

Kund
Grästorps kommun

Beräkningsbilaga till Riskutredning för detaljplan för Söderskogen

Uppdragsledare: Jennifer Wolsing
Handläggare: Gustaf Zetterberg
Intern kvalitetsgranskning: Rasmus Jonasson Bjärenstam

Dokumenthistorik

| Version | Datum | Revidering | Handläggare |
|---------|------------|--------------------------------------|-------------------|
| 1.0 | 2025-06-03 | Första utgivna version. | Gustaf Zetterberg |
| 2.0 | 2025-06-12 | Slutversion efter granskning av kund | Gustaf Zetterberg |
| | | | |

Innehållsförteckning

| | | |
|-------|----------------------------------------------------------|----|
| 1 | Inledning..... | 3 |
| 2 | Kvantitativa riskmått..... | 4 |
| 3 | Personbelastning | 5 |
| 3.1 | Sammanfattning av personbelastning | 5 |
| 4 | Väderdata | 7 |
| 4.1 | Vindhastighet | 7 |
| 4.1.1 | Stabilitetsklass..... | 8 |
| 4.2 | Vindriktning | 9 |
| 5 | Olycka med farligt gods..... | 10 |
| 5.1 | Trafikmängd..... | 10 |
| 5.1.1 | Väg..... | 10 |
| 5.2 | Fördelning av farligt gods..... | 10 |
| 5.2.1 | Väg..... | 10 |
| 5.3 | Frekvensberäkningar för olycka med farligt gods | 11 |
| 5.3.1 | Väg..... | 12 |
| 5.3.2 | Olycksscenarier..... | 13 |
| 5.3.3 | Summering av frekvensberäkningar | 22 |
| 5.4 | Konsekvensberäkningar för olycka med farligt gods | 23 |
| 5.4.1 | Generella omgivningsparametrar | 23 |
| 5.4.2 | Klass 1 – Explosiva ämnen och föremål | 24 |
| 5.4.3 | Klass 2.1 – Brandfarliga gaser..... | 25 |
| 5.4.4 | Klass 2.3 – Giftiga gaser..... | 29 |
| 5.4.5 | Klass 3 – Brandfarliga vätskor | 31 |
| 5.4.6 | Klass 5 – Oxiderande ämnen och organiska peroxider | 33 |
| | Referenser..... | 35 |

1 Inledning

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

- Riskutredning för detaljplan för Söderskogen (Västerölet 1:40), daterad 2025-06-12

Beräkningsbilagan omfattar följande områden:

- kvantitativa riskmått
- personbelastning
- väderdata
- olycka med farligt gods
 - trafikmängd
 - fördelning av farligt gods
 - frekvensberäkningar
 - konsekvensberäkningar

2 Kvantitativa riskmått

Individrisk och samhällsrisk beskrivs i huvudrapporten. Hur dessa riskmått beräknas beskrivs nedan.

Individrisken (IR) i en given koordinat (x,y) beräknas enligt:

$$IR_{(x,y)} = \sum_{i=1}^n IR_{(x,y),i}$$

$$IR_{(x,y),i} = f_i * p_i$$

Där f_i är frekvensen för sluthändelsen i . Sannolikheten för studerad konsekvens, vilket är dödsfall i den här utredningen och antas till 1 eller 0 beroende på om individen befinner sig inom eller utanför effektzonen, representeras av p_i . Genom att summera individrisken för de olika sluthändelserna på olika avstånd från riskobjektet, kan individrisken för området presenteras.

Samhällsriskens beräknas enligt:

$$N_i = \sum_{(x,y)} P_{(x,y)} * p_i$$

N_i står för antalet människor som utsätts för den studerade sluthändelsen i . $P_{(x,y)}$ är antalet individer i koordinaten (x,y) och p_i definieras enligt individrisken ovan.

Samhällsriskens redovisas normalt i F/N-kurvor som visar den ackumulerade frekvensen för att ett visst antal, eller fler, personer omkommer till följd av de händelser som studeras.

$$F_N = \sum_i F_i \text{ för alla sluthändelser för vilka } N_i \geq N$$

F_N står för frekvensen av sluthändelser som påverkar N eller fler människor. F_i är frekvensen för sluthändelse i . N_i definieras enligt ovan.

3 Personbelastning

Personbelastningen används för att beräkna samhällsrisk. I huvudrapporten delas det kvadratiska området på en kvadratkilometer in i flera mindre områden där en viss personbelastning antas. Nedan beskrivs antaganden för följande parametrar för samtliga områden:

- antalet personer i området för såväl dagtid som nattetid
- andel personer inomhus för såväl dagtid som nattetid
- nyttjandegrad, dvs. hur många dagar per år ett visst område används.

I beräkningarna utgår det från att dagtid förekommer mellan 8:00 och 18:30 medan nattetid avser tiden mellan 18:30 och 8:00. Detta innebär att dagtid gäller 44 procent av tiden. Förutom personbelastningen skiljer sig även aktuella vindförhållanden mellan dagtid och nattetid, se avsnitt 4.

Område A – G - Bostäder

Markanvändningen av samtliga områden (exklusive Område H) är bostäder, såväl för nollalternativ som utvecklingsalternativ.

För att beräkna persontätheten i dessa bostadsområden har kartbilder använts för att identifiera och räkna antalet enskilda hus inom området. Därefter har antalet bostäder multiplicerats med den genomsnittliga hushållsstorleken för aktuell boendeform (2,7 personer per hushåll) [1]. Det uppskattade antalet personer har sedan justerats mot SCB:s statistik för området för att säkerställa överensstämmelse.

För 2050 antas det inte ske någon nämnvärd ökning av persontätheten till följd av förändringar av dessa områden.

- Andelen personer inomhus under dagtid och nattetid ansätts till 93 procent respektive 99 procent, vilket föreslås för bostadsområden av programvaran Riskcurves [2] som används för de kvantitativa beräkningarna.
- Alla av de boende antas vistas inom området på natten och 70% av de boende på dagen.
- Nyttjandegraden för områdena ansätts till 365 dagar per år.

Område H

Område H är i dagsläget oexploaterat och består huvudsakligen av produktionsskog. I det föreslagna utvecklingsalternativet planeras området bebyggas med nya bostäder, inklusive villatomter samt rad-, par- och kedjehus.

- Antalet nya bostäder och uppskattat antal boende bygger på uppskattningar från kommunen.
- Andelen personer inomhus under dagtid och nattetid ansätts till 93 procent respektive 99 procent, vilket föreslås för bostadsområden av programvaran Riskcurves [2] som används för de kvantitativa beräkningarna.
- Alla av de boende antas vistas inom området på natten och 70% av de boende på dagen.
- Nyttjandegraden för områdena ansätts till 365 dagar per år.

3.1 Sammanfattning av personbelastning

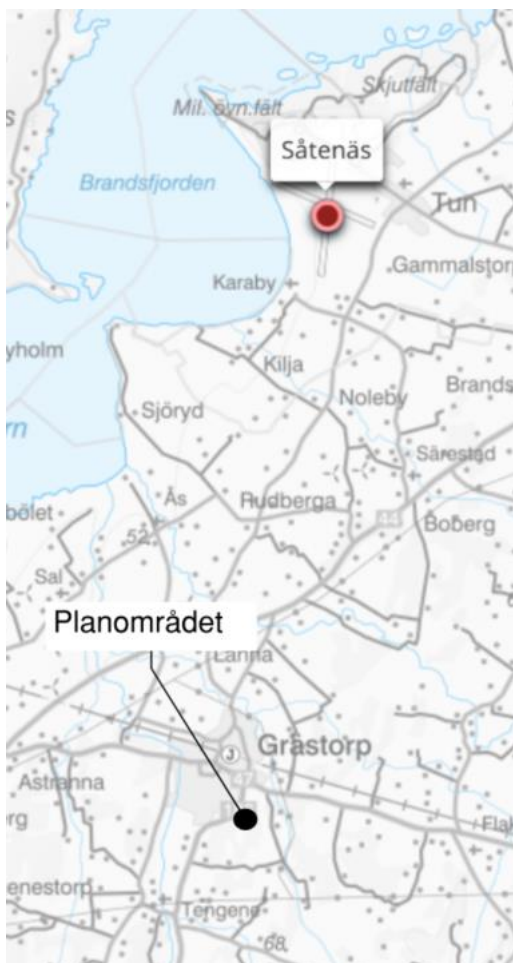
Personbelastningen för utvecklingsalternativet och nollalternativet redovisas i Tabell 3-1.

