

Beräkningsbilaga

Kund
Lidköping kommun

Beräkningsbilaga till Riskutredning avseende farligt gods i Framnäs, Lidköping

Uppdragsledare: Jennifer Wolsing
Handläggare: Gustaf Zetterberg
Intern kvalitetsgranskning: Sohrab Nassiri



AFRY

ÅF PÖRY

Beräkningsbilaga

Innehållsförteckning

1	Inledning.....	4
2	Personbelastning	5
3	Väderdata	6
3.1	Vindhastighet	6
3.1.1	Stabilitetsklass.....	7
3.2	Vindriktning	8
4	Olycka med farligt gods	10
4.1	Fördelning av farligt gods.....	10
4.2	Frekvensberäkningar för olycka med farligt gods	12
4.2.1	Olycksscenario	15
4.2.2	Summering av frekvensberäkningar	24
4.3	Konsekvensberäkningar för olycka med farligt gods	25
4.3.1	Generella sårbarhetsparametrar	25
4.3.2	Klass 1 – Explosiva ämnen och föremål	26
4.3.3	Klass 2.1 – Brandfarliga gaser.....	28
4.3.4	Klass 2.3 – Giftiga gaser.....	30
4.3.5	Klass 3 – Brandfarliga vätskor	31
4.3.6	Klass 5 – Oxiderande ämnen och organiska peroxider.....	31
	Referenser.....	32



AFRY

Å F P Ö Y R Y

Beräkningsbilaga

Dokumenthistorik

Version	Datum	Revidering	Ansvarig
1.0	2022-09-22	Första utgivna version.	Jennifer Wolsing och Gustaf Zetterberg
2.0	2022-09-30	Slutversion	Jennifer Wolsing
2.1	2022-10-13	Slutversion	Jennifer Wolsing och Gustaf Zetterberg
3.0	2023-08-31	Slutversion. Justerat datum på huvudrapport samt mindre stavfel.	Jennifer Wolsing



AFRY

Å F P Ö Y R Y

Beräkningsbilaga

1 Inledning

Den här beräkningsbilagan beskriver förutsättningar och indata för den kvantitativa analysen vars resultat beskrivs i följande dokument:

- Riskutredning avseende farligt gods i Framnäs, Lidköping, 2023-08-31

Beräkningsbilagan omfattar följande områden:

- Personbelastning
- Väderdata
- Olycka med farligt gods



2 Personbelastning

Personbelastningen är relevant för beräkningar med avseende på samhällsrisk. Personbelastningen tas fram för ett kvadratisk område med arean 1 km² i anslutning till transportleden för farligt gods eftersom kriterierna för samhällsrisk generellt tillämpas på ett sådant område.

Personbelastningen redovisas för två alternativ där det ena är utvecklingsalternativet, dvs. förväntad personbelastning inom området till följd av planförslaget, medan det andra är ett nollalternativ (nuvarande utformning med trafikmängd 2040) för att kunna resonera kring ökningen i samhällsrisk som planförslaget medför. För båda alternativen tillämpas en personbelastning för 2040.

Det aktuella området utgörs av totalt 8 delområden utifrån persontäthet. Dessa delområden illustreras i figurer i huvudrapporten samt med tabeller som beskriver antalet personer dag/natt och nyttjandegrad.

Antaganden bedöms generellt som konservativa eftersom vissa tillägg har gjorts och att många personer troligtvis endast stannar någon enstaka timme på badhus, idrottsplatser och museum. Fotbollsplanerna antas försvinna när tillkommande detaljplan genomförts då dessa delvis planeras på samma område.

Kommande avsnitt redogör för följande parametrar för samtliga områden:

- Antalet personer i området för såväl dagtid som nattetid
- Andel personer inomhus för såväl dagtid som nattetid
- Nyttjandegrad

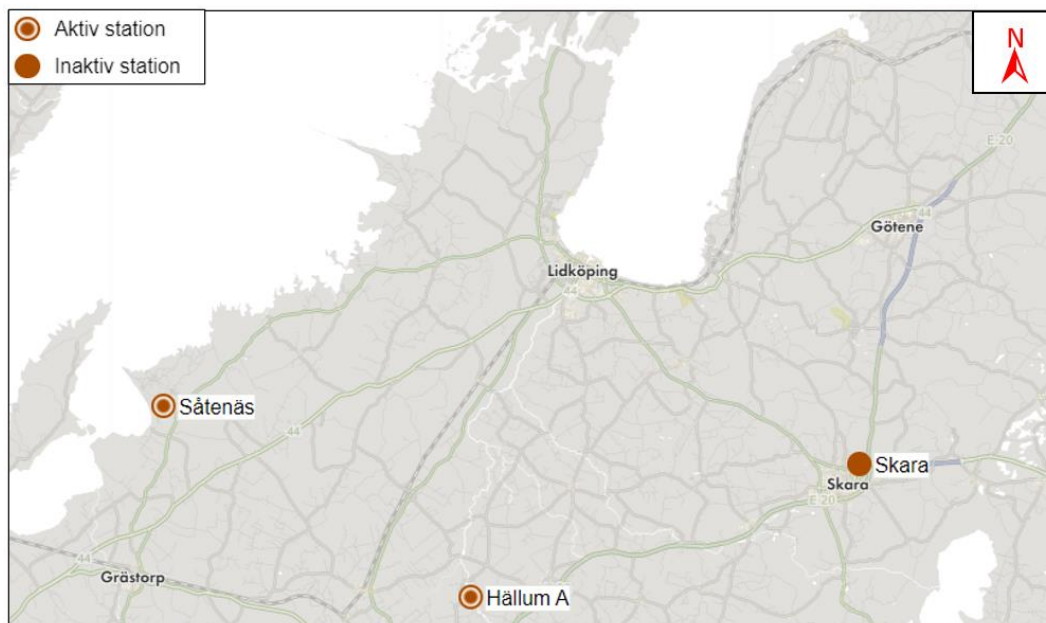
Antalet personer i området beskriver hur många personer som befinner sig i området under såväl dagtid som nattetid. Andelen personer inomhus beskriver hur stor andel av personbelastningen som befinner sig inomhus och anges för såväl dagtid som nattetid. Nyttjandegraden beskriver hur många dagar av året ett visst område används.

Andelen personer inomhus under dagtid och nattetid ansätts till 93% respektive 99%, vilket föreslås för bostadsområden av programvaran Riskcurves [1] [2] och används för alla områden vilket är ett konservativt antagande i de kvantitativa beräkningarna. Nyttjandegraden är satt till 365 dagar/år för alla områden vilket också är ett konservativt antagande till följd av semestrar, helger med mera då personer möjligtvis inte befinner sig i lika stor utsträckning inom områdena.



3 Väderdata

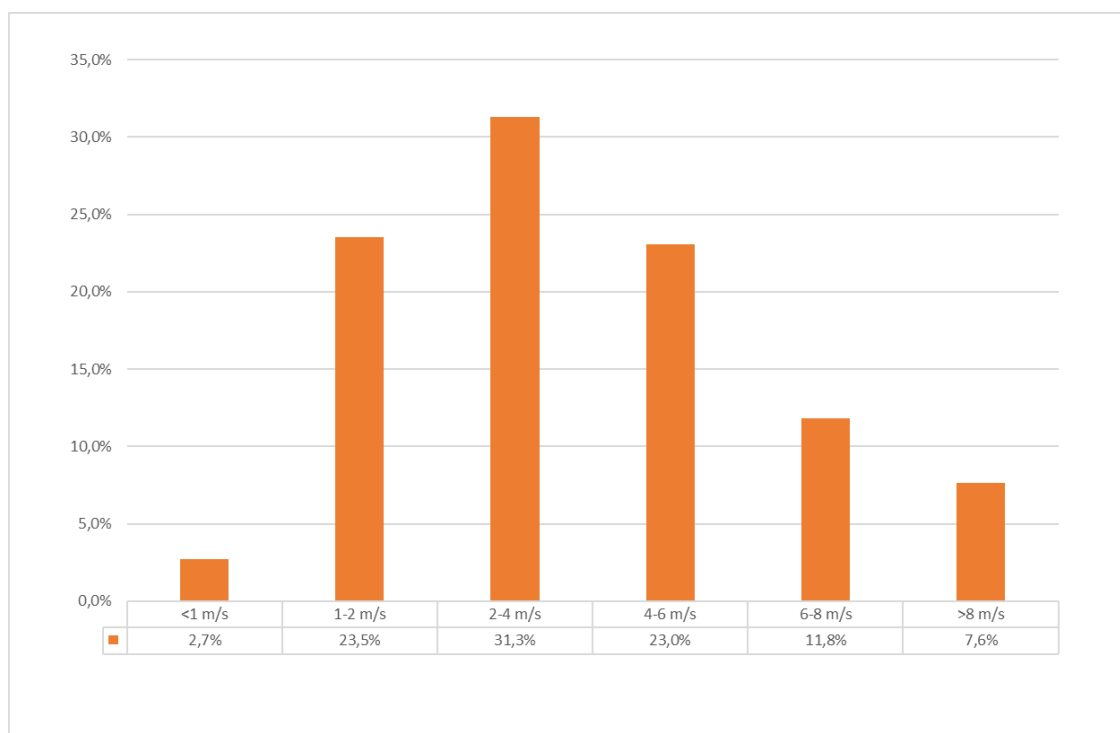
Den närmaste mätstationen tillhörande SMHI i förhållande till planområdet benämns Såtenäs. Figur 3-1 visar placeringen av mätstationen i förhållande till planområdet. Data från mätstationen avseende vindhastighet och vindriktning mellan 1992 och 2022 har hämtats från SMHIs öppna databas [3].



Figur 3-1. Placering av planområdet och mätstationen Såtenäs.

3.1 Vindhastighet

Vindens hastighet påverkar till stor del resultatet av spridningsberäkningar i samband med utsläpp av gas. Vid låga vindhastigheter erhålls högre koncentrationer av gas i olyckans närhet. I Figur 3-2 visas fördelningen av vindhastighet vid mätstationen Såtenäs från ovan nämnda data. Medelvärdet under den aktuella perioden var 4,4 m/s och vindstilla förhållanden uppmättes under ca. 2,27% av tiden.



Figur 3-2. Fördelning av vindhastighet vid mätstationen Sätenäs, 1992 – 2022.

3.1.1 Stabilitetsklass

I beräkningsmodellen används Pasquills stabilitetsklasser som beskriver turbulensen i luftmassan närmast jordens yta, dvs. hur stabil eller instabil luftmassan närmast jordens yta är. Turbulensen beror främst på mängden solinstrålning. Vid högre nivåer av solinstrålning värms luften närmast marken upp och rör sig därmed uppåt vilket medför turbulens i luftmassan. Därför är luften generellt stabil under natten då det inte finns någon solinstrålning.

