosiva varor transporteras i upp till 16 ton per transport, men de flesta transporter innefattar endast små nettomängder av massexplosiva varor. Statistikunderlaget för klass 1 är begränsat. Ett rimligt antagande vore att cirka 2 % av antal transporter har den maximala mängden 16 ton, och resterande har 18.75 kg, avrundat till 20 kg massexplosiva ämnen i klass 1.1a. Beräkningarna har genomförs mycket konservativt att alla transporter med klass 1 har 16 ton. Händelsetrådet för olyckor med explosiva ämnen som ligger till grund för individ- och samhällsrisikberäkningar presenteras i Figur 8.

Reaktion i det explosiva materialet kan uppstå vid brand som sprider sig till lasten eller om godset utsätts för mycket kraftig stöt vid en kollision. Dock krävs kollisionshastigheter som uppgår till flera hundra m/s för att initiera en reaktion. HMSO (1991) anger att sannolikheten för en stötinitierad detonation vid en kollision är mindre än 0,2%. I denna utredning sätts sannolikheten till 10 % i beräkningarna, vilket är mycket konservativt. Sannolikheten att en brand i fordonet sprider sig till lasten beror av fordonsklass. Den högsta transporterade mängden förutsätter högsta fordonsklass. Utifrån detta antas en brand sprida sig till fordonet i 10 % av fallen för den maximala mängden 16 ton, vilket i praktiken är mycket konservativt.



Figur 8: Händelsetråd för olycka med explosiva ämnen.

### 10.3 Olycka brandfarlig gas

Det faktum att en behållare med farligt gods är inblandat i olycka innebär inte nödvändigtvis att det uppstår ett läckage. I de flesta fall håller tanken och inget av innehållet strömmar ut. För tjockväggiga tankar som används för gaser under övertryck är sannolikheten 0,01 både för ett litet läckage och för ett stort läckage i samband med urspårning (Fredén, 2001).

Givet ett litet läckage är sannolikheten för en direkt antändning (jetflamma) och fördröjd antändning (gasmolnsexplosion) 0,1 respektive 0,01 (Purdy, 1993). Givet ett stort läckage är sannolikheten 0,2 för direkt antändning (jetflamma) och 0,5 för fördröjd antändning. En fördröjd antändning antas leda till en gasmolnsbrand.

#### Jetbrand

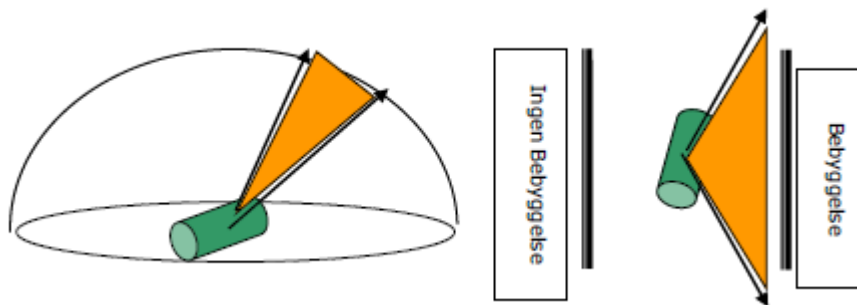
En jetbrand uppstår då gas strömmar ut genom ett hål i en flaska och direkt antänds. Därmed bildas en jetflamma. Sannolikheten för direkt antändning beror på utsläppets storlek och ansätts i detta fall till följande (Purdy, 1993):

$$S_{\text{direkt antändning litet läckage}} = 0,1$$

Flammans längd beror av storleken på hålet i flaskan samt trycket i denna. Det krävs dessutom att flammans riktning är mot det aktuella området och med hänsyn både till den vertikala och också den horisontella riktningen. För att anta en rimlig sannolikhet att jetflamman är riktad mot bebyggelsen antas den påverkande zonen vara inom en vinkel på 20° i vertikalplanet (20°/360°) samt i horisontalplanet (135°/360°), Figur 9. Till detta vägs sannolikheten att skadan sker på behållarens ovansida genom en ytterligare reduktion på 0,5 vilket anses mycket konservativt.

Sannolikheten för att jetbrand blir riktad in mot området ansätts till:

$$S_{\text{jetbrand mot bebyggelse}} = 20/360 * 135/360 * 0,5 = 0,0104$$



Figur 9: Illustration av jetflammors utbredning vertikalt (till vänster) respektive horisontellt (till höger).

### Gasmolnsbrand

Om gasen vid ett läckage inte antänds omedelbart uppstår ett brännbart gasmoln. Om gasmolnet antänds i ett tidigt skede är luftinblandningen vanligtvis inte tillräcklig för att en explosion ska inträffa. Förloppet utvecklas då till en gasmolnsbrand med diffusionsförbränning.