Tabell 3-1. Personbelastning för noll- och utvecklingsalternativ för respektive område.

| Område | Antal personer (nollalternativ/ utvecklingsalternativ) | | Andel personer inomhus | | Nyttjandegrad uttryckt i dagar per år |
|--------|--------------------------------------------------------------|-------|---------------------------|------|---------------------------------------------|
| | Dag | Natt | Dag | Natt | |
| A | 30/30 | 43/43 | 0,93 | 0,99 | 365 |
| B | 11/11 | 16/16 | 0,93 | 0,99 | 365 |
| C | 2/2 | 3/3 | 0,93 | 0,99 | 365 |
| D | 2/2 | 3/3 | 0,93 | 0,99 | 365 |
| E | 2/2 | 3/3 | 0,93 | 0,99 | 365 |
| F | 2/2 | 3/3 | 0,93 | 0,99 | 365 |
| G | 2/2 | 3/3 | 0,93 | 0,99 | 365 |
| H | -/98 | -/140 | 0,93 | 0,99 | 365 |

4 Väderdata

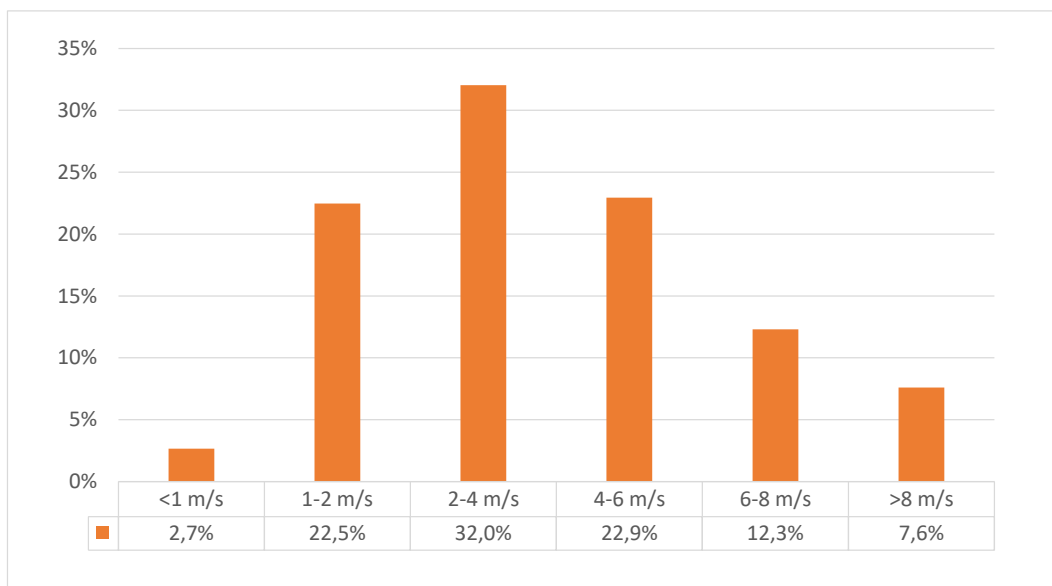
Den närmaste mätstationen tillhörande SMHI i förhållande till planområdet benämns Såtenäs. Avståndet mellan mätstationen och planområdet är cirka tio kilometer. Figur 4-1 visar placeringen av mätstationen i förhållande till planområdet. Data från mätstationen avseende vindhastighet och vindriktning mellan 2005 och 2025 är hämtat från SMHI:s öppna databas [3].



Figur 4-1. Placering av planområdet och mätstationen Såtenäs.

4.1 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 4-2 visas fördelningen av vindhastighet vid mätstationen Såtenäs från ovan nämnda data. Medelvärdet under den aktuella perioden var 4,4 meter per sekund och vindstilla förhållanden uppmättes under cirka 2,7 procent av tiden.



Figur 4-2. Fördelning av vindhastighet vid mätstationen Sätenäs, 2005 – 2025.

4.1.1 Stabilitetsklass

I beräkningsmodellen används Pasquills stabilitetsklasser som beskriver turbulensen i luftmassan närmast jordens yta, det vill säga 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 4-1.

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

| Turbulens | Beskrivning av väderförhållande | Pasquills stabilitetsklass | Ungefärliga vindhastigheter [m/s] |
|-----------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------|-----------------------------------|
| Instabil | Måttligt till mycket solinstrålning, det vill säga soligt och molnfritt väder, där solen står högt på himlen (vinkel större än 60 grader) och måttliga till svaga vindar gör att atmosfären blir instabil. Sker främst under dagtid. | A: Extremt instabilt | <2,5 |
| | | B: Måttligt instabilt | 2,5–4 |
| | | C: Svagt instabilt | >4 |
| Neutral | Relativt starka vindar och måttlig solinstrålning, det vill säga molnig väderlek och/eller klar väderlek där solen står lågt på himlen (vinkel mellan 15 och 35 grader), vilket är associerat med neutral/måttlig turbulens. Sker under både dagtid och nattetid. | D: Neutral | 0–15 |

| | | | |
|--------|------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|------|
| Stabil | Låg/ingen solinstrålning och svaga vindar. Sker främst under nattetid. | 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.

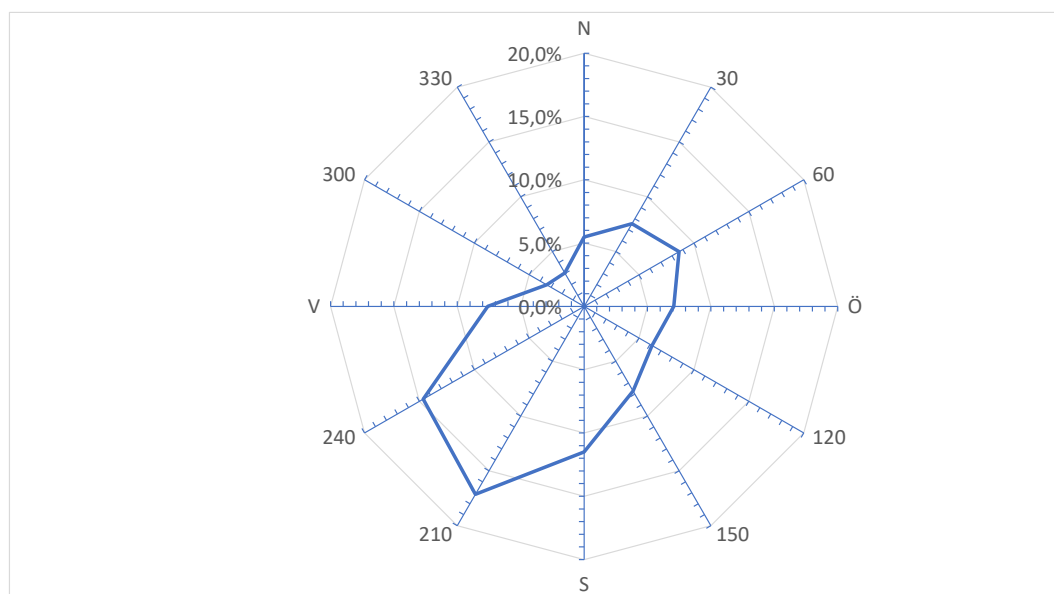
De valda väderförhållandena bedöms som representativa och rimligt konservativa. I Tabell 4-2 visas fördelning mellan de olika väderscenerierna för såväl dagtid som nattetid. Fördelningen är uppskattad utifrån dels statik för vindhastighet vid mätstationen Såtenäs, dels vanligt förekommande stabilitetsklasser vid olika vindhastigheter och tid på dygnet, i enlighet med Tabell 4-1.