Stabiliteten av luftmassan har stor påverkan för hur ett utsläpp av gas sprids i luften. En mer stabil luftmassa medför mindre omfattande omblandning och därmed mindre omfattande utspädning av den utsläppta gasen. Detta innebär att högre koncentrationer av gas erhålls på längre avstånd från utsläppet vid stabila förhållanden jämfört med instabila förhållanden. Pasquills stabilitetsklasser beskrivs i Tabell 3-1.



Beräkningsbilaga

Tabell 3-1. Beskrivning av Pasquills stabilitetsklasser [4, 5].

Turbulens	Beskrivning, väderförhållande	Pasquills stabilitetsklass	Ungefärliga vindhastigheter [m/s]
Instabil	Måttligt till mycket solinstrålning, dvs. soligt molnfritt väder, där solen står högt på himlen, (vinkel större än 60 grader), och måttliga till svaga vindar gör att atmosfären blir instabil.	A: Extremt instabilt	<2,5
		B: Måttligt instabilt	2,5-4
		C: Svagt instabilt	>4
Neutral	Relativt starka vindar och måttlig solinstrålning, dvs. molnig väderlek och/eller klar väderlek där solen står lågt på himlen (vinkel mellan 15 och 35 grader) är associerade med neutral/måttlig turbulens	D: Neutral	0-15
Stabil	Låg/ingen solinstrålning och svaga vindar. Sker främst under natten.	E: Svagt stabilt	>2,5
		F: Måttligt - extremt stabilt	<2,5

För att ta höjd för olika förhållanden av vindhastighet och stabilitetsklasser används tre olika kombinationer av dessa parametrar:

- 2F: Stabilitetsklass F, vindhastighet 2 m/s
- 2D: Stabilitetsklass D, vindhastighet 2 m/s
- 5D: Stabilitetsklass D, vindhastighet 5 m/s

De valda vädersscenarierna bedöms som representativa och rimligt konservativa. Fördelningen mellan de olika vädersscenarierna för såväl dagtid som nattetid har uppskattats baserat på data avseende vindhastighet från mätstationen Såtenäs och presenteras i Tabell 3-2.

Tabell 3-2. Fördelning av väderförhållanden under dagtid och nattetid.

Väderförhållande	Dag [%]	Natt [%]
2F	5	15
2D	30	45
5D	65	40
Summa	100	100

3.2 Vindriktning

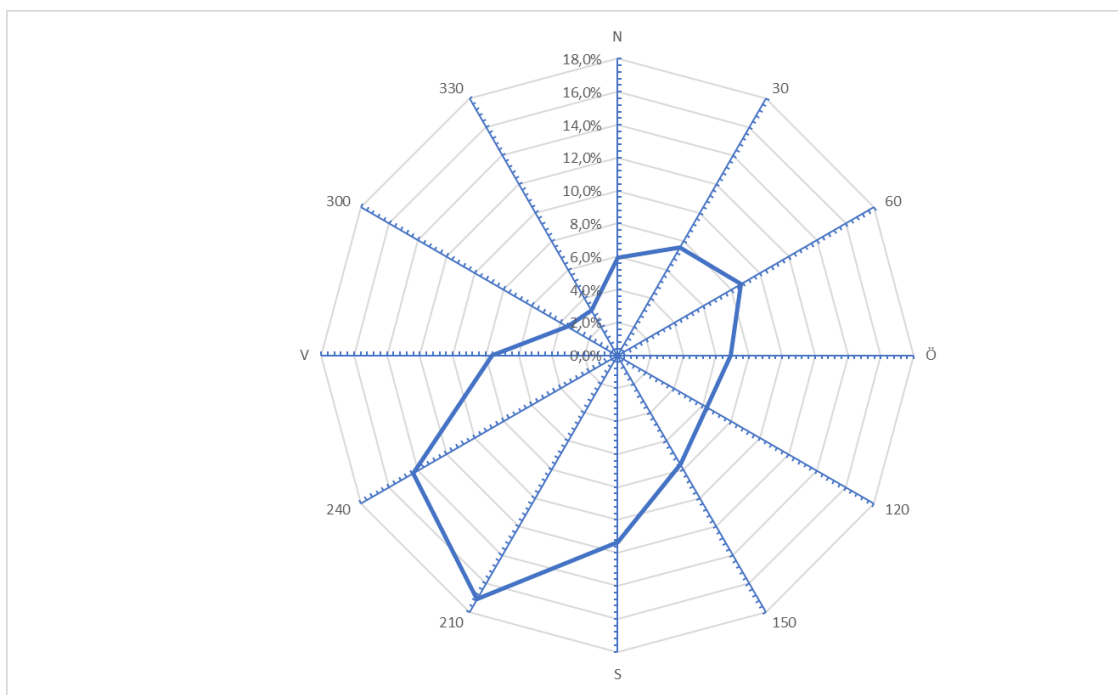
Vindriktningen anges generellt i det väderstreck som det blåser från och inverkar vid spridning av gaser genom att sprida gaserna bort från det väderstreck som det blåser från. I Figur 3-3 visas fördelningen av vindriktning vid mätstationen Såtenäs från ovan nämnda data. Figur 3-3 visar att den dominerande vindriktningen är sydväst.



AFRY

ÅF PÖYRY

Beräkningsbilaga



Figur 3-3. Fördelning av vindfördelning vid mätstation Sätenäs, 1992 – 2022.



4 Olycka med farligt gods

Följande olycksscenarier som involverar transport av farligt gods utreds i riskutredningen:

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

4.1 Fördelning av farligt gods

Det här avsnittet redogör för transporter av olika ämnesklasser av farligt gods på väg och järnväg. Farligt gods delas generellt in i följande klasser:

- Klass 1 – Explosiva ämnen och föremål
- Klass 2 – Gaser
 - Klass 2.1 – Brandfarliga gaser
 - Klass 2.2 – Icke brandfarliga och icke giftiga gaser
 - Klass 2.3 – Giftiga gaser
- Klass 3 – Brandfarliga vätskor
- Klass 4 – Brandfarliga fasta ämnen
 - Klass 4.1 – Brandfarliga fasta ämnen, självreaktiva ämnen och fasta okänsliggjorda explosivämnen
 - Klass 4.2 – Självantändande ämnen
 - Klass 4.3 – Ämnen som utvecklar brandfarlig gas vid kontakt med vatten
- Klass 5 – Oxiderande ämnen och organiska peroxider
 - Klass 5.1 – Oxiderande ämnen
 - Klass 5.2 – Organiska peroxider
- Klass 6 – Giftiga och smittförande ämnen
 - Klass 6.1 – Giftiga ämnen
 - Klass 6.2 – Smittförande ämnen
- Klass 7 – Radioaktiva ämnen
- Klass 8 – Frätande ämnen
- Klass 9 – Övriga farliga ämnen och föremål

I riskutredningen för projektet beskrivs olycksscenario vid olycka med farligt gods för de ovan nämnda klasserna av farligt gods. Baserat på beskrivningen beaktas följande klasser av farligt gods i beräkningarna:

- Klass 1 – Explosiva ämnen och föremål
- Klass 2.1 – Brandfarliga gaser
- Klass 2.3 – Giftiga gaser
- Klass 3 – Brandfarliga vätskor
- Klass 5 – Oxiderande ämnen och organiska peroxider

I samband med transport på väg används benämningen ADR-klasser för de olika klasserna av farligt gods. Fördelningen av transporter av olika klasser av farligt gods på den aktuella vägsträckan uppskattas utifrån nationell statistik. Nationell statistik över antal transporter, godsmängd och transportarbete för svenskregistrerade transporter av farligt gods redovisas i Trafikanalys. Transportarbetet uttrycks generellt i enheten tonkilometer och en tonkilometer innebär en förflyttning av ett ton gods en kilometer.

Tabell 4-1 visar den genomsnittliga fördelningen av olika klasser av farligt gods utifrån antal transporter, godsmängd och transportarbete. Fördelningen i Tabell 4-1 baseras på uppgifter från Trafikanalys [6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15] mellan 2012 och 2021. Tabell 4-1 visar



Beräkningsbilaga

dessutom medelvärdet av den genomsnittliga fördelningen baserat på antal transporter, godsmängd och transportarbete.

Den genomsnittliga fördelningen har använts som grund för ett justerat värde på Läckögatan. Information från Räddningstjänsten indikerar att det förekommer främst transporter av klass 2, 3 och 9 och styckegods i centrala Lidköping. Eftersom klass 1, 2, 3 och 5 används i beräkningarna har klass 1 och 9 fått behålla den generella andelen men klass 4, 5, 6, 7 och 8 har halverats. Därefter lades den de återstående procentandelarna till i klass 2 och 3 med vardera 6,06 %.

Tabell 4-1. Fördelning av farligt gods på väg mellan 2012 och 2021 baserat på information från Trafikanalys [6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15].

Klass	Antal transporter [%]	Godsmängd [%]	Transportarbete [%]	Medelvärde [%]
1	2,05	0,49	0,37	0,97
2	21,16	14,61	22,35	19,38
3	49,42	55,66	47,37	50,82
4.1	0,32	0,30	0,40	0,34
4.2	0,98	0,35	0,62	0,65
4.3	1,51	2,47	2,54	2,18
5.1	2,69	2,40	2,33	2,47
5.2	0,09	0,05	0,09	0,07
6.1	4,73	4,63	4,59	4,65
6.2	0,75	0,12	0,16	0,34
7	0,04	0,01	0,06	0,04
8	11,88	13,72	14,96	13,52
9	4,45	5,18	4,17	4,60
Totalt	100	100	100	100

Beräkningarna i den här riskutredningen utgår från medelvärdet som presenteras i Tabell 4-1. Underklasserna till klass 4, klass 5 och klass 6 behandlas gemensamt. Tabell 4-1 redovisar inte statistik för underklasserna av klass 2. Klass 2 utgörs av gaser och består av följande underklasser:

- Klass 2.1 – Brandfarliga gaser
- Klass 2.2 – Icke brandfarliga och icke giftiga gaser
- Klass 2.3 – Giftiga gaser

Beroende på vilken typ av gas som är involverad i en olycka så kommer händelseförloppet se olika ut. Därför krävs en mer detaljerad uppdelning av underklasserna av klass 2. Dåvarande Räddningsverket genomförde en undersökning av transporter av farligt gods i ton på det svenska vägnätet under september 2006 [16]. Enligt dåvarande Räddningsverkets undersökning [16] stod underklasserna 2.1, 2.2 och 2.3 för 23,64%, 76,20% respektive 0,16% av den totala mängden av vägtransporter av farligt gods i klass 2. Baserat på uppgifterna i Tabell 4-1 står klass 2 för 25,43 % av transportererna av farligt gods på väg. Uppdelningen av klass 2 i underklasserna 2.1, 2.2 och 2.3 görs efter fördelningen i Räddningsverkets undersökning [16], vilket medför att underklasserna 2.1, 2.2 och 2.3 står för 6,01%, 19,38% respektive 0,04% av den totala mängden av vägtransporter av farligt gods. För att erhålla konservativa resultat tillämpas en fördelning på 0,10% för klass 2.3. Ökningen från 0,04% till 0,10% i fördelningen för klass 2.3 sker på bekostnad av fördelningen för klass 2.2 som därför justeras från 19,38% till 19,32%.