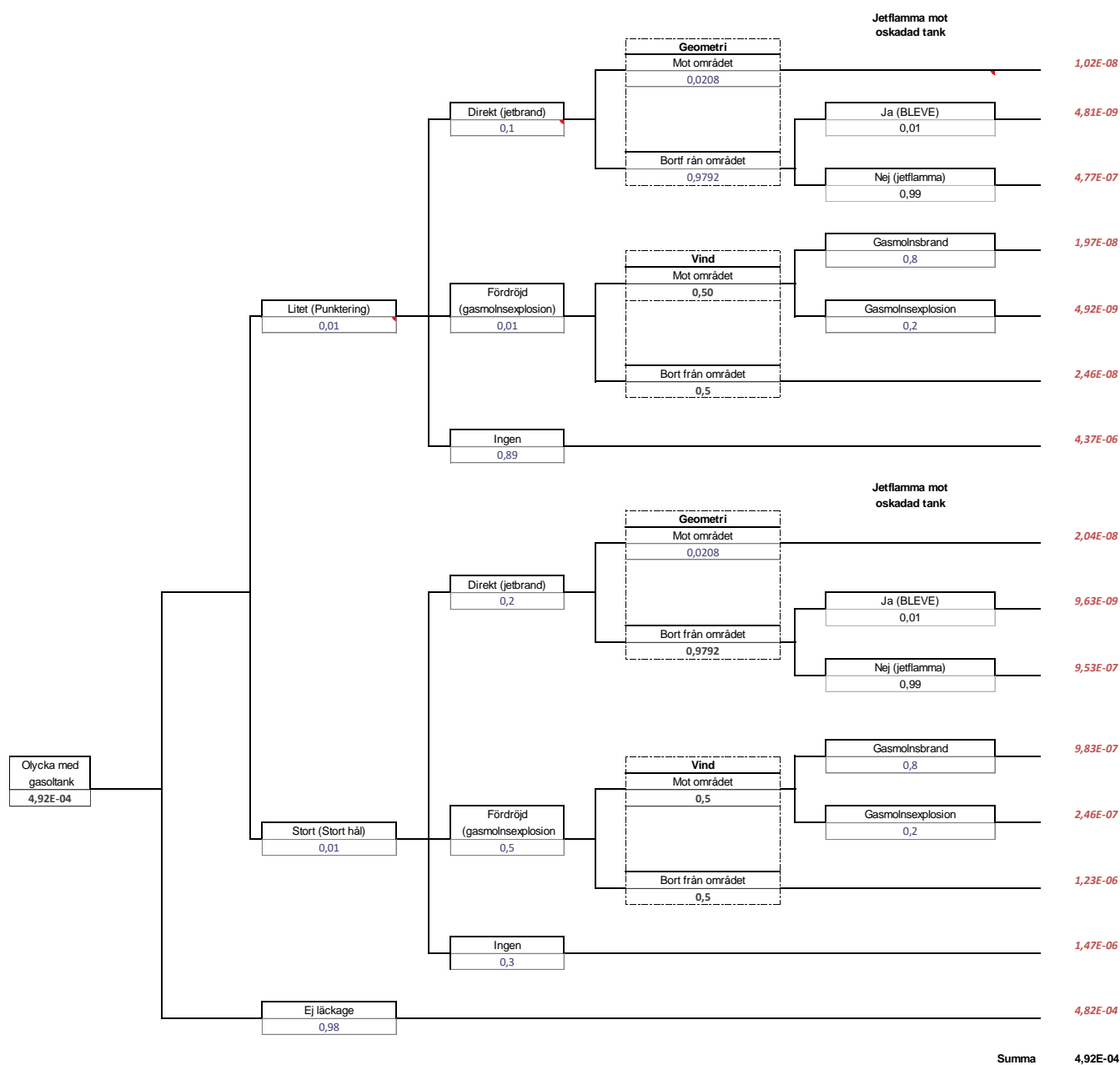
Om gasmolnet inte antänds omedelbart kommer luft att blandas med den brandfarliga gasen. Vid antändning kan en gasmolnsexplosion ske om gasmolnet består av en tillräckligt stor mängd gas/luft av en viss koncentration. För detta krävs som regel ett större läckage (Purdy, 1993) men konservativt ansätts även en sannolikhet för mindre utsläpp. En gasmolnsexplosion kan beroende på vindstyrka och riktning inträffa en bit ifrån själva olycksplatsen. Explosionen blir i de allra flesta fallen av typen deflagration.

Sannolikheten för sen antändning sätts till:

$$S_{\text{sen antändning litet läckage}} = 0,01$$

För att gasmolnsexplosionen ska ge störst skada krävs att gasmolnet driver mot planområdet. Detta antas ske när vindriktningen är mot området. Sådana vindförhållanden antas föreligga vid 50 % av tiden.

Med ovanstående antaganden konstrueras händelseträdet som presenteras i Figur 10.



Figur 10: Händelse-träd med frekvenser vid olycksscenario med brännbar gas.

## 10.4 Olycka giftig gas

Vid en olycka med giftig gas ansätts samma sannolikheter som en olycka med brandfarlig gas avseende hålstorlek och initial spridning då dessa transporteras under liknande förhållanden. Gaserna antas vara ammoniak och ammoniak.

$$S_{\text{läckage}} = 0,01$$

$$S_{\text{Litet läckage}} = 0,5$$

$$S_{\text{Stort läckage}} = 0,5 \text{ (konservativt)}$$

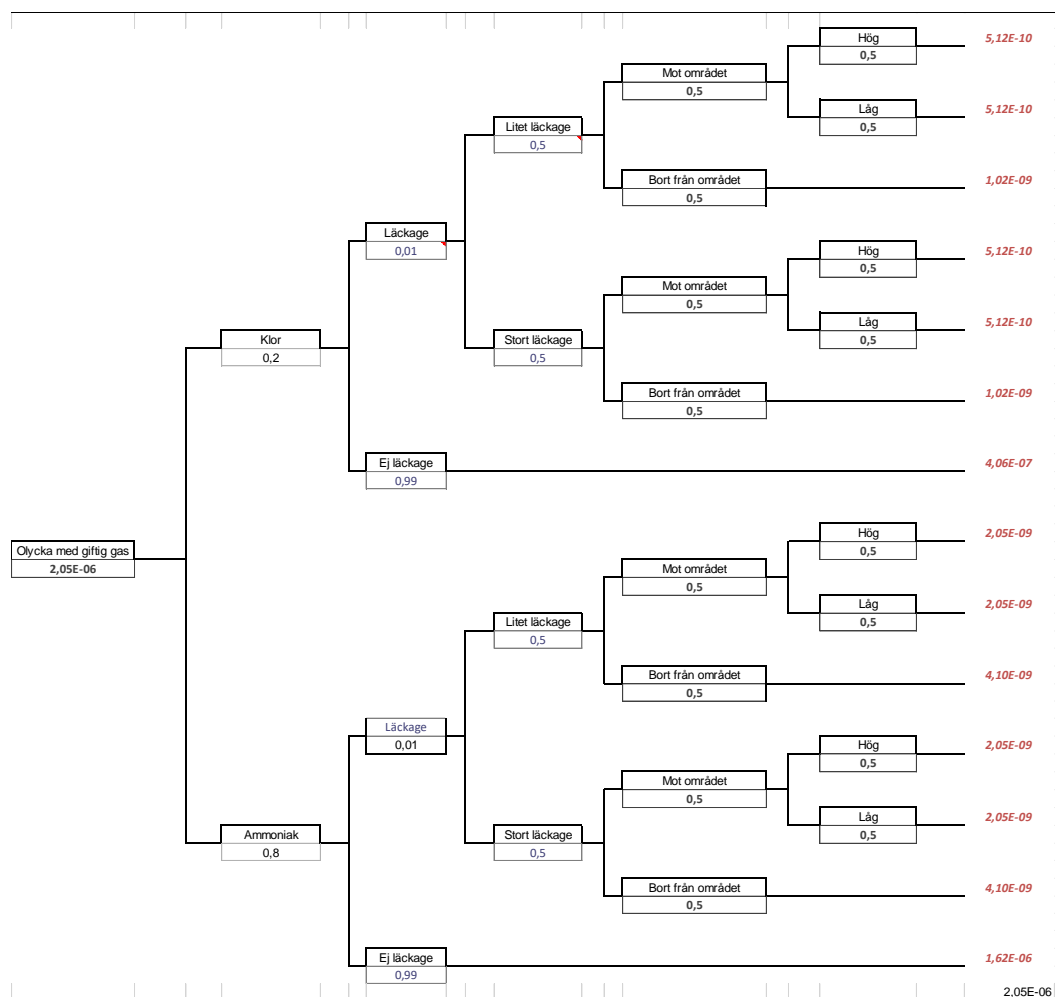
$S_{\text{spridning mot området}} = 0,5$