Tabell 4-2. Fördelning av väderförhållanden under dagtid och nattetid.

| Väderförhållande | Dag [%] | Natt [%] |
|------------------|---------|----------|
| 2F | 3 | 36 |
| 2D | 31 | 12 |
| 5D | 66 | 52 |
| Summa | 100 | 100 |

4.2 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 4-3 visas fördelningen av vindriktning vid mätstationen Såtenäs. Figur 4-3 visar att den mest förekommande vindriktningen är sydvästlig.



Figur 4-3. Fördelning av vindriktning vid mätstation Såtenäs, år 2005 – 2025.

5 Olycka med farligt gods

I detta avsnitt redovisas indata och antaganden avseende frekvens- och konsekvensberäkningar för olycka med farligt gods.

5.1 Trafikmängd

Grundläggande för beräkning av risk med transport av farligt gods är trafikmängden. Nedan presenteras trafikmängd och hur denna tas fram för väg.

5.1.1 Väg

Årsdygnstrafik för den totala samt tunga trafiken erhålls från Trafikverkets nationella vägdatabas [6]. Erhållna data avser år 2021 och räknas upp till prognosår 2050.

För att beräkna förväntad årsdygnstrafik för år 2050 tillämpas Trafikverkets trafikutvecklingstal [7]. Trafikutvecklingstalen anges för såväl lastbil som personbil och presenteras för Östra Västra Götalands län (personbilstrafik) samt Västra Götaland (lastbilstrafik) i Tabell 5-1. Ökningen mellan 2019 och 2045 respektive 2045 och 2065 antas vara linjär. Baserat på trafikutvecklingstalen beräknas trafikutvecklingskvoten mellan 2021 och 2050 och presenteras i Tabell 5-1. Kvoten för lastbil appliceras på årsdygnstrafik för tung trafik medan trafikutvecklingstal för personbil appliceras på årsdygnstrafik för total trafik exklusive årsdygnstrafik för tung trafik.

Tabell 5-1. Trafikutvecklingstal för Östra Västra Götalands län (personbilstrafik) samt Västra Götaland (lastbilstrafik).

| Trafikutvecklingstal | Personbil | Lastbil |
|---------------------------------|-----------|---------|
| Trafikutvecklingskvot 2019–2045 | 1,25 | 1,39 |
| Trafikutvecklingskvot 2019–2065 | 1,45 | 1,57 |
| Trafikutvecklingskvot 2021–2050 | 1,28 | 1,39 |

Trafikuppgifter för 2021 och 2050 på den aktuella vägsträckan, baserade på ovan antaganden och att andelen farligt gods utgör 3,7 procent, sammanfattas i Tabell 5-2.

Tabell 5-2. Trafikuppgifter för 2021 och 2050.

| Trafiktyp | Årsdygnstrafik | |
|--------------|----------------|-------|
| | 2021 | 2050 |
| Total trafik | 2 216 | 2 841 |
| Tung trafik | 124 | 173 |
| Farligt gods | 5 | 6 |

5.2 Fördelning av farligt gods

I riskutredningens huvudrapport beskrivs relevanta olycksscenarier vid olycka med de olika klasserna av farligt gods. I detta avsnitt redovisas bakomliggande antaganden för den fördelning av de olika klasserna som används i beräkningarna.

5.2.1 Väg

I frekvensberäkningarna för trafikolycka på väg utgår det från en fördelning av klasserna som bygger på nationell statistik för antal körda kilometer från myndigheten Trafikanalys. I Tabell 5-3 presenteras en genomsnittlig fördelning av de olika klasserna för perioden mellan 2014 och 2023, som används i beräkningarna.

Tabell 5-3. Fördelning av antal körda kilometer med farligt gods-transporter, fördelat på respektive klass, mellan år 2014 och år 2023, baserat på nationell statistik från Trafikanalys [8].

| Klass | Andel av farligt gods-transporter (utifrån antal körda kilometer) [%] |
|--------|-----------------------------------------------------------------------|
| 1 | 0,63 |
| 2* | 31,37 |
| 3 | 42,02 |
| 4.1 | 0,16 |
| 4.2 | 0,79 |
| 4.3 | 1,33 |
| 5.1 | 3,39 |
| 5.2 | 0,01 |
| 6.1 | 3,87 |
| 6.2 | 0,52 |
| 7 | 0,11 |
| 8 | 12,11 |
| 9 | 3,70 |
| Totalt | 100,00 |

*Delas upp i klass 2.1, 2.2 och 2.3, se Tabell 5-4.

Tabell 5-3 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, kommer händelseförloppet se olika ut. Därför krävs det att underklasser inom Klass 2 behandlas separat vid beräkningar. Däravande Räddningsverket genomförde en undersökning av transporter av farligt gods i ton på det svenska väg- och järnvägsnätet under september 2006, där klass 2 delas in i underklasserna 2.1, 2.2 och 2.3 [9]. Fördelningen presenteras i Tabell 5-4. Utifrån detta erhålls en andel av respektive underklass i relation till övriga klasser. För att erhålla konservativa beräkningsunderlag ökas andelen av klass 2.3 på bekostnad av klass 2.2, i enlighet med Tabell 5-4.

Tabell 5-4. Fördelning av klass 2 på underklasserna 2.1, 2.2 och 2.3.

| Klass | Andel av klass 2 [%] | Andel av totalt antal farligt gods-transporter [%] | Andel som används i beräkningar [%] |
|--------|----------------------|----------------------------------------------------|-------------------------------------|
| 2.1 | 23,64 | 7,42 | 7,42 |
| 2.2 | 76,20 | 23,91 | 23,86 |
| 2.3 | 0,16 | 0,05 | 0,10 |
| Totalt | 100,00 | 31,37 | 31,37 |

5.3 Frekvensberäkningar för olycka med farligt gods

Följande avsnitt beskriver de modeller som används för frekvensberäkningar för olyckor på aktuella transportleder för farligt gods. Använda modeller är baserade på erkända källor som normalt används i samband med riskutredningar för detaljplaneprocesser.

5.3.1 Väg

I det här avsnittet presenteras modellen som används för frekvensberäkningarna för olycka med farligt gods på väg. Frekvensberäkningar för olycka med farligt gods gäller för år 2050. Den studerade delen av aktuell vägsträcka är en kilometer.

Frekvensberäkningarna för olycka med farligt gods på väg genomförs enligt den så kallade VTI-metoden som presenteras i Räddningsverkets dokument *Farligt gods – Riskbedömning vid transport* [10]. Metoden analyserar och kvantifierar riskerna med transport av farligt gods mot bakgrund av svenska förhållanden där hänsyn tas till förhållanden för den specifika vägsträckan.