Beräkningsbilaga

Fördelningen av farligt gods på väg som används i beräkningarna i den här riskutredningen redovisas i Tabell 4-2.

Tabell 4-2. Fördelning av farligt gods på väg som används i beräkningar.

Klass	Fördelning
1	0,97%
2.1	6,01%
2.2	19,32%
2.3	0,10%
3	56,87%
4	1,58%
5	1,27%
6	2,49%
7	0,02%
8	6,76%
9	4,60%
Totalt	100

4.2 Frekvensberäkningar för olycka med farligt gods

Följande avsnitt beskriver de modeller som har använts för frekvensberäkningar för olyckor på Läckögatan. Använda modeller är baserade på erkända källor som normalt används i samband med riskutredningar för detaljplaneprocesser.

I det här avsnittet presenteras modellen som har använts för frekvensberäkningarna för olycka med farligt gods på väg. Frekvensberäkningar för olycka med farligt gods på väg har genomförts för år 2040. Den studerade delen av den aktuella vägsträckan är 1 km.

Frekvensberäkningarna för olycka med farligt gods på väg har genomförts enligt den så kallade VTI-metoden som presenteras i Räddningsverkets dokument *Farligt gods – Riskbedömning vid transport* [17]. Metoden analyserar och kvantifierar riskerna med transport av farligt gods mot bakgrund av svenska förhållanden. Vid uppskattning av frekvensen för olycka med farlig gods på en specifik vägsträcka finns det två alternativ, antingen att använda olycksstatistik för sträckan eller att uppskatta antalet olyckor med hjälp av den så kallade olyckskvoten för vägavsnittet. I denna riskanalys används det senare av dessa alternativ.

Enligt Räddningsverket [17] kan antalet förväntade olyckor med farligt gods beräknas som:

$$F_{Olycka\ FG} = O \cdot ((X \cdot Y) + (1 - Y) \cdot (2 \cdot X - X^2))$$

Där

- $F_{Olycka\ FG}$ = förväntat antal olyckor med farligt gods
- O = förväntat antalet olyckor med samtliga fordonsslag
- X = andel singelolyckor
- Y = andel transporter skyltade med farligt gods

Det förväntade antalet olyckor med samtliga fordonsslag beräknas som:

$$O = OK \cdot S_{samtliga\ fordonsslag} \cdot 10^{-6}$$

Där



Beräkningsbilaga

- OK = olyckskvot, förväntat antalet olyckor per miljon fordonskilometer
- $S_{\text{samtliga fordonsslag}}$ = sammanlagt antal fordonskilometer för samtliga fordonsslag

Såväl andelen singelolyckor som olyckskvoten beror på ett antal vägparametrar såsom vägtyp och hastighetsgräns. I Räddningsverkets dokument [17] anges andelen singelolyckor och olyckskvoten för olika kombinationer av bebyggelsemiljö, hastighetsgräns och vägtyp. Bebyggelsemiljö, hastighetsgräns och vägtyp för den aktuella vägsträckan motsvarar tätort, 50 km/h respektive gata/väg. Enligt Räddningsverkets dokument [17] bestäms andelen singelolyckor till 0,15 och olyckskvoten till 1,2 för den aktuella vägsträckan.

Om antalet fordonskilometer för samtliga fordonsslag anges för ett år så erhålls det årliga förväntade antalet olyckor. Antalet fordonskilometer för ett år beräknas som:

$$S_{\text{samtliga fordonsslag, år}} = \dot{A}DT_{\text{total}} \cdot 365 \cdot l_{\text{vägsträcka}}$$

Där

- $S_{\text{samtliga fordonsslag, år}}$ = antal fordonskilometer för ett år för samtliga fordonsslag
- $\dot{A}DT_{\text{total}}$ = total årsmedeldygnstrafik för samtliga fordonsslag
- $l_{\text{vägsträcka}}$ = den aktuella vägsträckans längd uttryckt i kilometer

$\dot{A}DT$ för den totala trafiken har erhållits från en trafikmätning gjord i september 2022. För den aktuella vägsträckan var $\dot{A}DT$ för den totala trafiken 9 337.

Andelen transporter skyltade med farligt gods (benämns Y i metoden i Räddningsverkets dokument [17]) beräknas som:

$$Y = \dot{A}DT_{FG} \div \dot{A}DT_{\text{total}}$$

Där

- Y = andel transporter skyltade med farligt gods
- $\dot{A}DT_{FG}$ = årsmedeldygnstrafiken för farligt gods

$\dot{A}DT$ för farligt gods på Läckögatan antas utgöra 4% av $\dot{A}DT$ för tung trafik. $\dot{A}DT$ för tung trafik har erhållits från samma trafikmätning som nämnts ovan. För den aktuella vägsträckan var $\dot{A}DT$ för tung trafik 467 under år 2022. Baserat på ovanstående beräknas $\dot{A}DT_{FG}$ till 19 för 2022.

För att beräkna förväntad $\dot{A}DT$ för 2040 tillämpas Trafikverkets trafikuppräkningsstal [18]. Trafikuppräkningsstalen anges för såväl lastbil som personbil och presenteras för Östra VVÄ och Västra Götaland i Tabell 4-3.

Tabell 4-3. Trafikuppräkningsstal för Östra VVÄ och Västra Götaland [18].

Trafikuppräkningsstal	Personbil	Lastbil
Prognos 2017-2040 (kvot)	1,22	1,48

Ökningen mellan 2017 och 2040 respektive 2040 och 2065 antas vara linjär. Baserat på ovanstående beräknas trafikuppräkningskvoten mellan 2022 och 2040 till 1,16 för personbil och 1,34 för lastbil. Kvoten för lastbil appliceras på $\dot{A}DT$ för tung trafik medan trafikuppräkningsstal för personbil appliceras på $\dot{A}DT$ för total trafik exklusive $\dot{A}DT$ för tung trafik. $\dot{A}DT$ för farligt gods antas utgöra 4% av $\dot{A}DT$ för tung trafik för såväl 2022 som 2040.

Trafikuppgifter för 2022 och 2040 på den aktuella vägsträckan sammanfattas i Tabell 4-4.

Tabell 4-4. Trafikuppgifter för 2022 och 2040.



Beräkningsbilaga

ÅDT	2022	2040
Total trafik	9 337	10 953
Tung trafik	467	626
Farligt gods	19	25

Tabell 4-5 redovisar frekvens och återkomsttid för olycka med farligt gods på den aktuella sträckan baserat på förväntad ÅDT för 2040.

Tabell 4-5. Frekvens och återkomsttid för olycka med farligt gods på väg.

Parameter	Värde
Frekvens för olycka med farligt gods (per år)	42,03E-02
Återkomsttid för olycka med farligt gods (år)	49

För att beräkna frekvensen för en olycka med en viss klass av farligt gods krävs kännedom om andelen transporter som innehåller den aktuella klassen av farligt gods. För varje enskild klass av farligt gods beräknas frekvensen för olycka som:

$$F_{olycka, Klass X} = F_{olycka FG} \cdot A_{Klass X}$$

Där

- $F_{olycka, Klass X}$ = Frekvens olycka med farligt gods i Klass X, redovisas i Tabell 4-6
- $F_{olycka FG}$ = förväntat antal olyckor med farligt gods, redovisas i Tabell 4-5
- $A_{Klass X}$ = andel transporter av Klass X

Frekvensen för olycka med olika klasser av farligt gods redovisas i Tabell 4-6. De ämnesklasser av farligt gods som redovisas i Tabell 4-6 är enbart ämnesklasserna som beaktas i beräkningarna enligt avsnitt 4.1.



Beräkningsbilaga

Tabell 4-6. Frekvens för olycka på väg med olika klasser av farligt gods

Olycka med transport innehållande	Frekvens per år
Klass 1 – Explosiva ämnen och föremål	9,84E-05
Klass 2.1 – Brandfarliga gaser	4,64E-04
Klass 2.3 – Giftiga gaser	1,01E-05
Klass 3 – Brandfarliga vätskor	5,15E-03
Klass 5 – Oxiderande ämnen och organiska peroxider	2,58E-04

4.2.1 Olycksscenario

Olika utfall av en olycka är möjliga beroende på vilken klass av farligt gods som är involverad i olyckan. Det här avsnittet redovisar händelsesträd med möjliga olycksscenarioer för de klasser av farligt gods som kan medföra påverkan på människor så att dessa förväntas omkomma. Följande klasser beaktas i enlighet med beskrivningen av olycksscenarioer vid olycka med farligt gods i riskutredningen:

- Klass 1 – Explosiva ämnen och föremål
- Klass 2.1 – Brandfarliga gaser
- Klass 2.3 – Giftiga gaser
- Klass 3 – Brandfarliga vätskor
- Klass 5 – Oxiderande ämnen och organiska peroxider

4.2.1.1 Klass 1 – Explosiva ämnen och föremål

Explosiva ämnen och föremål delas in i 6 klasser som benämns klass 1.1 – 1.6. Av dessa klasser är det primärt klass 1.1 (ämnen och föremål som har en risk för massexlosion) som har ett skadeområde som är så pass utbredd att det bedöms kunna medföra påverkan på människor som befinner utanför olycksplatsens närområde. Det antas att samtliga transporter av explosiva ämnen och föremål utgörs av ämnen och föremål som har en risk för massexlosion.

Beroende på fordonsklass kan olika mängder av klass 1.1 transporteras, vilket ger olika potentiella olycksscenarioer. Med högsta fordonsklass kan maximal mängd massexplosiva varor transporteras i upp till 16 ton per transport men de flesta transporter innefattar endast små mängder av massexplosiva varor. Statistikunderlaget för transporter av ämnen i klass 1.1 är begränsat. Det antas att 98% av samtliga transporter sker med 20 kg medan resterande 2% sker med 16 000 kg massexplosiva varor.

Det faktum att ett fordon som transporterar explosiva varor är inblandat i olycka innebär inte nödvändigtvis att en explosion uppstår. Reaktion i det explosiva materialet kan uppstå vid brand som sprider sig till lasten eller om godset utsätts för en mycket kraftig stöt i samband med olyckan.