$S_{\text{Hög vindhastighet}} = 0,5$

$S_{\text{Låg vindhastighet}} = 0,5$

Sannolikhet för spridning mot området är lika med sannolikheten för vindriktning mot området som i detta fall konservativt ansätts till 0,5.

Med ovanstående antaganden konstrueras händelseträden för olycka med giftig gas som presenteras i Figur 11.



Figur 11: Händelseträd för olycka med läckage av giftig gas.

## 10.5 Olycka brandfarlig vätska

Tankar för bensin etc. utförs för att klara transport av vätska under atmosfärstryck och sannolikheten att tanken skadas vid en olycka så att läckage sker kan med viss konservatism ansättas till 0,05 (VTI, 1994).

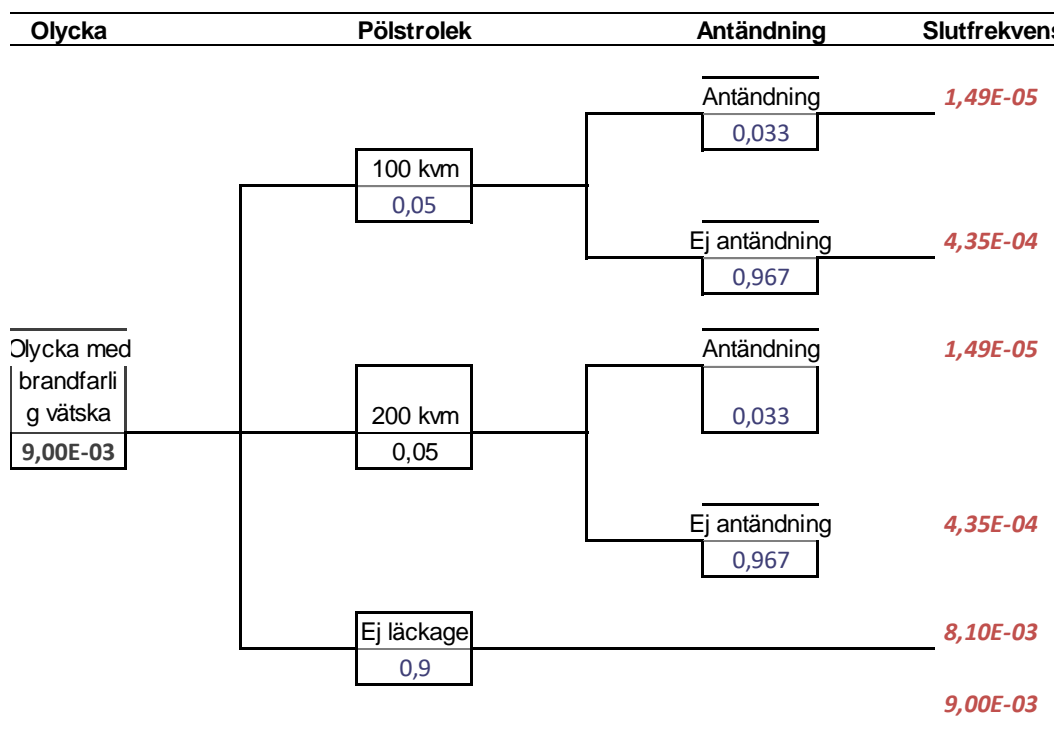
I värderingen av sannolikheter tas även hänsyn till att pölens storlek beror på ytorna i området. En pölbrand kan ej förväntas röra sig närmre fastigheten än vägens yttre kant, eftersom vätskan här rinner ner dike och effekten från branden minskar då drastiskt.



För analysen antas konservativt att olyckor på vägen kan ge en mellanstor pöl (100 m<sup>2</sup>), detta baserat utifrån vägbredd och att ett fack i tankbilen (4-5 m<sup>3</sup>) töms vid olyckan och medverkar i brandförloppet. Ett ytterligare konservativt antagande är att pölen trots vägens lutning är cirkulär, vilket ger upphov till högre flamma och därigenom högre strålningseffekt som funktion av avståndet.

Sannolikheten för antändning av en pöl med brandfarlig vätska beror på om en antändningskälla finns i närheten av utsläppet, dels av utsläppets omfattning men även typen av utsläppt vätska. Bensin och etanol antänds t.ex. lättare än diesel och eldningsolja. Detta beaktas dock inte utan konservativt antas att all brandfarlig vätska utgörs av, eller antänds lika lätt som, bensin. Vid ett momentant eller större utsläpp är risken stor att ingen åtgärd hinner vidtas innan bensinen antänds. Sannolikheten för antändning ansätts till 0,033 (HMSO, 1991).