Enligt Räddningsverket [10] kan det årliga antalet fordon skyltade med farligt gods i trafikolyckor på en specifik vägsträcka beräknas enligt:

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

Där

- $F_{olycka\ FG}$ = antal fordon skyltade med farligt gods i trafikolyckor per år
- O = förväntat antal olyckor med samtliga fordonsslag
- Y = andel singelolyckor
- X = andel transporter skyltade med farligt gods

Det förväntade antalet olyckor med samtliga fordonsslag beräknas enligt:

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

Där

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

Såväl andelen singelolyckor som olyckskvoten beror på ett antal vägparametrar såsom vägtyp och hastighetsgräns. I Räddningsverkets dokument [10] anges andelen singelolyckor och olyckskvoten för olika kombinationer av bebyggelsemiljö, hastighetsgräns och vägtyp. Dessa parametrar, och tillhörande värde på olyckskvot och andel singelolyckor, för aktuell vägsträcka presenteras i Tabell 5-5.

Tabell 5-5. Indataparametrar för beräkning av trafikolyckor.

| Parameter | Värde |
|------------------------|-----------|
| Bebyggelsemiljö | Landsbygd |
| Hastighetsgräns [km/h] | 90 |
| Vägtyp | Landsväg |
| Olyckskvot | 0,4 |
| Andel singelolyckor | 0,41 |

Sammanlagt antal fordonskilometer för samtliga fordonsslag beräknas enligt:

$$S_{samtliga\ fordonsslag, \text{år}} = \text{ÅDT}_{total} \cdot 365 \cdot l_{vägsträcka}$$

Där

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

Med ovan beräkningar erhålls frekvens för förekomst av fordon skyltat med farligt gods i trafikolyckor och återkomsttid för detta enligt Tabell 5-6.

Tabell 5-6. Frekvens och återkomsttid för förekomst av fordon skyltade med farligt gods i trafikolyckor på aktuell väg.

| Parameter | Värde |
|-------------------------------------------------------------------------------------|----------|
| $F_{Olycka\ FG}$ (antal fordon skyltade med farligt gods i trafikolyckor per år) | 1,46E-03 |
| Återkomsttid för förekomst av fordon skyltade med farligt gods i trafikolyckor (år) | 684 |

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. Avsnitt 5.2 redogör för transporter av olika ämnesklasser av farligt gods på väg. För varje enskild klass av farligt gods beräknas frekvensen för olycka enligt:

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

Där

- $F_{Olycka, Klass\ X}$ = frekvens för olycka med farligt gods i Klass X, redovisas i Tabell 5-7
- $F_{Olycka\ FG}$ = förväntat antal olyckor med farligt gods, redovisas i Tabell 5-6
- $A_{Klass\ X}$ = andel transporter av Klass X, redovisas i avsnitt 5.2

Frekvensen för olycka med olika klasser av farligt gods redovisas i Tabell 5-7. De ämnesklasser av farligt gods som redovisas i Tabell 5-7 är enbart de som beaktas i beräkningarna, det vill säga klass 1, 2.1, 2.3, 3 och 5. Detta motsvarar de klasser som utgör risk för människor i omkringliggande område och motiveras och beskrivs i huvudrapporten.

Tabell 5-7. Frekvens för olycka på väg med olika klasser av farligt gods.

| Olycka med transport innehållande | Frekvens (per år) |
|----------------------------------------------------|-------------------|
| Klass 1 – Explosiva ämnen och föremål | 9,19E-06 |
| Klass 2.1 – Brandfarliga gaser | 1,08E-04 |
| Klass 2.3 – Giftiga gaser | 1,46E-06 |
| Klass 3 – Brandfarliga vätskor | 6,14E-04 |
| Klass 5 – Oxiderande ämnen och organiska peroxider | 4,96E-05 |

5.3.2 Olycksscenarioer

Olika utfall av en olycka är möjliga beroende på vilken klass av farligt gods som är involverad i olyckan. I detta avsnitt redovisas händelsesträd med möjliga olycksscenarioer för de klasser av farligt gods som vid en olycka kan leda till att personer omkommer. 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.

Att det sker en olycka som involverar farligt gods betyder dock inte nödvändigtvis att det farliga godset sprids utanför tanken och medför allvarliga konsekvenser för omgivningen, exempelvis i form av pölbrand eller explosion. Frekvensen för sådana olycksscenarioer beror

på sannolikheten för en rad händelser, exempelvis läckage och antändning. Antaganden och beräkning av sannolikheter för sådana händelser redovisas nedan.

5.3.2.1 Olycka på väg

Räddningsverket [10] presenterar olika index för olycka med farligt gods på väg, dvs. skattade sannolikheter för att en trafikolycka med ett fordon skyltat med farligt gods på en viss väg resulterar i en olycka där det farliga ämnet kommer ur sin tank eller behållare. Index varierar för olika bebyggelsemiljö, vägtyp och hastighetsgräns och är alltså ett sätt skilja på sannolikheten för läckage i samband med olycka med farligt gods mellan olika vägar.

Index används i beräkningarna på olika vis beroende på vilken klass som beaktas, huvudsakligen för att ta fram sannolikheten för läckage från tank. Utgångspunkten är att de index som Räddningsverket sammanfattar gäller för transporter där det farliga godset inte förvaras under tryck. För transporter där det farliga godset transporteras under tryck antas utsläpp vara 30 gånger mindre sannolikt eftersom kravet på dessa tankar är större [10]. För vissa sannolikheter som inte involverar läckage men som kan förväntas vara hastighetsberoende används istället indexkvot, dvs. kvoten mellan index för aktuell vägtyp och den vägtyp som innebär störst index. Indexkvoten beräknas enligt:

$$I_{Kvot} = I_{Olycka\ FG} \div I_{Olycka,FG,max}$$

Där

- I_{Kvot} = indexkvot
- $I_{Olycka\ FG}$ = index för olycka med farligt gods för aktuell väg, erhålls från [10]
- $I_{Olycka,FG,max}$ = maximalt index för olycka med farligt gods (gäller för motorväg, landsbygd, 110 km/h), erhålls från [10]

Relevanta index för olycka med farligt gods och indexkvot sammanfattas i Tabell 5-8. Hur dessa värden används i beräkningarna beskrivs under respektive klass nedan.

Tabell 5-8. Index för olycka med farligt gods och indexkvot.

| Parameter | Värde |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|
| Maximalt index för olycka med farligt gods, max (gäller för 90 km/h, landsbygd, 6-11 m bred) | 0,45 |
| Index för olycka med farligt gods för aktuell väg (sannolikhet läckage av farligt gods som inte transporteras under tryck) | 0,28 |
| Index för olycka med farligt gods för aktuell väg, dividerat med 30 (sannolikhet läckage av farligt gods som transporteras under tryck) | 0,0093 |
| Indexkvot | 0,67 |

5.3.2.2 Klass 1 – Explosiva ämnen och föremål

I enlighet med riskinventeringen är det primärt "Underklass 1.1 – ämnen och föremål som har en risk för massexplosion" som har ett konsekvensområde som är så pass utbrett att det bedöms kunna medföra påverkan på människor som befinner utanför olycksplatsens närområde. Det antas konservativt att samtliga transporter av explosiva ämnen och föremål utförs av ämnen och föremål med risk för massexplosion.

Mängden explosiva ämnen i en transport påverkar utfallet vid en olycka. Tillåten mängd beror på fordonsklassen och kan uppgå till 16 000 kg, 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 procent av samtliga transporter sker med 20 kg

massexplosiva varor (liten lastmängd) medan resterande 2 procent sker med 16 000 kg (stor lastmängd).