Sannolikheten för en brand i fordonet i samband med en olycka bedöms vara beroende av fordonets hastighet vid olyckan. För olyckor på väg, där hastigheten kan variera i stor utsträckning, beräknas sannolikheten för brand i fordon som:

$$P_{fordonsbrand} = 0,01 \cdot I_{Olycka FG väg} \div 0,42$$

Där

- $P_{fordonsbrand}$ = sannolikhet för fordonsbrand vid olycka
- $I_{Olycka FG väg}$ = Index för olycka med farligt gods, erhålls från [17]



Beräkningsbilaga

Ovanstående formel medför att sannolikheten för brand i fordon för en väg med högst index för olycka med farligt gods enligt [17] motsvarar 1%. Baserat på den aktuella vägsträckans bebyggelsemiljö, hastighetsgräns och vägtyp är index för olycka med farligt gods 3% enligt [17].

Sannolikheten för att branden sprider sig till lasten är beroende av fordonsklassen som används för transporten. Den högsta transporterade mängden, dvs. 16 000 kg, förutsätter högsta fordonsklass. Utifrån detta antas sannolikheten för att en brand sprider sig till lasten vara 10% för transporter av 16 000 kg explosiva varor och 50% för transporter av 20 kg explosiva varor.

En explosion kan inträffa även om en brand inte uppstår i samband med olyckan. Det kräver att godset utsätts för en mycket kraftig stöt i samband med olyckan. Sannolikheten för en stötinitierad detonation i samband med en olycka är beroende av fordonets hastighet vid olyckan. För en stötinitierad detonation i det explosiva materialet krävs generellt mycket höga kollisionshastigheter. HMSO anger att sannolikheten för en stötinitierad detonation vid en kollision är mindre än 0,2% [19]. För olyckor på väg, där hastigheten kan variera i stor utsträckning, beräknas sannolikheten för stötinitierad detonation som:

$$P_{\text{kraftig stötinitiering}} = 0,002 \cdot I_{\text{Olycka FG väg}} \div 0,42$$

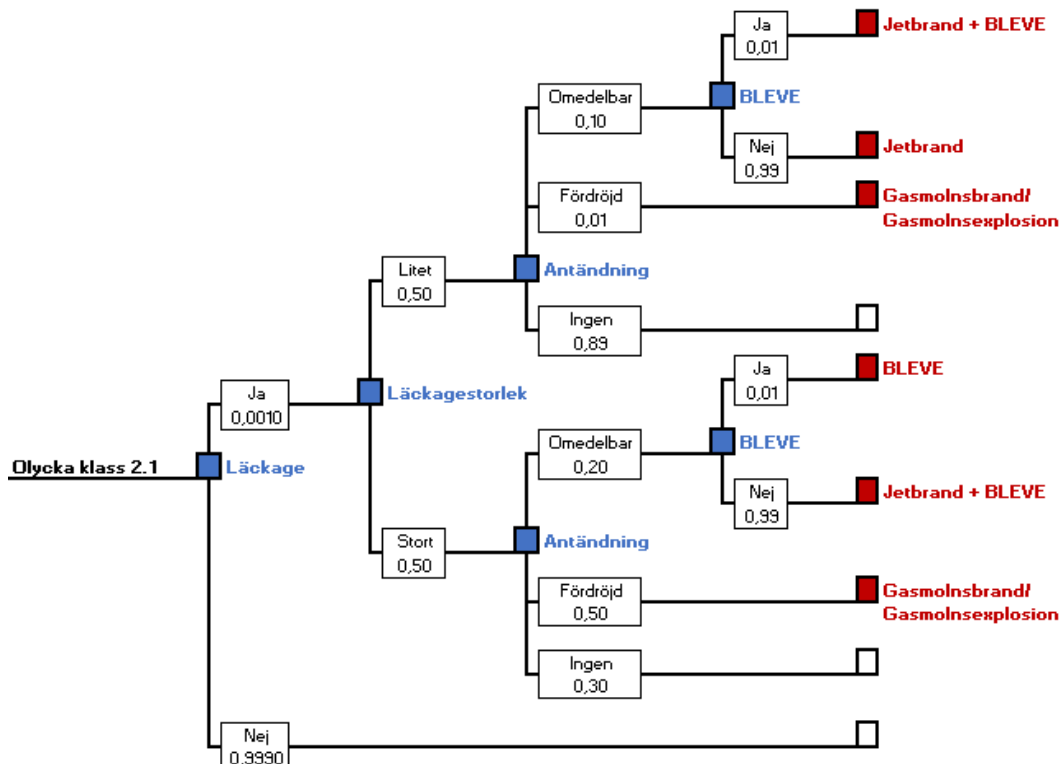
Där

- $P_{\text{kraftig stötinitiering}}$ = sannolikhet för kraftig stötinitiering vid olycka
- $I_{\text{Olycka FG väg}}$ = Index för olycka med farligt gods, erhålls från [17]

Ovanstående formel medför att sannolikheten för stötinitierad detonation för en väg med högst index för olycka med farligt gods enligt [17] motsvarar 0,2%. Baserat på den aktuella vägsträckans bebyggelsemiljö, hastighetsgräns och vägtyp är index för olycka med farligt gods 3% enligt [17].

Händelsetråd

Ovanstående resonemang sammanfattas i Figur 4-1 som visar händelsetrådet för olyckor med brandfarliga vätskor.



Figur 4-1. Händelsetråd för olycka med explosiva ämnen och föremål.

4.2.1.2 Klass 2.1 – Brandfarliga gaser

Gaser transporteras generellt under övertryck i tjockväggiga tankar. Det faktum att ett fordon som transporterar brandfarlig gas är inblandat i olycka innebär inte nödvändigtvis att ett läckage av gas uppstår. I de flesta fall uppstår inget hål i tanken och därför strömmar inget av innehållet ut. Läckage som trots allt uppstår delas upp i små läckage och stora läckage. Ett litet läckage antas motsvara en punktering med en hålstorlek på 10 mm medan ett stort läckage antas motsvara en punktering med en hålstorlek på 50 mm.

Sannolikheten för att tanken skadas och ett läckage uppstår är beroende av fordonets hastighet vid olyckan. För olyckor på väg, där hastigheten kan variera i stor utsträckning, erhålls sannolikheten för läckage från [17]. Baserat på den aktuella vägsträckans bebyggelsemiljö, hastighetsgräns och vägtyp är sannolikheten för läckage 0,1% [17]. I [17] anges ingen fördelning mellan litet läckage och stort läckage. Därför antas att små läckage och stora läckage utgör 50% vardera.

De skadehändelser som kan uppkomma givet ett läckage av brandfarlig gas är jetbrand, gasmolnsbrand/gasmolnsexplosion och BLEVE (Boiling Liquid Expanding Vapor Explosion).

Jetbrand

En jetbrand uppstår då gas strömmar ut genom ett hål i en flaska och direkt antänds. Därmed bildas en jetflamma. Flammans längd beror av storleken på hålet i flaskan samt trycket i denna. Sannolikheten för direkt antändning beror på läckagets storlek och ansätts till 10% för litet läckage och 20% för stort läckage [20].

Gasmolnsbrand/gasmolnsexplosion

Om gasen vid ett läckage inte antänds direkt uppstår ett gasmoln av brandfarlig gas. Luftinblandningen i gasmolnet ökar med tiden och avgör huruvida en fördröjd antändning av gasmolnet leder till en gasmolnsbrand eller en gasmolnsexplosion. För att en fördröjd



AFRY

ÅF PÖRY

Beräkningsbilaga

antändning ska ske krävs som regel ett större läckage [20] men konservativt ansätts en sannolikhet för fördröjd antändning även vid mindre läckage. Sannolikheten för fördröjd antändning antas vara 1% för litet läckage och 50% för stort läckage. 60% av de fördröjda antändningarna leder till gasmolnsbrand medan resterande 40% leder till gasmolnsexplosion [4].

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 antänds vid ett senare skede kommer mer luft att ha blandats med den brandfarliga gasen. Antändning kan medföra en gasmolnsexplosion vid vissa koncentrationer av brandfarlig gas samt om gasmolnet består av en tillräckligt stor mängd brännbar gas och luft. Explosionen blir i de allra flesta fallen av typen deflagration.

En gasmolnsbrand/gasmolnsexplosion kan beroende på vindstyrka och riktning inträffa en bit ifrån själva olycksplatsen. För att gasmolnbranden/gasmolnsexplosionen ska ge störst skada krävs att gasmolnet driver mot planområdet. Detta sker när vindriktningen är mot området.

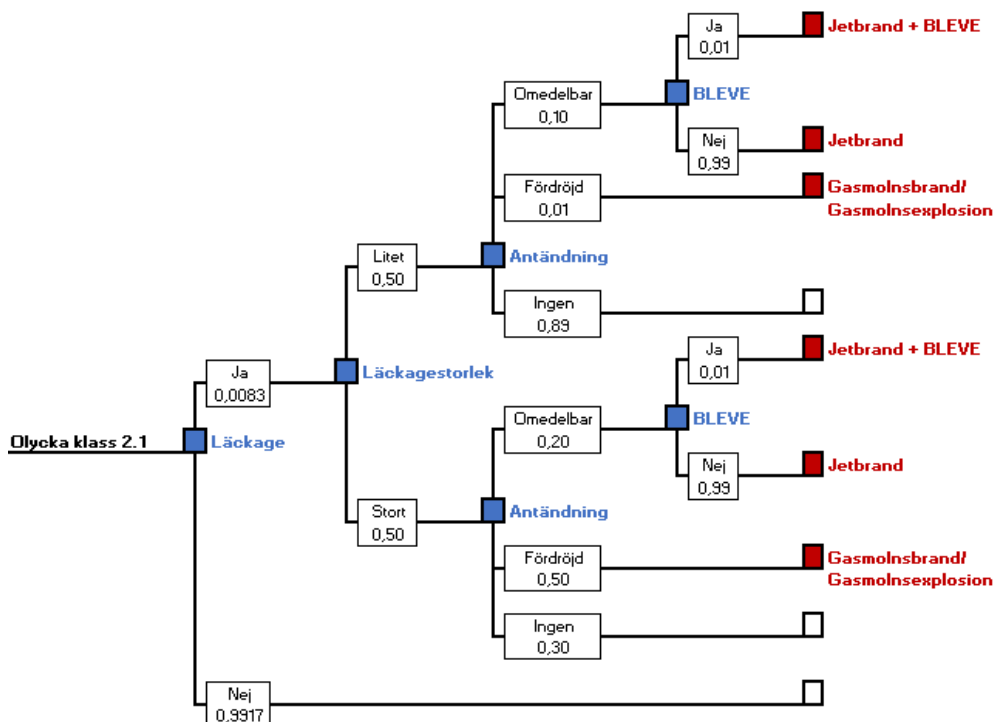
BLEVE

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.

Eftersom gasmolnsbrand/gasmolnsexplosion är kortvariga händelser bedöms BLEVE inte kunna inträffa i samband med dessa händelser. Däremot är en jetbrand mer långvarig och bedöms därför kunna orsaka BLEVE. Sannolikheten för BLEVE givet en jetbrand antas vara 1%.