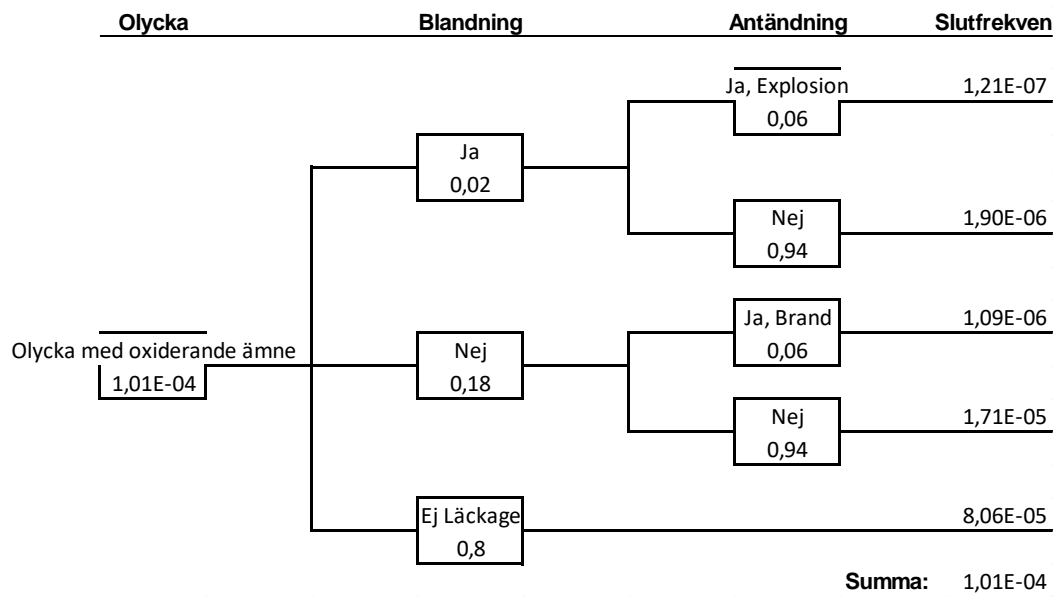
Med ovanstående bedömningar kan händelseträdet konstrueras enligt Figur 12.



Figur 12: Händelsetråd för olycka med brandfarlig vätska.

## 10.6 Olycka med oxiderande ämne

Principiellt kan läckage av oxiderande ämnen eller organiska peroxider medföra brand eller explosion. Explosion är möjligt vid de fall det oxiderande materialet sammanblandas organiskt material vid olyckan, exempelvis fordonets bränsle. Sannolikheten för läckage antas vara samma som vid läckage av farligt gods klass 3, dvs. 20%. Sannolikheten att lasten vid läckage sammanblandas med organiskt material i form av fordonets bränsle antas vara 10%. Sannolikheten för antändning sätts till ungefär dubbelt så hög som för antändning av en pöl av farligt gods klass 3, alltså ca 6%. Med hjälp av dessa uppskattningar kan nu händelseträdet konstrueras enligt Figur 13.



Figur 13: Händelseträd oxiderande ämnen.

# 11 Bilaga B – Konsekvensberäkning

## 11.1 Olycka med explosiva ämnen

Människor som exponeras för en explosion utsätts för en tryckhöjning som är skadlig över vissa gränsvärden. Konsekvenserna av explosioner representeras av resulterande övertryck i tryckvågen och den effekt den har på personerna i planområdet.

Människors skador utgörs i första hand av skador på trumhinnor, därefter påverkas lungor och andra inre organ och dödliga skador kan uppkomma. I Tabell 6 nedan redovisas uppgifter på skador på människor vid olika tryckskillnader när de exponeras för en explosion utomhus (FOA, 1998).

Tabell 6. Gränsvärden för skador på människor vid explosionsövertryck utomhus.

Skada	Infallande tryck (kPa)
Gräns för lungskador (alla skadade)	70
Gräns för dödliga skador (1% döda)	180
10% döda	210
50% döda	260
90% döda	300
99% döda	350

För individriskkurvan används värdet där 1 % förväntas omkomma, 180 kPa.

Människor kan också omkomma om de vistas inomhus i en byggnad som kollapsar på grund av övertryck och draglasters påverkan på bärverket. Typiska värden för byggnadsverks tålighet visas i Tabell 7. Moderna fönster antas gå sönder vid 10 kPa. För byggnadsstommar antas 20 kPa.

Tabell 7. Gränsvärden för skador på byggnadsstomme för olika konstruktioner.

Byggnadsmaterial	Trycktålighet
Träbyggnader och plåthallar	10 kPa
Tegel- och äldre betonghus	20 kPa
Nyare betonghus	40 kPa

För analysen av konsekvenser som omfattar explosiva ämnen används standardberäkning enligt TNT-ekivalentmetoden i "Yellow book" (TNO, 2005). Det

massexplosiva ämnet representeras av TNT, varvid massan TNT räknas om till ekvivalent massa brännbar metangas i ett hypotetiskt gasmoln. Trycket från gasmolnsexplosion beräknas därefter.

Vi söker därför den massa av brännbar gas som motsvarar en bestämd mängd TNT från nedanstående samband:

$$m_{gas} = \frac{m_{TNT} \cdot \Delta H_d(TNT)}{\Delta H_c(gas) \cdot Y}$$

Där

$m_{gas}$  = ekvivalent massa gas i brännbart gasmoln som bidrar till gasmolnsexplosion [kg]

$m_{TNT}$  = massa TNT [kg]

$\Delta H_c(gas)$  = förbränningsvärme gas [J/kg]

$\Delta H_d(TNT)$  = förbränningsvärme TNT [J/kg]

Y = effektivitetsfaktor [-]

Effektivitetsfaktorn Y beror på gasens reaktivitetsgrad och anges i (TNO, 2005) till

Y = 0.2

$\Delta H_c(CH_4)$  = 5,6E+07 [J/kg]

$\Delta H_d(TNT)$  = 4,18E+06 [J/kg]

Med ovanstående formel kan massan TNT omvandlas till ekvivalent massa metangas enligt Tabell 8.

Tabell 8. TNT-ekvivalenter av metan.