Reaktion i det explosiva materialet som medför explosion 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 kan sannolikheten för brand förväntas bero på aktuell hastighet, vilken kan variera i stor utsträckning mellan olika vägar. För att ta hänsyn till hastighetens påverkan på sannolikheten används indexkvot, se beskrivning under avsnitt 5.3.2. Största möjliga sannolikhet för antändning antas vara 1 procent och gäller för motorväg på landsbygd med hastighetsgräns 110 km/h, vilket har högst index för farlig gods enligt Räddningsverket [10]. Detta innebär att sannolikheten för brand i fordon för aktuell vägsträcka beräknas enligt:

$$P_{fordonsbrand} = 0,01 \cdot I_{Kvot}$$

Där

- $P_{fordonsbrand}$ = sannolikhet för fordonsbrand vid olycka
- I_{Kvot} = indexkvot, se avsnitt 5.3.2

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 procent för transporter av 16 000 kg explosiva varor och 50 procent för transporter av 20 kg explosiva varor.

En explosion även inträffa om 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 procent [11]. För olyckor på väg, där hastigheten kan variera i stor utsträckning, beräknas sannolikheten för stötinitierad detonation med hjälp av en indexkvot, se beskrivning under avsnitt 5.3.2. Största möjliga sannolikhet för antändning antas vara 0,2 procent och gäller för motorväg på landsbygd med hastighetsgräns 110 km/h, som har högst index för farlig gods enligt Räddningsverket [10]. Detta innebär att sannolikheten för stötinitierad detonation vid olycka på aktuell vägsträcka beräknas enligt:

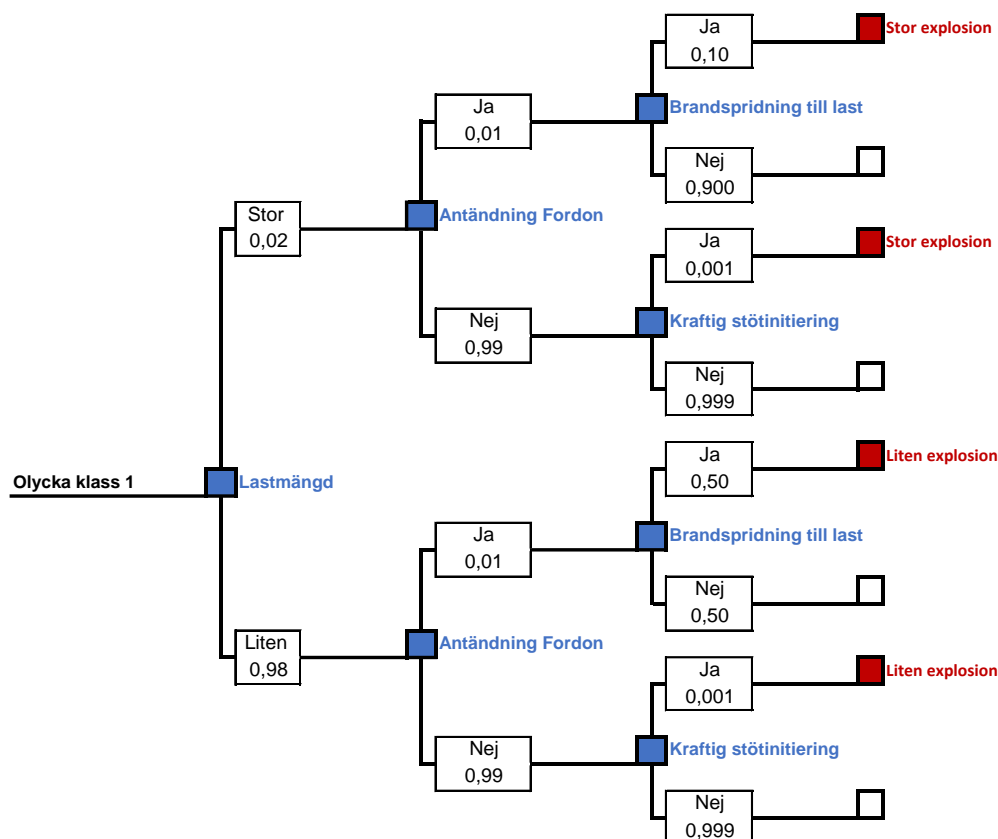
$$P_{kraftig\ stötinitiering} = 0,002 \cdot I_{Kvot}$$

Där

- $P_{kraftig\ stötinitiering}$ = sannolikhet för kraftig stötinitiering vid olycka
- I_{Kvot} = indexkvot, se avsnitt 5.3.2

Händelsetråd

Ovanstående resonemang sammanfattas i Figur 5-1 som visar händelsetrådet för olyckor med explosiva ämnen och föremål. Händelsetrådet, med de värden som presenteras i Figur 5-1, tillämpas för frekvensberäkningarna för väg.



Figur 5-1. Händelseträd för olycka med explosiva ämnen och föremål.

5.3.2.3 Klass 2.1 – Brandfarliga gaser

Antändning av brandfarlig gas kan inträffa om den brandfarliga gasen läcker ut från tanken. Sannolikheten för att tanken skadas och att ett läckage uppstår är beroende av fordonets hastighet vid olyckan. För olyckor på väg, där hastigheten kan variera i stor utsträckning, motsvarar sannolikheten för läckage av brandfarlig gas den sannolikhet som gäller för farligt gods som transporteras under tryck, vilken anges i Tabell 5-8.

Läckagen delas upp i små läckage och stora läckage. Vad gäller olyckor på väg anger Räddningsverket [10] ingen fördelning mellan litet läckage och stort läckage i sin metod. Därför antas att små och stora läckage utgör 50 procent vardera.

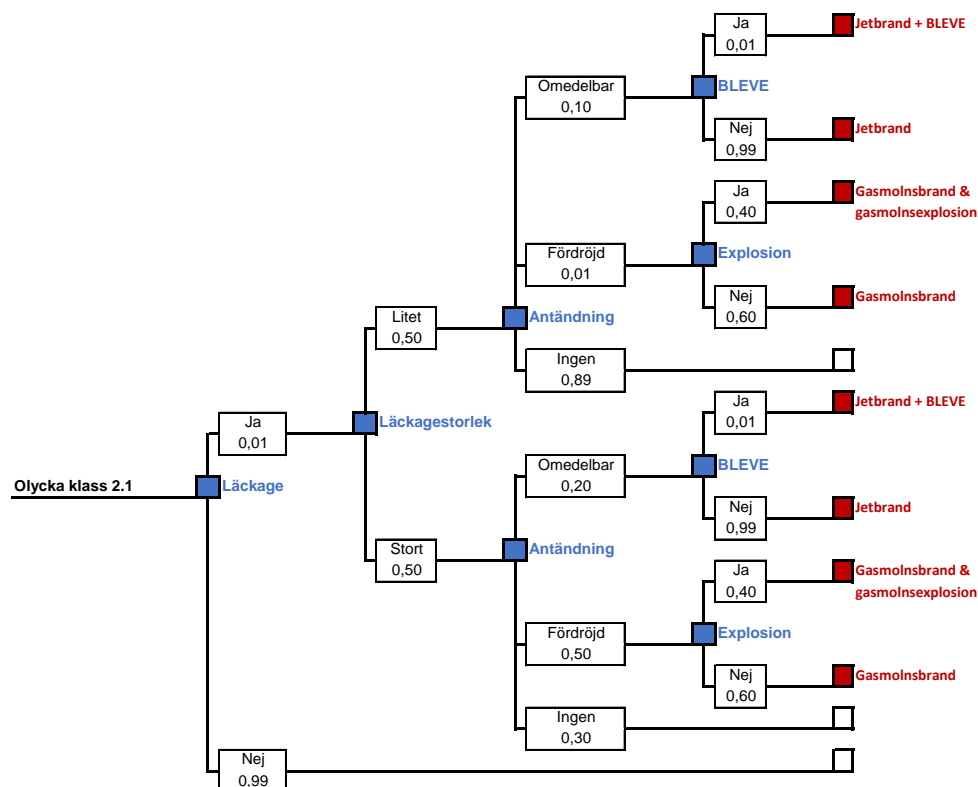
Skadefallet beror därefter på om det sker en omedelbar eller fördröjd antändning av gasen. Sannolikheten för omedelbar antändning beror på läckagets storlek och ansätts till 10 procent för litet läckage och 20 procent för stort läckage [12]. För att en fördröjd antändning ska ske krävs som regel ett större läckage [12] men konservativt ansätts en sannolikhet för fördröjd antändning även vid mindre läckage. Sannolikheten för fördröjd antändning antas vara 1 procent för litet läckage och 50 procent för stort läckage.