Händelsetråd

Ovanstående resonemang sammanfattas i Figur 4-2 som visar händelseträdet för olyckor med brandfarliga gaser.



Figur 4-2. Händelseträd för olycka med brandfarlig gas.

4.2.1.3 Klass 2.3 – Giftiga gaser

Gaser transporteras generellt under övertryck i tjockväggiga tankar. De giftiga gaserna antas vara ammoniak och klor, vilket bedöms vara en rimlig representation över de giftiga gaser som faktiskt transporteras. Sannolikheten för transport av ammoniak och klor sätts till 80% respektive 20%. Ammoniak representerar gaser som är måttligt giftiga medan klor representerar gaser som är mycket giftiga.

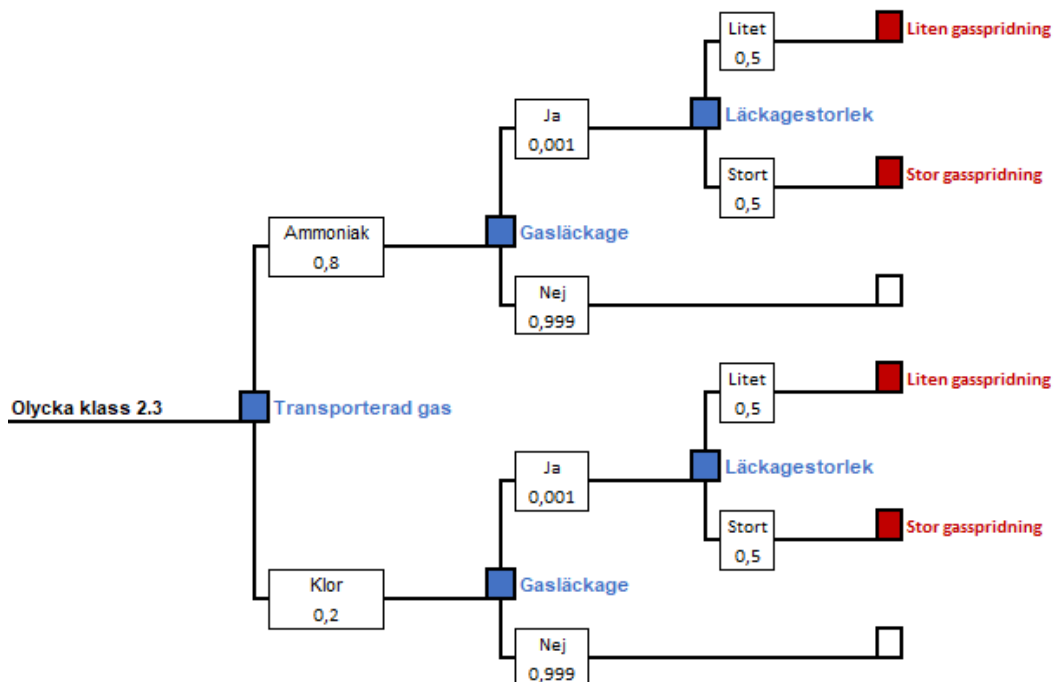
Det faktum att ett fordon som transporterar giftig gas är inblandat i olycka innebär inte nödvändigtvis att ett läckage av gas uppstår. I de flesta fall uppstår inget hål i tanken och därför strömmar inget av innehållet ut. Läckage som trots allt uppstår delas upp i små läckage och stora läckage. Ett litet läckage antas motsvara en punktering med en hålstorlek på 10 mm medan ett stort läckage antas motsvara en punktering med en hålstorlek på 50 mm.

Sannolikheten för att tanken skadas och ett läckage uppstår är beroende av fordonets hastighet vid olyckan. För olyckor på väg, där hastigheten kan variera i stor utsträckning, erhålls sannolikheten för läckage från [17]. Baserat på den aktuella vägsträckans bebyggelsemiljö, hastighetsgräns och vägtyp är sannolikheten för läckage 0,1% enligt [17]. I [17] anges ingen fördelning mellan litet läckage och stort läckage. Därför antas att små läckage och stora läckage utgör 50% vardera.

Vid ett läckage av giftig gas har vindhastighet och vindriktning en stor inverkan på spridningen av gasen och därmed konsekvenserna i samband med läckaget. Platsspecifika väderdata presenteras i avsnitt 2 och inkluderas i konsekvensberäkningarna i beräkningsprogrammet [1].

Händelseträd

Ovanstående resonemang sammanfattas i Figur 4-3 som visar händelseträd för olyckor med giftiga gaser.



Figur 4-3. Händelseträd för olycka med läckage av giftig gas.

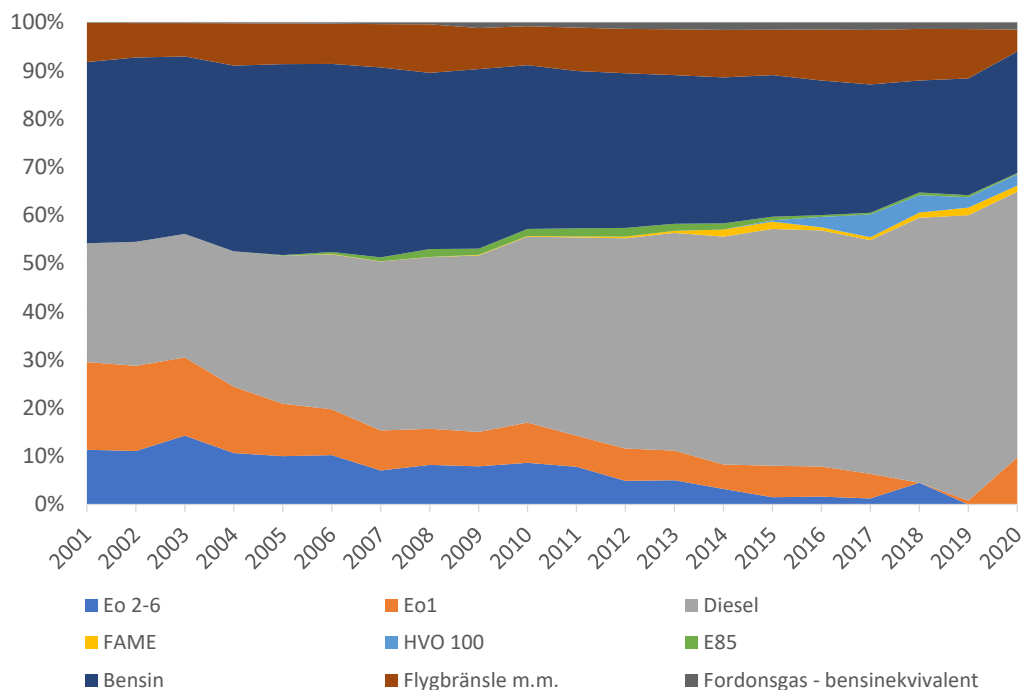
4.2.1.4 Klass 3 – Brandfarliga vätskor

Brandfarliga vätskor transporteras under atmosfärstryck i tunnväggiga tankar. Exempel på brandfarliga vätskor är dels petroleumbaserade drivmedel såsom diesel, bensin och olika typer av eldningsolja, dels förnyelsebara drivmedel men även andra typer av brandfarliga vätskor såsom lösningsmedel, tändvätskor, parfym, alkoholhaltiga drycker och liknande.

Den exakta fördelningen mellan drivmedel och andra brandfarliga vätskor är okänd. I brist på underlag antas därför att hela klassen utgörs av drivmedel. Drivkraft Sverige [21] presenterar statistik avseende fördelning av utlevererade volymer av petroleumprodukter och förnybara drivmedel i Sverige. Statistiken presenteras i Figur 4-4 och antas gälla både för transporter på såväl väg som järnväg.



Beräkningsbilaga



Figur 4-4. Fördelning inom drivmedel avseende utlevererade volymer av petroleumprodukter och förnybara drivmedel i Sverige (exkl. sjötransport utrikes) [21].

Som framgår av Figur 4-4 är diesel det vanligaste transporterade drivmedlet och har på senare tid stått för ca. 50% av samtliga transporterade drivmedel. Därefter följer bensin och flygbränsle som har stått för ca. 30% och ca. 10% av samtliga transporterade drivmedel de senaste åren.

Den stora spridningen av olika typer av drivmedel enligt Figur 4-4 förenklas till att endast bestå av bensin och resterande ämnen (diesel, flygbränsle osv.). Andelen transporter med bensin och resterande ämnen antas vara 40% respektive 60%. Den antagna fördelningen bygger på statistiken som redovisas i Figur 4-4 men har justerats något för att ta höjd för osäkerheter.

Jämfört med statistiken i Figur 4-4 antas en något högre andel transport av bensin, vilket är konservativt eftersom bensin bedöms vara det allvarligaste ämnet med avseende på benägenhet för antändning och konsekvenser i samband med antändning. Bensin har en mycket låg flampunkt vilket ökar sannolikheten för att ångorna kan antändas i händelse av läckage. Diesel och flygbränsle har högre flampunkter och hanteras under sina respektive flampunkter. I den här riskutredningen antas representeras bensin av ämnet pentan medan resterande ämnen representeras av ämnet n-dodekan som hädanefter benämns dodekan.

Sannolikheten för att en tunnväggig tank innehållande brandfarlig vätska skadas och ett läckage uppstår är beroende av fordonets hastighet vid olyckan. För olyckor på väg, där hastigheten kan variera i stor utsträckning, erhålls sannolikheten för läckage från [17]. Baserat på den aktuella vägsträckans bebyggelsemiljö, hastighetsgräns och vägtyp är sannolikheten för läckage 3% enligt [17].

Läckage med brandfarliga vätskor delas upp i små, medelstora och stora läckage i enlighet med [4]. Utsläppsvolymer presenteras i Tabell 4-7 tillsammans med pölstorlek och sannolikhet för varje utsläppsvolym. Informationen i Tabell 4-7 är gällande för utsläpp av såväl pentan som dodekan.



Beräkningsbilaga

Tabell 4-7. Utsläppsvolymer med tillhörande pölstorlekar och sannolikheter givet läckage.

Volym [m ³]	Volymen motsvarar	Pölstorlek [m ²]	Sannolikhet givet läckage [%]
0,5	Ett mindre läckage	100	25
5	En fackvolym	200	60
30	Hela tankvolymen	350	15

Ett konservativt antagande är att pölen trots lokala topografiska variationer är cirkulär, vilket ger upphov till högre flamma i beräkningarna och därigenom också en högre strålningseffekt som funktion av avståndet.