Massa TNT [Kg]	Massa CH4 [Kg]
20	7,5
16 000	5970

För att kunna bestämma trycket vid olika avstånd från explosionens centrum bestäms ett dimensionslöst avstånd enligt formeln nedan (FOA, 1998).

$$\bar{R} = \frac{R}{(E/P_0)^{1/3}}$$

Där

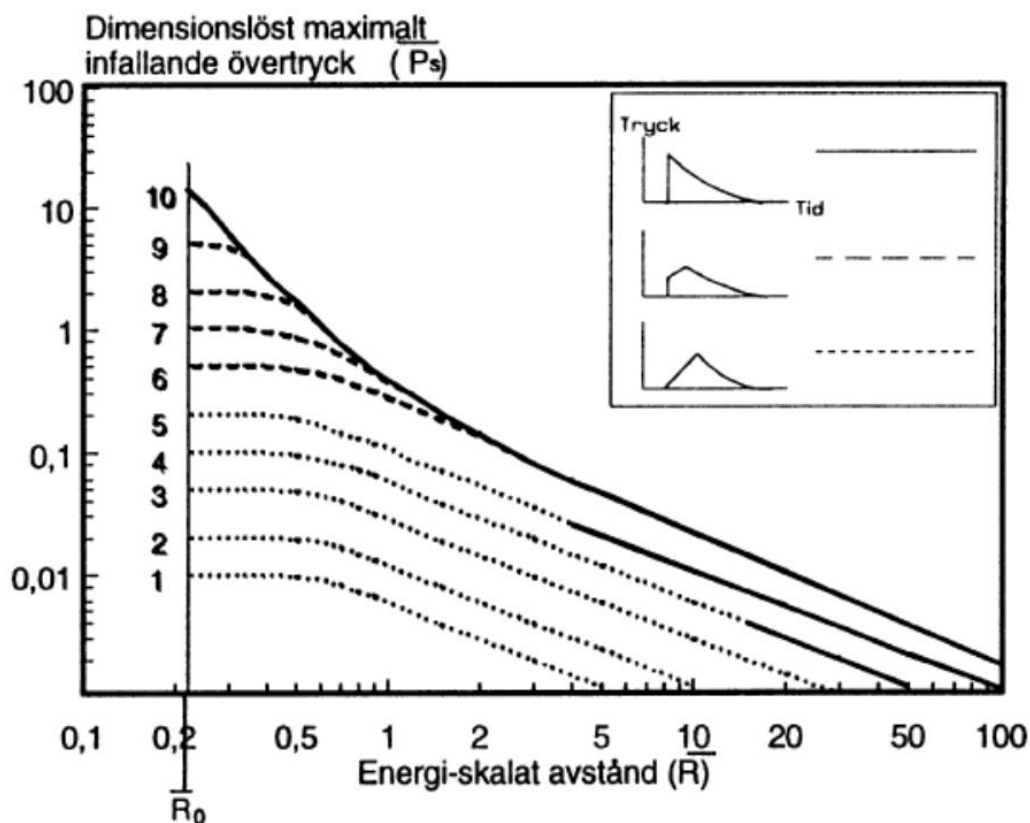
$\bar{R}$  = Dimensionslöst avstånd [-]

R = Verkligt avstånd från explosionens centrum [m]

E = Energimängd i gasmolnet [J]

$P_0$  = Atmosfärstryck [Pa]

Därefter kan det dimensionslösa trycket bestämmas med hjälp av Figur 14 nedan (FOA, 1998).



Figur 14. Maximalt dimensionslöst tryck. För beräkningarna har den högsta detonationsklassen (10) antagits för liten mängd TNT och detonationsklass 9 för den stora mängden TNT, då de olika underklasserna i klass bäst stämmer överens med dessa utseenden i tryck-tids sambandet.

Med hjälp av det dimensionslösa trycket utläst ur Figur 14 kan explosionsövertrycket bestämmas genom

$$\bar{P} = \frac{P_s}{P_0}$$

Där

$\bar{P}$  = Dimensionslöst tryck [-]

$P_5$  = Explosionstryck [Pa]

$P_0$  = Atmosfärstryck [Pa]

Trycket beräknas för respektive avstånd vilket ger avstånd till kritiskt tryck enligt Tabell 9.

Tabell 9. Potentiellt avstånd till 180 kPa med massexplisvt ämne.

Massa TNT [kg]	Avstånd till dödsfall [m]
20	8
16 000	65

Antalet döda i olycka med explosivämnen kan nu bestämmas genom att jämföra personbelastningen med de aktuella övertrycken i området, Tabell 9 och gränsvärden för skador på människor från Tabell 6.

I beräkningarna antas alla transporter av klass 1 innehålla 16 ton vilket är mycket konservativt. Avståndet för konsekvensberäkningarna sätts till 75 meter.

## 11.2 Olycka brandfarlig gas

Mängden brandfarlig gas i ett släp antas vara ca 40 ton. Beräkningarna anses vara giltiga för både järnväg och väg. För väg bedöms detta vara ett konservativt antagande, och mer rimligt för transport på järnväg.

Vidare antas att det är tryckkondenserad gasol som transporteras eftersom gasol har en låg brännbarhetsgräns och medföra att antändning kan inträffa på ett längre avstånd från olycksplatsen än med andra gaser.

Två olika utsläppsstorlekar (för jetflamma och gasmoln) antas enligt följande:

Litet - punktering (hålstorlek 20 mm)

Stort - medelstort hål (hålstorlek 50 mm)

För respektive scenario beräknas, med simuleringsprogrammet *Gasol*, konsekvenserna av de möjliga följdhändelserna vid tankbilsolycka med brandfarlig gas:

- jetflammas längd vid omedelbar antändning
- det brännbara gasmolnets volym

För jetflamma och brinnande gasmoln varierar skadeområdet med läckage-storlek, tiden till antändning samt vindhastighet. Beroende på om läckage inträffar i tanken i gasfas, i gasfas nära vätskefas eller i vätskefas kan utsläppets storlek och konsekvensområde variera. I beräkningarna antas att utsläppet sker nära vätskefas, då detta ger värden mellan det sämsta och bästa utfallen. De värsta konsekvenserna uppstår om utsläppet sker i vätskefasen.