Omedelbar antändning medför jetbrand. Fördröjd antändning medför gasmolnsbrand och potentiellt även gasmolnsexplosion. 60 procent av de fördröjda antändningarna leder till gasmolnsbrand medan resterande 40 procent leder till gasmolnsbrand och gasmolnsexplosion [4]. 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 procent.

Händelseträd

Ovanstående resonemang sammanfattas i Figur 5-2 som visar händelseträdet för olyckor med brandfarliga gaser. Händelseträdet, med de värden som presenteras i Figur 5-2, tillämpas för frekvensberäkningarna för väg.



Figur 5-2. Händelseträd för olycka med brandfarlig gas.

5.3.2.4 Klass 2.3 – Giftiga gaser

I beräkningarna representeras giftiga gaser av 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 procent respektive 20 procent.

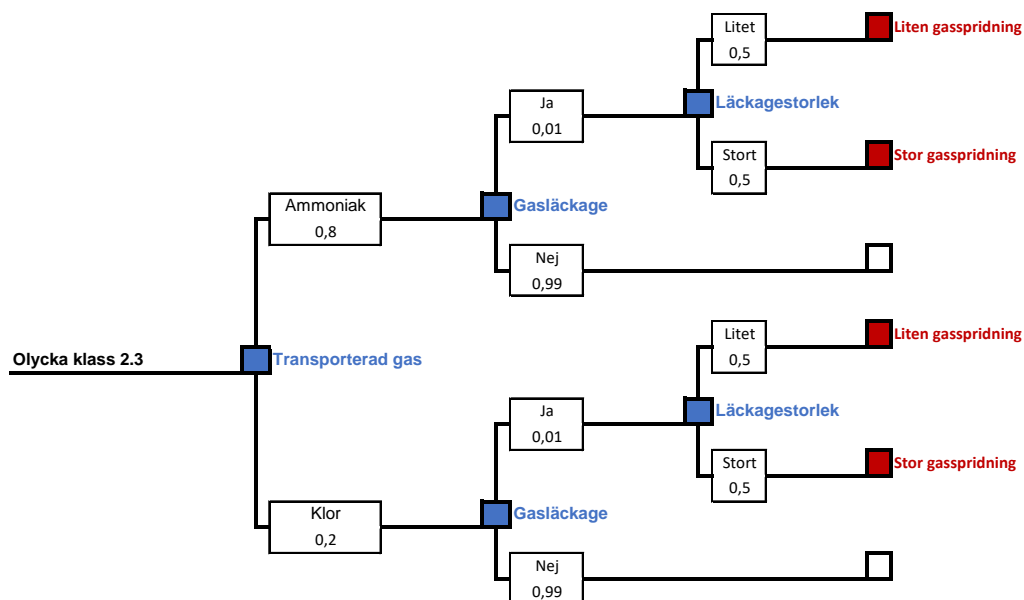
Sannolikheten för att tanken skadas och ett läckage uppstår är beroende av fordonets hastighet vid olyckan. För olyckor på väg, där hastigheten kan variera i stor utsträckning, motsvarar sannolikheten för läckage av giftig gas den sannolikhet som gäller för farligt gods som transporteras under tryck, vilken anges i Tabell 5-8.

Läckagen delas upp i små läckage och stora läckage. För olyckor på väg anger Räddningsverket [10] ingen fördelning mellan litet läckage och stort läckage i sin metod. Därför antas att små och stora läckage utgör 50 procent vardera.

Händelseträd

Ovanstående resonemang sammanfattas i Figur 5-3 som visar händelseträdet för olyckor

med giftiga gaser. Händelseträdet med de värden som presenteras Figur 5-3 tillämpas för frekvensberäkningarna för väg.

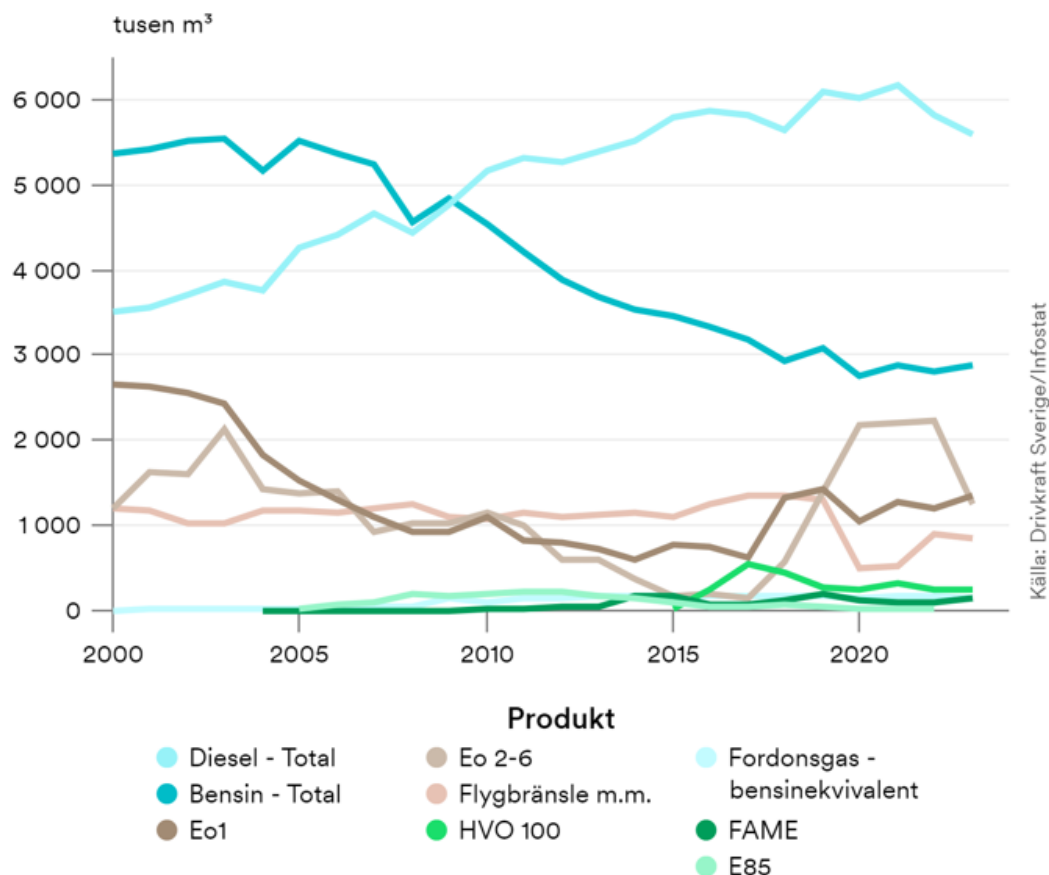


Figur 5-3. Händelsetråd för olycka med läckage av giftig gas.

5.3.2.5 Klass 3 – Brandfarliga vätskor

Exakt fördelning mellan drivmedel och andra brandfarliga vätskor är okänd. I Figur 5-4 visas däremot statistik över samtliga utlevererade oljeprodukter och förnybara drivmedel. Enligt statistiken har diesel de senaste åren stått för cirka 50 procent och bensin för cirka 30 procent av samtliga transporterade oljeprodukter och förnybara drivmedel.