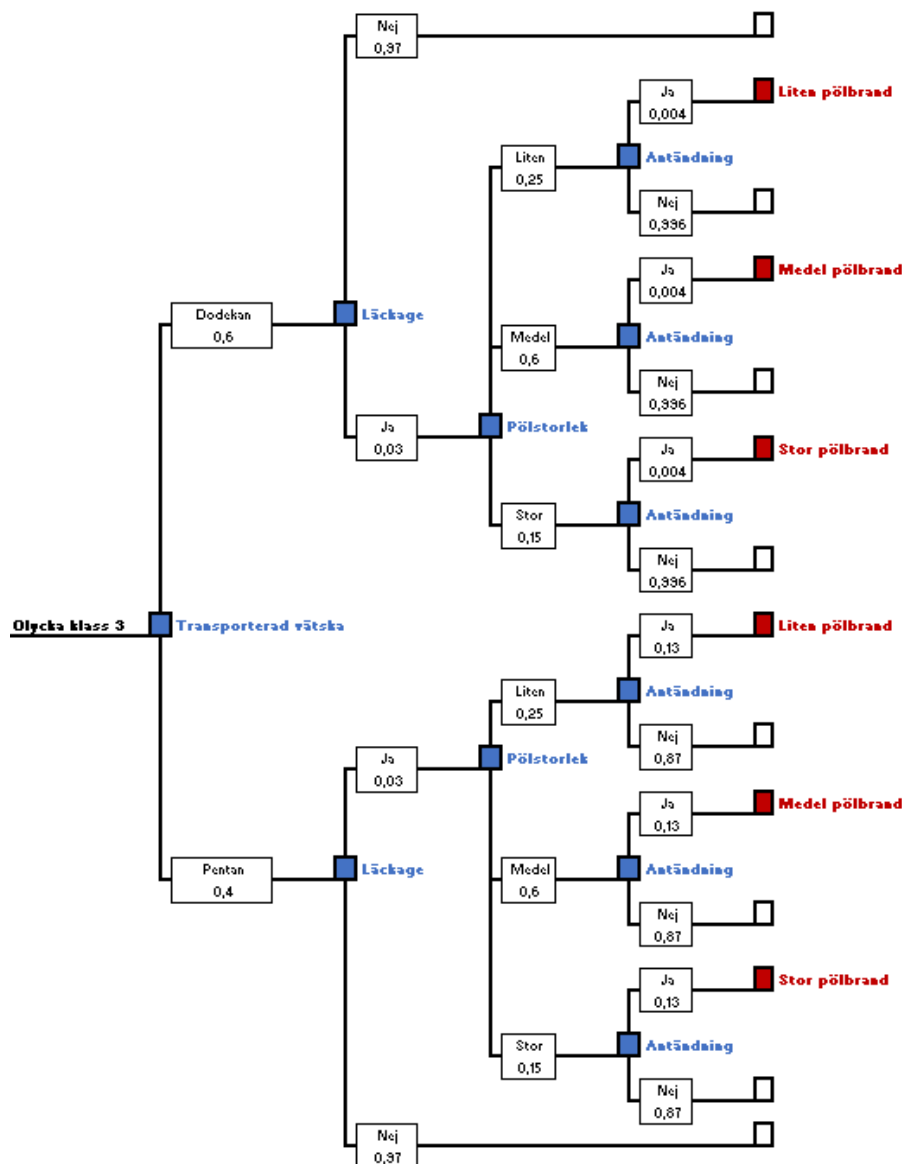
Olika typer av brandfarliga vätskor har olika benägenhet att antändas. Pentan, bensin och etanol är lättantändliga vätskor medan dodekan, diesel och eldningsolja är svårantändliga vätskor. Sannolikheter för antändning som används i beräkningsprogrammet är i enlighet med [4] och redovisas i Tabell 4-8.

Tabell 4-8. Sannolikhet för antändning av pölbrand [4].

Brandfarlig vätska	Direkt antändning [%]	Fördröjd antändning [%]
Pentan	6,5	6,5
Dodekan	0,43	-

Händelsetråd

Ovanstående resonemang sammanfattas i Figur 4-5 som visar händelsetrådet för olyckor med brandfarliga vätskor.



Figur 4-5. Händelsetråd för olycka med brandfarlig vätska.

4.2.1.5 Klass 5 – Oxiderande ämnen och organiska peroxider

Klass 5 utgörs av oxiderande ämnen och organiska peroxider. Principiellt kan läckage av oxiderande ämnen (klass 5.1) eller organiska peroxider (klass 5.2) medföra brand eller explosion. Explosion är främst möjligt vid de fall det oxiderande materialet transporteras i höga koncentrationer och sammanblandas med organiskt material, exempelvis fordonets bränsle, vid olyckan. Det oxiderande ämnet väteperoxid kan sönderfalla i koncentrationer över 20% och detonera vid koncentrationer över 90% [22].

Vissa organiska peroxider kräver kylta förhållanden. För dessa typer av organiska peroxider kan brand- och explosionsförlopp inträffa om kylningen på något sätt fallerar eller att ämnets SADT (Self-Accelerating Decomposition Temperature) överskrids, exempelvis av en extern brand [23].

En erfarenhetsmässig bedömning är att olika koncentrationer av det oxiderande ämnet väteperoxid är den vanligaste typen av ämne inom klass 5.1 och att de organiska



Beräkningsbilaga

peroxiderna (klass 5.2) är mindre vanliga. Det antas därför att transporter av klass 5 enbart utgörs av oxiderande ämnen.

Oxiderande ämnen transporteras under atmosfärstryck i tunnväggiga tankar. Sannolikheten för att tanken skadas och ett läckage uppstår är beroende av fordonets hastighet vid olyckan. För olyckor på väg, där hastigheten kan variera i stor utsträckning, erhålls sannolikheten för läckage från [17]. Baserat på den aktuella vägsträckans bebyggelsemiljö, hastighetsgräns och vägtyp är sannolikheten för läckage 3% enligt [17].

Olycksförloppet vid läckage av oxiderande ämne beror på om ämnet blandas med organiskt material, exempelvis fordonets bränsle. Om ämnet blandas med organiskt material kan en explosion inträffa. Om ämnet inte blandas med material förväntas ingen explosion men däremot kan en brand uppstå.

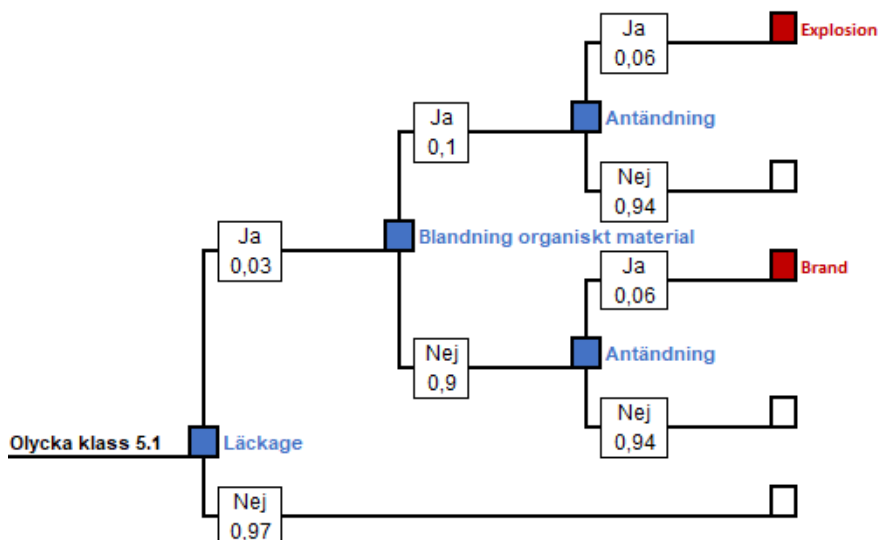
Givet ett läckage antas sannolikheten för blandning av det oxiderande ämnet med organiskt material vara 10%. Om det oxiderande ämnet blandas med organiskt material antas sannolikheten för explosion vara 6%. Om det oxiderande ämnet inte blandas med organiskt material antas sannolikheten för brand vara 6%.

Explosionsscenarier med oxiderande ämnen antas ge liknande konsekvenser som för en liten explosion av explosiva ämnen och föremål. Konsekvenserna för explosionsscenarierna med oxiderande ämnen modelleras därför på samma sätt som konsekvenserna för en liten explosion.

Brandscenarier med oxiderande ämnen antas ge liknande konsekvenser som för en liten pölbrand av brandfarliga vätskor. Konsekvenserna för brandscenarierna med oxiderande ämnen modelleras därför på samma sätt som konsekvenserna för en liten pölbrand. Brandscenarierna fördelas lika mellan små pölbränder av dodekan och pentan.

Händelsetråd

Ovanstående resonemang sammanfattas i Figur 4-6 som visar händelsetrådet för olyckor med oxiderande ämnen och organiska peroxider.



Figur 4-6. Händelsetråd för olycka med oxiderande ämnen och organiska peroxider.

4.2.2 Summering av frekvensberäkningar

Slutfrekvenser för olycka med farligt gods på väg redovisas i Tabell 4-9.

Tabell 4-9. Slutfrekvenser för olycka farligt gods på väg.



Klass	Händelse	Frekvens per år
Klass 1	Liten explosion	4,82E-08
	Stor explosion	4,21E-10
Klass 2.1	BLEVE	6,96E-10
	Jetbrand (litet läckage)	2,32E-08
	Jetbrand (stort läckage)	4,64E-08
	Gasmolnsbrand/gasmolnsexplosion (litet läckage)	2,32E-09
	Gasmolnsbrand/gasmolnsexplosion (stort läckage)	1,16E-07
Klass 2.3	Utsläpp, ammoniak (litet läckage)	4,05E-09
	Utsläpp, ammoniak (stort läckage)	4,05E-09
	Utsläpp, klor (litet läckage)	1,01E-09
	Utsläpp, klor (stort läckage)	1,01E-09
Klass 3	Pölbrand, dodekan (litet läckage)	9,96E-08
	Pölbrand, dodekan (medelstort läckage)	2,39E-07
	Pölbrand, dodekan (stort läckage)	5,98E-08
	Pölbrand, pentan (litet läckage)	2,01E-06
	Pölbrand, pentan (medelstort läckage)	4,82E-06
	Pölbrand, pentan (stort läckage)	1,20E-06
Klass 5	Explosion ¹	4,64E-08
	Brand ²	4,18E-07

¹Läggs till i klass 1, liten explosion

²Läggs till i klass 3 litet utsläpp hälften till dodekan och pentan vardera.

4.3 Konsekvensberäkningar för olycka med farligt gods

Konsekvensberäkningar för olycka med farligt gods har genomförts i programvaran Riskcurves [1]. Programmet har tagits fram av The Netherlands Organisation for applied scientific research (TNO) som är ett oberoende forskningsinstitut. Beräkningarna i riskutredningen baseras till stor del på de källor som används i Riskcurves, dvs. Purple Book [4], Yellow Book [24] och Green book [25]. Där dessa frångås nämns detta uttryckligen.