De indata som använts i Gasol för att simulera konsekvensområden för jetflamma och gasmoln presenteras nedan:

- Lagringstemperatur: 15°C
- Lagringstryck: 7 bar övertryck
- Utströmningskoefficient (Cd): 0,83 (Rektangulärt hål med kanterna fläta utåt)
- Tankdiameter: 2,5 m
- Tanklängd: 19 m
- Tankfyllnadsgrad: 80 %
- Tankens vikt tom: 50 000 kg
- Designtryck: 15 bar övertryck
- Bristningstryck: 4\*designtrycket
- Lufttryck: 760 mmHg
- Omgivningstemperatur: 15°C
- Relativ fuktighet: 50 %
- Molnighet: Dag och klart
- Omgivning: Många träd, häckar och enstaka hus
- Vindhastighet: 3 m/s

Vid bedömningen av antalet omkomna antas 100% av de som vistas utomhus och befinner sig inom skadeområdet att omkomma. Av de individer vistas inomhus och är inom skadeområdet antas 25% omkomma då byggnaden utgör strålskydd, men några antas omkomma eftersom byggnaden antas börja brinna.

I bedömningen har hänsyn tagits till varierande persontäthet dag- och nattetid.

Tabell 10: Skadeområdets area inom aktuellt planområde vid olycka med brandfarlig gas.

Händelse	Läckagestorlek	Antändning	Skadeområdets area (längd x bredd, meter x meter)
Hål i tank nära vätskeyta	Punktering (20mm)	Jetflamma	18 x 16
		Fördröjd gasmolnsexplosion	18 x 12
	Stort hål (100mm)	Jetflamma	92 x 80
		Fördröjd gasmolnsexplosion	21 x 25

## 11.3 Olycka giftig gas

Spridningsberäkningar för giftiga gasmoln har gjorts i programvaran ALOHA (EPA & NOAA, 2016).

Spridningssimuleringar har gjorts för giftiga gaser (representerat av ammoniak) och mycket giftiga gaser (representerat av klor) för de två vindhastigheterna. Simuleringar har även gjorts för två olika temperaturer, då temperatur också är en väderparameter som har stor betydelse för dispersion och därmed spridning av gasmoln. Två temperaturer, 0° C respektive 15° C har valts, som bedöms vara representativa för de olika årstiderna. Samma läckagestorlekar har använts som för brandfarliga gaser.

För att beräkna konsekvensområdets utbredning jämförs erhållna koncentrationer med LC<sub>50</sub> värden för 10 minuters exponering för ammoniak. LC<sub>50</sub> för ammoniak är 10 800 ppm (HHS1, 2004). Förutom LC<sub>50</sub> finns andra exponeringskriterier. AEGL-1-3 avser en exponeringsnivå av luftburna partiklar där en individ (inklusive känsliga individer) kan uppleva besvär, kan få irreversibla hälsoeffekter och drabbas av livshotande skador/död. AEGL-3 utgör den nivå där känsliga individer kan omkomma. AEGL-3 för ammoniak avseende 10 minuters exponering är 2700 ppm (EPA, 2016). Beräkningar utförs avseende båda konsekvenskriterierna för att erhålla en möjlighet till jämförelse.

Varaktigheten är avgörande för dosen, d.v.s. kort utsläppstid medför hög koncentration men kort påverkanstid. Detta är relevant för framförallt de stora utsläppen. Ett stort utsläppt betyder att en hög koncentration uppnås i ett väldigt stort område. Men det är under kort tid, ibland inte ens under de 10 minuter som det använda gränsvärdet förutsätts vara rådande.

Påverkan inomhus bedöms reduceras med en faktor tio, enligt vad som anges i Purple Book (Haag & Ale, 2005). Om friskluftsintag placeras vid fasad bort från vägen uppskattas påverkan inomhus reduceras ytterligare med en faktor tio.

I ALOHA har beräkningarna gjorts för tankläckage med utsläpp nära marknivå. Detta blir konservativt eftersom utsläppet då sker i vätskefasen.

Indata och resultat från simuleringarna visas i tabellerna nedan. För respektive scenario väljs värsta scenario för respektive vindklass som indata i beräkningen. Valt konsekvensområde markeras med fet text i tabeller nedan.



## Litet ammoniakläckage

De fetstilta siffrorna används vid konsekvensberäkningarna.

Tabell 11: Indata och resultat av simulering för litet läckage av ammoniak. Fetmarkerade värden används som dimensionerande i beräkningarna av konsekvenser.

Händelse	Litet läckage			
Källstorlek/Källflöde	10*20 mm			
Utsläppshöjd	0,25 m			
Väder	Klart		Klart	
Temperatur	15	15	0	0
Vindhastighet	2	7	2	7
Stabilitetsklass	B	D	B	D
Utsläppets varaktighet	60 min	60 min	60 min	60 min
Utsläppt mängd	12 260 kg	12 260 kg	9 140 kg	9 140 kg
Gasspridningsmodell	Tunggasmodell	Tunggasmodell	Tunggasmodell	Tunggasmodell
LC <sub>50</sub> (10 min)	<b>Område inom vilket koncentrationen för följande gränsvärden överskrids (b x l)</b>			
	40x120	10x85	30x80	10x70
AEGL-3 (10 min)	<b>62x248</b>	<b>14x200</b>	53x204	13x165

## Stort Ammoniäkläckage

De fetstiltä siffrorna används vid konsekvensberäkningarna

Tabell 12: Indata och resultat av simulering för stort läckage av ammoniak. Fetmarkerade värden används som dimensionerande i beräkningarna av konsekvenser.

Händelse	Stort läckage			
Källstorlek/Källflöde	10*100 mm			
Utsläppshöjd	0,25 m			
Väder	Klart		Klart	
Temperatur	15	15	0	0
Vindhastighet	2	7	2	7
Stabilitetsklass	B	D	B	D
Utsläppets varaktighet	60 min	60 min	60 min	60 min
Utsläppt mängd	45 508 kg	45 508 kg	44 408 kg	44 408 kg
Gasspridningsmodell	Tunggasmodell	Tunggasmodell	Tunggasmodell	Tunggasmodell
LC <sub>50</sub> (10 min)	<b>Område inom vilket koncentrationen för följande gränsvärden överskrids (b x l)</b>			
	120x250	25x175	100x220	25x160
AEGL-3 (10 min)	<b>170x570</b>	<b>40x460</b>	145x470	30x380

## Litet klorkläckage

De fetstilta siffrorna används vid konsekvensberäkningarna.