I beräkningarna representeras de brandfarliga vätskorna av bensin respektive resterande drivmedel (diesel, flygbränsle osv.). Bensin antas utgöra 40 procent av all brandfarlig vätska och resterande drivmedel 60 procent. Jämfört med statistiken i Figur 5-4, antas en något högre andel transport av bensin, vilket är konservativt eftersom bensin är mer benägen att användas och medför större konsekvenser i samband med antändning. I beräkningarna representeras bensin av ämnet pentan medan resterande ämnen representeras av ämnet n-dodekan (dodekan).



Figur 5-4. Fördelning inom drivmedel avseende utleverade volymer av petroleumprodukter och förnybara drivmedel i Sverige [14].

Sannolikheten för att en tunnväggig tank innehållande brandfarlig vätska skadas och att ett läckage uppstår är beroende av fordonets hastighet vid olyckan.

Läckage av brandfarliga vätskor delas upp i små, medelstora och stora läckage i enlighet med *Purple Book* [4]. Utsläppsvolymer presenteras i Tabell 5-9 tillsammans med pölstorlek och sannolikhet för varje utsläppsvolym. Informationen i Tabell 5-9 gäller för utsläpp av såväl pentan som dodekan.

Tabell 5-9. 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 |

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 *Purple Book* [4] och redovisas i Tabell 5-10. För pentan finns risk för fördröjd antändning av den förångade vätskan, vilket innebär risk för både gasmolnsbrand och gasmolnsexplosion. Vid fördröjd antändning antas motsvarande sannolikheter för gasmolnsbrand och gasmolnsexplosion som anges för brandfarlig gas i avsnitt 5.3.2.3, det

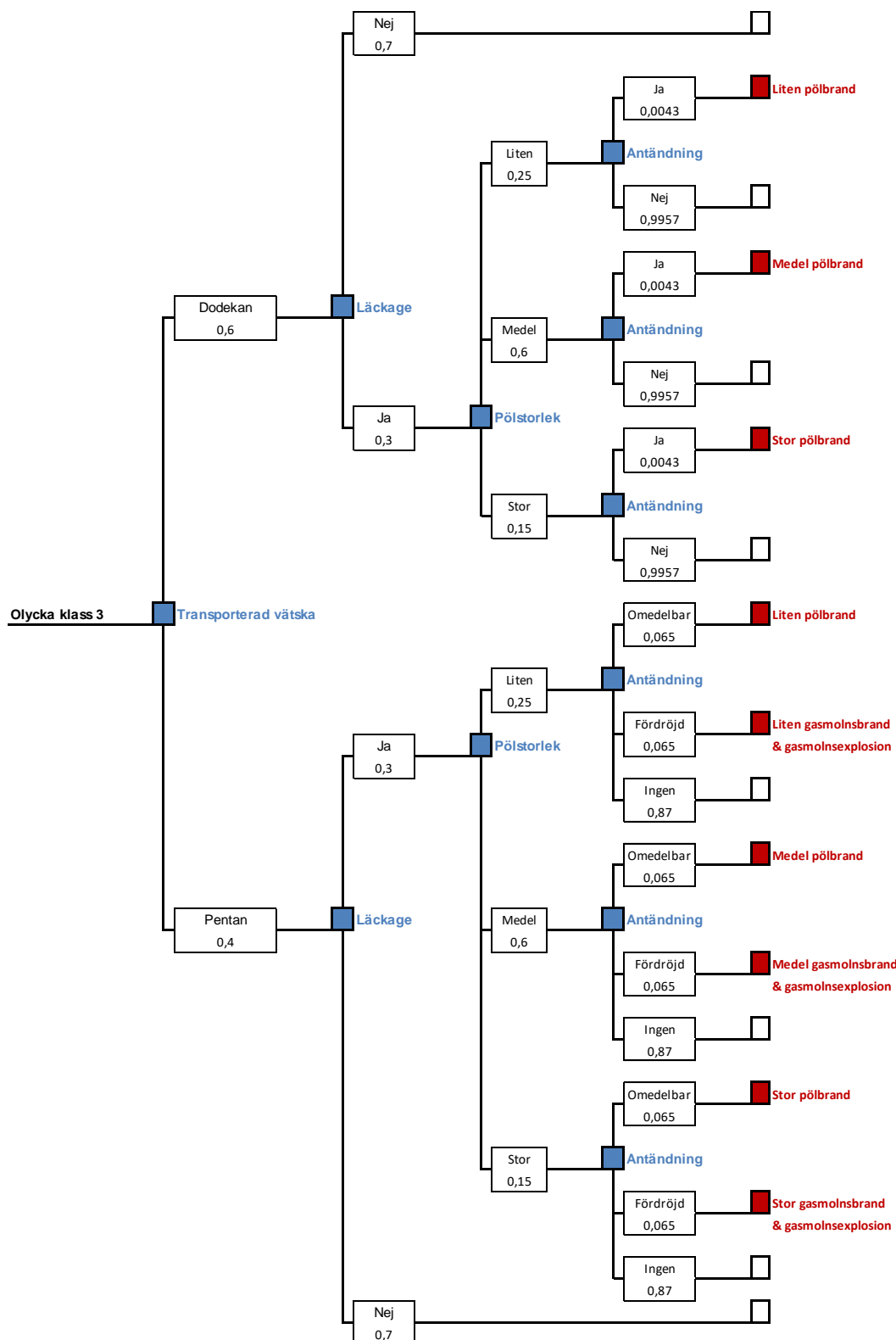
vill säga att 60 procent av de fördröjda antändningarna leder till gasmolnsbrand medan resterande 40 procent leder till gasmolnsbrand och gasmolnsexplosion.

Tabell 5-10. 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 5-5, som visar händelseträdet för olyckor med brandfarliga vätskor. Händelseträdet, med de värden som presenteras i Figur 5-5, tillämpas för frekvensberäkningarna för väg.



Figur 5-5. Händelseträd för olycka med brandfarlig vätska.

5.3.2.6 Klass 5 – Oxiderande ämnen och organiska peroxider

I beräkningarna antas det att samtliga transporter med Klass 5 utgörs av oxiderande ämnen (Klass 5.1), eftersom dessa utgör en stor majoritet av samtliga transporter med Klass 5, se avsnitt 5.2.