Beräkningarnas konsekvensmodelleringar är förankrade i empiri och forskningsdata med en gedigen referenslista. Verktygets fördelar är att olika modeller kan byggas upp och beräknas relativt snabbt. Det är också enkelt att plocka ut relevanta och tydliga resultat i tabeller, grafer och kartbilder.

4.3.1 Generella sårbarhetsparametrar

Sårbarhetsparametrar för personer som exponeras för explosion, brand och giftiga gaser presenteras i Tabell 4-10. Parametrarna är hämtade från [25] om inget annat anges.

Tabell 4-10. Sårbarhetsparametrar för personer som exponeras för explosion, brand och giftiga gaser.

Parameter	Värde	Kommentar
-----------	-------	-----------

¹ Explosionsscenarioer med oxiderande ämnen antas ge liknande konsekvenser som för en liten explosion av explosiva ämnen och föremål. Konsekvenserna för explosionsscenarioerna med oxiderande ämnen modelleras därför på samma sätt som konsekvenserna för en liten explosion.

² Brandscenarioer med oxiderande ämnen antas ge liknande konsekvenser som för en liten pölbrand av brandfarliga vätskor. Konsekvenserna för brandscenarioerna med oxiderande ämnen modelleras därför på samma sätt som konsekvenserna för en liten pölbrand. Brandscenarioerna fördelas lika mellan små pölbränder av dodekan och pentan.



Beräkningsbilaga

Explosionsövertryck (dödlighet)	30 kPa	Explosionsövertryck som orsakar 100% dödlighet
Explosionsövertryck (glaskross)	10 kPa	Explosionsövertryck som orsakar glaskross och 2,5% dödlighet inomhus
Gasmolnsbrand (faktor för dödlighet)	1	Inom brännbar koncentration av ett gasmoln
Jetbrand (faktor för dödlighet)	1	Inom jetbrandens utbredning
Värmestrålning (dödlighet)	35 kW/m ²	Värmestrålningsnivå med 100% dödlighet
Probitfunktion för värmestrålning	$-36,38+2,56 \cdot \ln(q^{4/3} \cdot t)$ [1]	q = värmestrålning i W/m ² t = exponeringstid i sekunder
Tid för värmeexponering	20 s	Det antas att personer som inte har omkommit inom 20 s har funnit skydd
Skyddsfaktor för värmeexponering (kläder)	0,14	Skyddsfaktor som används för exponering av värmestrålning
Probitfunktion för toxisk exponering för ammoniak	$7,9367+1 \cdot \ln(c^2 \cdot t)$ [1]	c = koncentration t = exponeringstid
Probitfunktion för toxisk exponering för klor	$10,599+0,5 \cdot \ln(c^{2,75} \cdot t)$ [1]	c = koncentration t = exponeringstid
Tid för toxisk exponering	1800 s	Det antas att personer som inte har omkommit inom 1800 s har funnit skydd
Skyddsfaktor för toxisk exponering (inomhus)	0,1 [4]	Skyddsfaktor för exponering av toxisk koncentration inomhus
Mottagarens höjd över marken	1,5 m	Höjd för beräkning av värmestrålning och toxisk koncentration av gas

4.3.2 Klass 1 – Explosiva ämnen och föremål

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 ett sådant övertryck har på personerna som utsätts för tryckvågen.

Människors skador utgörs i första hand av skador på trumhinnor. Vid mer kraftfulla övertryck påverkas lungor och andra inre organ, vilket kan orsaka dödliga skador. I Tabell 4-11 nedan redovisas uppgifter för skador på människor vid olika tryckskillnader när de exponeras för en explosion utomhus [26].

Tabell 4-11. Gränsvärden för skador på människor vid explosionsövertryck utomhus [26].

Skada	Explosionsövertryck [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

Människor kan också omkomma om de vistas inomhus i en byggnad som kollapsar på grund av övertryck. Typiska värden för byggnadsverks tålighet visas i Tabell 4-12. Moderna fönster antas gå sönder vid 10 kPa medan byggnadsstommar antas kollapsa vid 20 kPa.



Beräkningsbilaga

Tabell 4-12. Gränsvärden för skador på olika byggnadsverk.

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

För analysen av konsekvenser som omfattar explosiva ämnen och föremål används standardberäkning enligt TNT-ekvivalentmetoden i Yellow book [24]. Det massexplosiva ämnet representeras av TNT och massan TNT räknas om till ekvivalent massa brännbar metangas i ett hypotetiskt gasmoln. Trycket från explosionen beräknas därefter. Den massa av brännbar gas som motsvarar en bestämd mängd TNT kan erhållas från nedanstående samband:

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

Där

- m_{gas} = ekvivalent massa gas i brännbart gasmoln som bidrar till gasmolnsexplosion [kg]
- m_{TNT} = massa TNT, [kg]
- $\Delta H_d(TNT)$ = förbränningsvärme för TNT, 4,18E+06 J/kg
- $\Delta H_c(metangas)$ = förbränningsvärme för metangas, 5,6E+07 J/kg
- Y = effektivitetsfaktor [-], beror på gasens reaktivitetsgrad och anges i [24] till 0.2

Med ovanstående formel kan massan TNT omvandlas till ekvivalent massa metangas enligt Tabell 4-13. Mängden massexplosiva varor i en transport är antingen 20 kg eller 16 000 kg enligt avsnitt 4.2.1.1.

Tabell 4-13. TNT-ekvivalenter av metan.

Olycksscenario	Massa TNT [kg]	Massa metangas [kg]
Liten explosion	20	7,5
Stor explosion	16 000	5970

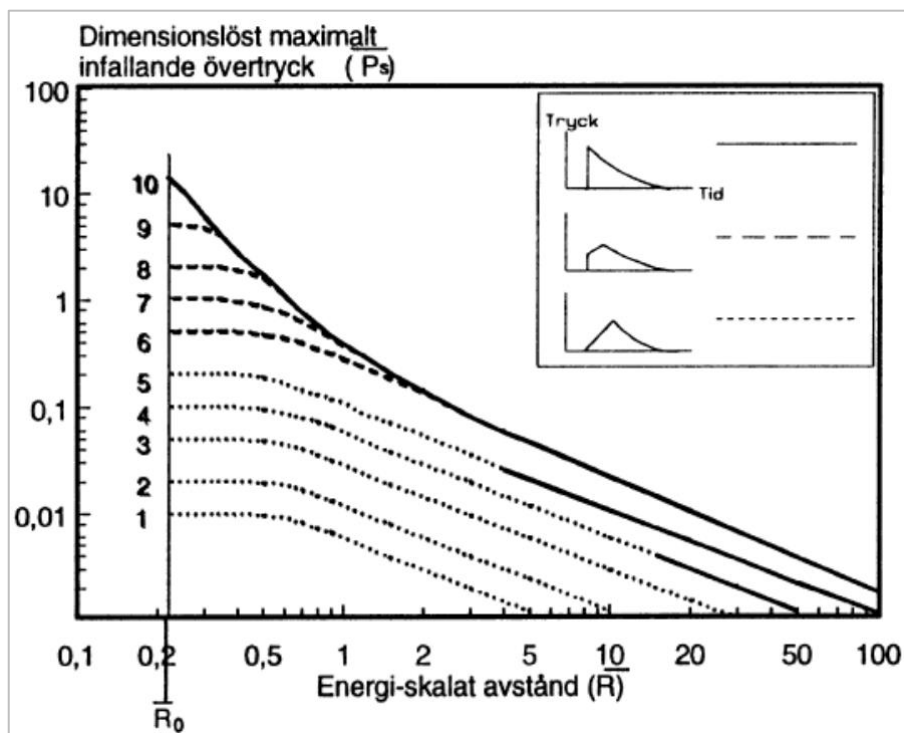
För att kunna bestämma trycket vid olika avstånd från explosionens centrum bestäms ett dimensionslöst avstånd enligt [26]:

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

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 4-7 [26].



Figur 4-7. Maximalt dimensionslöst tryck.

För beräkningarna har den högsta detonationsklassen ur Figur 4-7, dvs. detonationsklass 10, antagits. Med hjälp av det dimensionslösa trycket utläst ur Figur 4-7 kan explosionsövertrycket bestämmas genom:

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

Där

- \bar{P} = Dimensionslöst tryck [-]
- P_s = Explosionstryck [Pa]
- P_0 = Atmosfärstryck [Pa]

Baserat på ovanstående kan explosionsövertrycket på olika avstånd från explosionens centrum bestämmas. Avstånd till explosionsövertrycken 10 kPa och 30 kPa för såväl liten explosion som stor explosion presenteras i Tabell 4-14.

Tabell 4-14. Konsekvensavstånd för explosion.

Olycksscenario	Avstånd [m] till angivet explosionsövertryck	
	10 kPa	30 kPa
Liten explosion	37	17
Stor explosion	341	157

4.3.3 Klass 2.1 – Brandfarliga gaser

Mängden brandfarlig gas i ett släp antas vara 40 m³. För transporter på väg bedöms det vara ett konservativt antagande.

Vidare antas att det är tryckkondenserad propan (gasol) som transporteras eftersom ämnet har en låg brännbarhetsgräns. Det innebär att antändning kan inträffa på ett förhållandevis långt avstånd från olycksplatsen.



Beräkningsbilaga

Enligt avsnitt 4.2.1.2 gäller följande med avseende på läckage:

- Litet läckage – punktering med hålstorlek 10 mm
- Stort läckage – punktering med hålstorlek 50 mm

Dessa hålstorlekar används för modellering av konsekvenser för jetbrand och antänt gasmoln. I tillägg modelleras även BLEVE, vars konsekvenser är oberoende av hålstorlek.

För jetbrand och antänt gasmoln varierar skadeområdet med läckagestorlek, tiden till antändning samt vindhastighet. Ett utsläpps storlek och konsekvensområde varierar beroende på var i tanken ett läckage inträffar, dvs. om läckaget uppstår där det transporterade ämnet är i vätskefas eller i gasfas. I beräkningarna antas att läckaget sker i vätskefasen eftersom det ger de största konsekvenserna och anses vara det mest troliga i händelse av olycka med brandfarlig gas.

De indata som används i beräkningsprogrammet [1] för att simulera konsekvensområden för jetbrand, antänt gasmoln och BLEVE är:

- Lagringstemperatur: 9°C
- Lagringstryck: 6,2 bar (absolut tryck motsvarande ångtrycket)
- Utströmningkoefficient (Cd): 0,62 (skarpa kanter)
- Tanklängd (horisontell cylinder): 7 m
- Tankfyllnadsgrad: 80%
- Bristningstryck: 25 bar (inneboende tryck då tanken brister vid en BLEVE)
- Lufttryck: 1 atm
- Omgivningstemperatur: 9°C
- Relativ fuktighet: 83%
- Molnighet: 75% (halvklart till molnigt)
- Väderparametrar: Enligt avsnitt 2

Avstånd för relevanta konsekvenser i samband med olyckor med brandfarlig gas presenteras i Tabell 4-15, Tabell 4-16 och Tabell 4-17. Tabell 4-15 och Tabell 4-16 presenterar konsekvenser för jetbrand och antänt gasmoln i samband med litet läckage respektive stort läckage av brandfarlig gas. Konsekvenserna för jetbrand och antänt gasmoln är beroende av väderförhållanden och presenteras därför för olika väderförhållanden. Tabell 4-17 presenterar konsekvenserna för BLEVE. Som tidigare nämnt är konsekvenserna för BLEVE är oberoende av hålstorlek. Dessutom är konsekvenserna för BLEVE i praktiken oberoende av väderförhållanden och presenteras därför inte för olika väderförhållanden.