Tabell 13: Indata och resultat av simulering för litet läckage av klor.

Händelse	Litet läckage			
Källstorlek/Källflöde	10*20 mm			
Utsläppshöjd	0,25 m			
Väder	Klart		Klart	
Temperatur	15	15	0	0
Vindhastighet	2	7	2	7
Stabilitetsklass	B	D	B	D
Utsläppets varaktighet	60 min	60 min	60 min	60 min
Utsläppt mängd	16 400 kg	16 400 kg	12 555 kg	12 555 kg
Gasspridningsmodell	Tunggasmodell	Tunggasmodell	Tunggasmodell	Tunggasmodell
LC <sub>50</sub> (10 min)	<b>Område inom vilket koncentrationen för följande gränsvärden överskrids (b x l)</b>			
	100x380	25x310	85x320	25x250
AEGL-3 (10 min)	<b>170x1200</b>	<b>50x920</b>	150x1000	43x785

## Stort klorläckage

De fetstilta siffrorna används vid konsekvensberäkningarna.

Tabell 14: Indata och resultat av simulering för stort läckage av klor.

Händelse	Stort läckage			
Källstorlek/Källflöde	10*100 mm			
Utsläppshöjd	0,25 m			
Väder	Klart		Klart	
Temperatur	15	15	0	0
Vindhastighet	2	7	2	7
Stabilitetsklass	B	D	B	D
Utsläppets varaktighet	56 min	56 min	60 min	60 min
Utsläppt mängd	42 240 kg	42 240 kg	41 608 kg	41 608 kg
Gasspridningsmodell	Tunggasmodell	Tunggasmodell	Tunggasmodell	Tunggasmodell
LC <sub>50</sub> (10 min)	<b>Område inom vilket koncentrationen för följande gränsvärden överskrids (b x l)</b>			
	250x800	60x700	235x733	50x612
AEGL-3 (10 min)	380x2400	<b>100x2200</b>	<b>400x2400</b>	93x1800

## 11.4 Olycka brandfarlig vätska

Strålningen från pölen beräknas enligt beräkningsmodell från FOA (1998). Data har valts för bensen. Detta eftersom bensen har högst energivärde och förbränningshastighet av de olika typer av bränsle som kan vara aktuella vilket gör beräkningen konservativ. Konsekvenserna för två utsläppsstorlekar har beräknats. Som dimensionerande storlek har valts ett 100 m<sup>2</sup> stort läckage. I känslighetsanalysen bedöms arean vara fördubblad till 200 m<sup>2</sup>. Påverkan av de giftiga brandgaser som bildas vid en pölbrand tas ej hänsyn till i beräkningarna, men beaktas vid förslag på placering av luftintag.

Följande data gäller för bensen (FOA, 1998):

$$\text{Förbränningshastighet } b' = 0,048 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2\text{s}}$$

$$\text{Energivärde } h_c = 43,7 \cdot 10^6 \frac{\text{J}}{\text{kg}}$$

En cirkulär pöl används i beräkningarna vilket bedöms vara ett konservativt antagande, eftersom pölen snarare kommer anta en mer avlång form då vätskan förväntas röra sig åt sydost. Vid en pölbrand med en cirkulär pöl approximeras flammans geometri med en cylinder där flammans diameter,  $d_f$  är lika stor som pölens diameter,  $d_p$ . Flammans höjd,  $h_f$ , kan beräknas enligt:

$$h_f = d_p \cdot 42 \cdot \left( \frac{b'}{\rho_a \sqrt{g \cdot d_p}} \right)^{0,61} \quad \text{formel C1}$$

där  $b'$  = förbränningshastigheten i  $\frac{\text{kg}}{\text{m}^2\text{s}}$  enligt ovan,

$$\rho_a = \text{luftens densitet} = 1,29 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$g = \text{tyngdaccelerationen} = 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

Denna formel gäller under förutsättning att  $0,8 < h_f / d_f < 4$ .

Flamman fluktuerar mycket och den höjd som beräknas är den genomsnittliga flamhöjden under brandförloppet. Då pölen antas vara cirkulär och flamgeometrin en cylinder är  $d_f = d_p$  och beräknas utifrån grundläggande cirkelgeometri. Detta ger  $d_f = d_p \approx 11$  m för en pölbrand om 100 m<sup>2</sup> respektive 16 m för en pölbrand om 200 m<sup>2</sup>.

Strålningen per ytenhet från flaman beräknas enligt:

$$P = \frac{0,35 \cdot b' \cdot h_c}{1 + 4h_f / d_f} \quad \text{formel C2}$$

där  $h_c$  = energivärdet i  $\frac{J}{kg}$  enligt ovan. Faktorn 0,35 utgör den andel av den totala energin som omsätts till strålningsvärme.

Vidare beräknas strålningen från en ideal svartkropp blir enligt Stefan-Boltzmanns lag:

$$P_s = \sigma \cdot T^4 \quad \text{formel C3}$$

där  $P_s$  = utstrålad effekt [ $\frac{W}{m^2}$ ],

$\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8}$  [ $\frac{W}{m^2 K^4}$ ] (Stefan-Boltzmanns konstant) och

$T$  = temperaturen [K].

Approximationen med en svart kropp som strålar ger konservativa värden på värmestrålning. Vid större pölbränder antas strålningen normalt ha sitt ursprung i flammans mitt och här ligger emissionsfaktorn ( $\epsilon$ ) nära 1 varför denna approximation anses rimlig. Närmare flammans mantelyta minskar emissiviteten snabbt. En beräkning baserad på att all strålning kommer från flammans mitt är därför konservativt.

Värmestrålningen från en yta 1 som faller in mot en yta 2 på ett visst avstånd kan då beräknas som:

$$P_{12} = P_1 \cdot \tau_a \cdot F_{12} \quad \text{formel C4}$$

Där  $P_{12}$  = infallande strålning från 1 till 2 [ $\frac{W}{m^2}$ ],

$P_1$  = strålningen från yta 1 [ $\frac{W}{m^2}$ ]

$F_{12}$  = vinkelkoefficienten för 1 mot 2.