Tabell 4-15. Konsekvensavstånd för jetbrand och antänt gasmoln i samband med litet läckage.

Konsekvens	Olycksscenario	Avstånd [m] vid angivet väderförhållande		
		D5	D2	F2
20 kW/m ² värmestrålning	Jetbrand	24	27	28
35 kW/m ² värmestrålning	Jetbrand	22	25	26
10 kPa övertryck	Gasmolnsexplosion	20	23	26
30 kPa övertryck	Gasmolnsexplosion	14	15	18
Längsta avstånd till antändbart gasmoln	Gasmolnsbrand och gasmolnsexplosion	14	15	18



Beräkningsbilaga

Tabell 4-16. Konsekvensavstånd för jetbrand och antänt gasmoln i samband med stort läckage.

Konsekvens	Olycksscenario	Avstånd [m] vid angivet väderförhållande		
		D5	D2	F2
20 kW/m ² värmestrålning	Jetbrand	97	110	113
35 kW/m ² värmestrålning	Jetbrand	89	102	105
10 kPa övertryck	Gasmolnsexplosion	100	124	158
30 kPa övertryck	Gasmolnsexplosion	68	83	111
Längsta avstånd till antändbart gasmoln	Gasmolnsbrand och gasmolnsexplosion	77	93	138

Tabell 4-17. Konsekvensavstånd för olycksscenario BLEVE.

Konsekvens	Avstånd [m]
20 kW/m ² värmestrålning	206
35 kW/m ² värmestrålning	126

4.3.4 Klass 2.3 – Giftiga gaser

Enligt avsnitt 4.2.1.3 antas transporter av giftiga gaser innehålla antingen ammoniak eller klor. Mängden giftig gas i ett släp antas vara 40 m³. För transporter på väg bedöms det vara ett konservativt antagande.

Spridningssimuleringar har genomförts för måttligt giftiga gaser (representerat av ammoniak) och mycket giftiga gaser (representerat av klor). Väderförhållandena som råder vid tiden för utsläppet påverkar konsekvenserna i stor utsträckning. Platsspecifika väderdata som presenteras i avsnitt 2 har tillämpats i beräkningsprogrammet [1]. Påverkan för människor som befinner sig inomhus bedöms reduceras med en faktor tio jämfört med människor som befinner sig utomhus, enligt vad som anges i Purple Book [4].

Enligt avsnitt 4.2.1.3 gäller följande med avseende på läckage:

- Litet läckage – punktering med hålstorlek 10 mm
- Stort läckage – punktering med hålstorlek 50 mm

De indata som används i beräkningsprogrammet [1] för att simulera konsekvensområden för läckage av giftig gas är:

- Lagringstemperatur: 9°C
- Lagringstryck klor: 10 bar (absolut tryck)
- Lagringstryck ammoniak: 10 bar (absolut tryck)
- Utströmningkoefficient (Cd): 0,62 (skarpa kanter)
- Tanklängd (horisontell cylinder): 7 m
- Tankfyllnadsgrad: 80%
- Lufttryck: 1 atm
- Omgivningstemperatur: 9°C
- Relativ fuktighet: 83%
- Molnighet: 75% (halvklart till molnigt)
- Väderparametrar: Enligt avsnitt 2

För att redovisa konsekvensområdet används Acute Exposure Guideline Level (AEG). Nivåerna AEG-1, AEG-2 och AEG-3 avser exponeringsnivåer av luftburna partiklar där en individ (inklusive känsliga individer) kan uppleva besvär, få irreversibla hälsoeffekter respektive drabbas av livshotande skador samt död. AEG-3 utgör den nivå



Beräkningsbilaga

där känsliga individer kan omkomma. AEGL-3 för ammoniak avseende 30 minuters exponering är 1600 ppm [27]. AEGL-3 för klor avseende 30 minuters exponering är 28 ppm [27]. Tabell 4-18 presenterar avstånd till AEGL-3 för 30 minuters exponering vid läckage av ammoniak och klor.

Tabell 4-18. Avstånd till AEGL-3 för 30 minuters exponering vid läckage av ammoniak och klor.

Olycksscenario	Avstånd [m] till AEGL-3 för 30 minuters exponering vid angivet väderförhållande		
	D5	D2	F2
Ammoniak (litet läckage)	119	157	318
Ammoniak (stort läckage)	709	928	1693
Klor (litet läckage)	668	1065	3481
Klor (stort läckage)	4086	6101	12873

4.3.5 Klass 3 – Brandfarliga vätskor

I konsekvensberäkningen används pentan för att modellera bensen och dodekan för att modellera resterande brandfarliga vätskor (diesel, flygbränsle osv.). En cirkulär pöl används i konsekvensberäkningarna, vilket är ett konservativt antagande då detta ger högre värmestrålning i jämförelse med en avlång pöl som kanske skulle efterspegla verkligheten på ett rimligare sätt. I Tabell 4-19 redovisas avstånd till värmestrålningsnivåer för vädersscenario D5 för de studerade olycksscenarierna. Variationerna mellan D5 och andra vädersscenarier är inte betydande och därför presenteras enbart avstånd för vädersscenario D5.

Tabell 4-19. Avstånd till värmestrålningsnivåer för vädersscenario D5.

Olycksscenario	Avstånd [m] till angiven värmestrålningsnivå vid vädersscenario D5	
	20 kW/m ²	35 kW/m ²
Pentan (litet läckage)	20	15
Pentan (medelstort läckage)	27	20
Pentan (stort läckage)	34	25
Dodekan (litet läckage)	14	11
Dodekan (medelstort läckage)	19	15
Dodekan (stort läckage)	24	19

4.3.6 Klass 5 – Oxiderande ämnen och organiska peroxider

I avsnitt 4.2.1.5 beskrivs att oxiderande ämnen (klass 5.1) antas utgöra samtliga transporter av ämnen i klass 5. I samma avsnitt beskrivs att explosionsscenarier eller brandscenarier kan uppstå i samband med en olycka med oxiderande ämnen.

Explosionsscenarier med oxiderande ämnen antas ge liknande konsekvenser som små explosioner av explosiva ämnen och föremål. Se avsnitt 4.3.2 för mer information om konsekvenser för små explosioner.

Brandscenarier med oxiderande ämnen antas konservativt ge liknande konsekvenser som små pölbränder av brandfarliga vätskor. Brandscenarier med oxiderande ämnen fördelas lika mellan små pölbränder av dodekan och pentan. Se avsnitt 4.3.5 för mer information om konsekvenser för en små pölbränder.



AFRY

Å F P Ö Y R Y

Beräkningsbilaga

Referenser

- [1] TNO Riskcurves, RISKCURVES 11.4.2.
- [2] TNO, "Reference Manual Bevi Risk Assessments," 2009.
- [3] SMHI, "Ladda ner meteorologiska observationer," [Online]. Available: <https://www.smhi.se/data/meteorologi/ladda-ner-meteorologiska-observationer/>.
- [4] TNO Purple Book, "Guidelines for quantitative risk assessment "Purple book"," 2005b. [Online]. Available: <https://www.tno.nl/en/focus-areas/circular-economy-environment/roadmaps/environment-sustainability/public-safety/the-coloured-books-yellow-green-purple-red/>.
- [5] FOI, "Osäkerheter i observationer och beräkningar," Totalförsvarets forskningsinstitut., FOI-R--3764--SE, 2013.
- [6] Trafikanalys, "Lastbilstrafik 2012 (Statistik 2013:12)," 2013.
- [7] Trafikanalys, "Lastbilstrafik 2013 (Statistik 2014:12)," 2014.
- [8] Trafikanalys, "Lastbilstrafik 2014 (Statistik 2015:21)," 2015.
- [9] Trafikanalys, "Lastbilstrafik 2015 (Statistik 2016:27)," 2016.
- [10] Trafikanalys, "Lastbilstrafik 2016 (Statistik 2017:14)," 2017.
- [11] Trafikanalys, "Lastbilstrafik 2017 (Statistik 2018:13)," 2018.
- [12] Trafikanalys, "Lastbilstrafik 2018 (Statistik 2019:13)," 2019.
- [13] Trafikanalys, "Lastbilstrafik 2019 (Statistik 2020:14)," 2020.
- [14] Trafikanalys, "Lastbilstrafik 2020 (Statistik 2021:14)," 2021.
- [15] Trafikanalys, "Lastbilstrafik 2021 (Statistik 2022:16)," 2022.
- [16] Räddningsverket, "Kartläggning av farligt gods transporter, September 2006," 2006.
- [17] Räddningsverket, "Farligt gods - Riskbedömning vid transport," 1996.
- [18] Trafikverket, "Trafikuppräkningsstal för EVA och manuella beräkningar 2017-2040-2065 (Ärendenummer TRV 2017/111007)," 2022.
- [19] HMSO, "Major Hazard aspects of the transport of dangerous substances," Advisory Committee on Dangerous Substances Health & Safety, London, 1991.
- [20] G. Purdy, "Risk analys of the transportation of dangerous goods by road and rail," Elsevier Science Publishers B.V, Amsterdam, 1993.
- [21] Drivkraft Sverige, "Volymer," [Online]. Available: <https://drivkraftsverige.se/statistik/volymer/>. [Accessed 30 07 2021].



AFRY

Å F P Ö Y R Y

Beräkningsbilaga

- [22] MSB, SÄIFS 1999:2 - Föreskrifter och allmänna råd om hantering av väteperoxid, 1999.
- [23] MSB, SÄIFS 1996:4 - Föreskrifter och allmänna råd om hantering av organiska peroxider, 1996.
- [24] TNO Yellow Book, Methods for the calculation of physical effects "Yellow Book", The Hague, 2005a.
- [25] TNO Green Book, "Methods for determination of possible damage to people and objects resulting from releases of hazardous materials "Green Book", 1992.
- [26] FOA, "Vådautsläpp av brandfarliga och giftiga gaser och vätskor - Metoder för bedömning av risker," 1998.
- [27] EPA, "Access Acute Exposure Guideline Levels (AEGLs) Values," 29 08 2016. [Online]. Available: <https://www.epa.gov/aegl/access-acute-exposure-guideline-levels-aegls-values#chemicals>.