Den atmosfäriska transmissionsförmågan,  $\tau_a$ , har att göra med det faktum att den utsända strålningen delvis absorberas av luften mellan strålkällan och mottagaren. Den atmosfäriska transmissionsförmågan kan skrivas enligt:

$$\tau_a = 1 - \alpha_w - \alpha_c \quad \text{formel C5}$$

Där  $\alpha_w$  = absorptionsfaktorn för vattenånga och

$\alpha_c$  = absorptionsfaktorn för koldioxid.

Båda faktorerna beror på respektive ämnes partialtryck, längden som strålningen färdas från den strålade ytan till mottagaren, strålningens temperatur och omgivningens temperatur.  $\alpha_w$  och  $\alpha_c$  bestäms grafiskt utifrån flamtemperaturen och partialtryck från figur 11.2 i (FOA, 1998).

Vinkelkoefficienten ( $F$ ) definieras som den andelen av strålningen från en yta i alla riktningar som träffar en annan yta (vid fullständig transmissionsförmåga). Den är en

rent geometrisk faktor som kan bestämmas för varje ytkonfiguration.  
Vinkelkoefficienten bestäms grafiskt för en cylinder från figur 11.3 i (FOA, 1998).

Beräkningar utförs vidare utifrån ovanstående förutsättningar för de två olika pölstorlekarna.

Flamhöjd enligt formel C1, utfallande strålning enligt formel C2 och temperatur enligt C3, resultaten samlas i Tabell 15 .

Tabell 15: Initial egenskapsberäkning pölbrand

Pölstorlek	Flamhöjd (m)	Utfallande strålning (kW/m <sup>2</sup> )	Temperatur på den strålade ytan/flammans mitt (K)
100 m <sup>2</sup>	15	114	1191
200 m <sup>2</sup>	19	128	1226

Mättad vattenångas tryck vid 100 % luftfuktighet och 20 °C är  $p_w = 2340$  Pa. Luftfuktighet på 50 % antas vilket ger  $p_w = 1170$  Pa. Absorptionsfaktorer och transmissionsförmåga bestäms för detta värde i kombination med flammans temperatur. Utifrån höjden på flammorna, pölens radie och avståndet till mottagaren bestäms ett antal olika vinkelkoefficienter. Värmestrålning på olika avstånd beräknas sedan enligt formel C4.

Skadenivån bestäms förutom av strålningsnivån även av strålningens varaktighet. För beräkning av skador på människor redovisas i Tabell 16 nedan en varaktighet på 10 s som en rimlig tid tills man satt sig i säkerhet.

Sambandet mellan strålningens varaktighet och skador på människan beskrivs av probitfunktionen  $t \cdot P^{4/3}$ . Om denna tidsvägda strålningsdos är över  $3 \cdot 10^6$  finns en risk för 2:a gradens brännskador. Risken ökar sedan exponentiellt med ökad strålning. Sannolikheten för andra gradens brännskador utläses sedan ur figur 11.9 i (FOA, 1998). Beräkningsresultat sammanställs i Tabell 16 nedan.

För individriskkurvan används de värden som är fetmarkerade i Tabell 16, alltså där 1,5 % respektive 0,2 % förväntas omkomma som konsekvensområde, vilket bedöms som ett mycket konservativt antagande. Här antas 50 % av de som befinner sig i konsekvensområdet omkomma. Beräkningsresultat sammanställs i Tabell 16. Flamfronten antas infinna sig vid väggkanten.

Tabell 16: Beräkningsresultat strålning och konsekvens pölbrand.

Brand	Avstånd från flamfront (m)	$\alpha_w$	$\alpha_c$	$\tau_a$	$F_{max}$	$P_{12}$ (kW/m <sup>2</sup> )	$t^*P^{4/3} \times 10^6$ (s(W/m <sup>2</sup> ) <sup>4/3</sup> )	2:a grad bränn-skada (%)	Andel döda (%)
100 m <sup>2</sup>	0 (flamfront)	0,10	0,01	0,89	1	101	47	100	100
	5	0,13	0,01	0,86	0,35	34,3	11,1	77	12
	10	0,15	0,02	0,83	0,21	19,8	5,35	10	1,5
	15	0,18	0,03	0,79	0,15	13,5	3,21	1	0,2
200 m <sup>2</sup>	0 (flamfront)	0,11	0,01	0,88	1	113	54,6	100	100
	10	0,15	0,02	0,83	0,27	28,6	8,75	60	9
	20	0,19	0,03	0,78	0,15	15	3,7	1	0,2
	30	0,20	0,03	0,77	0,08	7,9	1,57	0	0

Sammanfattningsvis kan följande konstateras att det bortom 15 m från flamfronten (vägkant) ej föreligger risk för dödsfall vid händelse av pölbrand med 100 m<sup>2</sup> stor pöl. För en pölbrand med 100 m<sup>2</sup> föreligger ej risk för dödsfall bortom 20 m från flamfronten (vägkant). I beräkningarna används 20, respektive 30 meter för liten och stor pölbrand.

För individriskberäkningar där topografin påverkar området i höjd med Nääs fabriker adderades 10 meter till konsekvensavstånden för pölbränder.

## 11.5 Olycka med oxiderande ämne

De två konsekvenserna av olycka med klass 5 – oxiderande ämne är pölbrand och explosion. Tillgången på organiskt material som ämnet kan reagera med antas vara begränsat till mängden drivmedel i fordonet, vanligen inte mer än 400 kg.

### Pölbrand

Pölbrand antas ge samma konsekvenser som en medelstor pölbrand från farligt gods klass 3. För konsekvensberäkning se konsekvensberäkning för stor pölbrand ovan.

### Explosion

Explosionsförloppet approximeras till detsamma för en mindre explosion av farligt gods klass 1. För konsekvensberäkning se konsekvensberäkning för explosion ovan.





Trafikverket, 405 33 Göteborg. Besöksadress: Kruthusgatan 17.  
Telefon: 0771-921 921, Texttelefon: 010-123 50 00

[www.trafikverket.se](http://www.trafikverket.se)