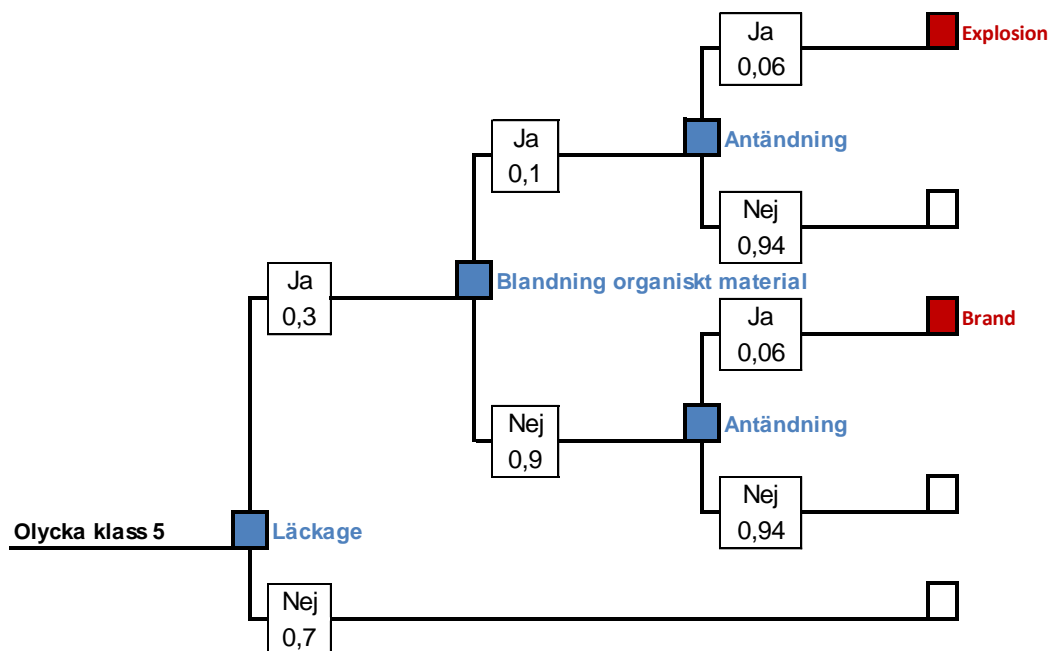
Oxiderande ämnen transporteras under atmosfärstryck i tunnväggiga tankar. Sannolikheten för att tanken skadas och att ett läckage uppstår är beroende av fordonets hastighet vid olyckan. För olyckor på väg, där hastigheten kan variera i stor utsträckning, motsvarar sannolikheten för läckage den sannolikhet som gäller för farligt gods som *inte* transporteras under tryck, vilken anges i Tabell 5-8.

Olycksförloppet vid läckage av oxiderande ämnen beror på om ämnen blandas med organiskt material, exempelvis fordonets bränsle. Om ämnet blandas med organiskt material kan en explosion inträffa. Om ämnet inte blandas med organiskt 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 procent. Om det oxiderande ämnet blandas med organiskt material antas sannolikheten för explosion vara 6 procent. Om det oxiderande ämnet inte blandas med organiskt material antas sannolikheten för brand vara 6 procent.

Händelseträd

Ovanstående resonemang sammanfattas i Figur 5-6 som visar händelseträdets för olyckor med oxiderande ämnen och organiska peroxider. Händelseträdets med de värden som presenteras i Figur 5-6 tillämpas för frekvensberäkningarna för väg.



Figur 5-6. Händelseträd för olycka med oxiderande ämnen och organiska peroxider.

5.3.3 Summering av frekvensberäkningar

Nedan presenteras en summering av de frekvens som används som indata till beräkningar av individ- och samhällsrisk.

5.3.3.1 Väg

Slutfrekvenser för olycka med farligt gods på väg redovisas i Tabell 5-11.

Tabell 5-11. Slutfrekvenser för olycka farligt gods på väg.

| Klass | Händelse | Frekvens per år |
|-----------|----------------------------------------------------------|-----------------|
| Klass 1 | Liten explosion | 4,19E-07 |
| | Stor explosion | 3,66E-10 |
| Klass 2.1 | BLEVE | 1,52E-09 |
| | Jetbrand (litet läckage) | 5,06E-08 |
| | Jetbrand (stort läckage) | 1,01E-07 |
| | Gasmolnsbrand/gasmolnsexplosion (litet läckage) | 5,06E-09 |
| | Gasmolnsbrand/gasmolnsexplosion (stort läckage) | 2,53E-07 |
| Klass 2.3 | Utsläpp, ammoniak (litet läckage) | 5,45E-09 |
| | Utsläpp, ammoniak (stort läckage) | 5,45E-09 |
| | Utsläpp, klor (litet läckage) | 1,36E-09 |
| | Utsläpp, klor (stort läckage) | 1,36E-09 |
| Klass 3 | Pölbrand, dodekan (litet läckage) | 1,11E-07 |
| | Pölbrand, dodekan (medelstort läckage) | 2,66E-07 |
| | Pölbrand, dodekan (stort läckage) | 6,65E-08 |
| | Pölbrand, pentan (litet läckage) | 1,12E-06 |
| | Pölbrand, pentan (medelstort läckage) | 2,68E-06 |
| | Pölbrand, pentan (stort läckage) | 6,70E-07 |
| | Gasmolnsbrand/och explosion, pentan (litet läckage) | 1,12E-06 |
| | Gasmolnsbrand/och explosion, pentan (medelstort läckage) | 2,68E-06 |
| | Gasmolnsbrand/och explosion, pentan (stort läckage) | 6,70E-07 |
| Klass 5 | Explosion | 8,34E-08 |
| | Brand | 7,51E-07 |

5.4 Konsekvensberäkningar för olycka med farligt gods

I detta avsnitt presenteras metodik för och antaganden bakom konsekvensberäkningar. Konsekvensberäkningar för olycka med farligt gods genomförs i programvaran Riskcurves [2]. Beräkningarna baseras till stor del på de källor som används i Riskcurves, dvs. *Purple Book* [4], *Yellow Book* [15] och *Green book* [16].

Avsnittet beskriver först generella omgivningsparametrar som utgör förutsättningar för de olika beräkningsscenarierna och därefter ett underavsnitt för varje klass av farligt gods. Underavsnitten beskriver relevanta sårbarhetsparametrar, använda beräkningsmodeller för olycksscenarioer och beräknade konsekvensavstånd.

5.4.1 Generella omgivningsparametrar

Generella omgivningsparametrar som används i beräkningarna och påverkar konsekvensavstånden presenteras i Tabell 5-12. För omgivningsparametrar som berör vindförhållanden hänvisas till avsnitt 3.

Tabell 5-12. Omgivningsparametrar.

| Parameter | Värde | Kommentar |
|------------------------|-------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Lufttryck | 1 atm | Omgivningens lufttryck. |
| Solinstrålning dagtid | 120 W/m ² | Solinstrålningen har en inverkan på avdunstningen av pölar. |
| Omgivningstemperatur | 9 °C | Årlig medeltemperatur. Temperaturen har en inverkan på konsekvenserna. Generellt innebär en högre temperatur större konsekvenser. |
| Relativ fuktighet | 83 % | Omgivningens luftfuktighet. |
| Molnighet | 75 % (halvklart till molnigt) | Molnigheten påverkar den faktiska solinstrålningen. 75 % moln innebär 25 % av den ordinarie solinstrålningen. |
| Ytråhet (gasspridning) | 0.25 m "High crops; scattered large objects" | Ytråhet är en parameter som beskriver grovheten av en yta och som påverkar vindhastigheten vid ytan. Ju slätare yta och färre hinder, desto lägre värde. Lägre värden innebär längre spridningsavstånd för gasmoln. |

5.4.2 Klass 1 – Explosiva ämnen och föremål

Nedan beskrivs metodik och antaganden bakom konsekvensberäkningar för explosiva ämnen och föremål.

5.4.2.1 Sårbarshetsparametrar

En explosion med explosiva ämnen eller föremål medför ett övertryck som kan vara skadligt för människor. Skador på människor utgörs i första hand av skador på trumhinnor. Vid mer kraftfulla övertryck påverkas även lungor och andra inre organ, vilket kan orsaka dödliga skador. Det lägsta explosionsövertryck som kan förväntas orsaka dödliga skador är runt 180 kPa. Däremot kan lägre övertryck på 10–40 kPa orsaka skador på byggnader som medför dödsfall bland de människor som vistas inom byggnaden. I Tabell 5-13 anges de sårbarshetsparametrar avseende explosionsövertryck som används i beräkningarna.

Tabell 5-13. Sårbarshetsparametrar avseende explosionsövertryck som används i beräkningar.

| Parameter | Värde | Kommentar |
|---------------------------------|--------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Explosionsövertryck (dödlighet) | 30 kPa | Explosionsövertryck som orsakar 100 % dödlighet oavsett om personer vistas inomhus eller utomhus. Detta är att se som mycket konservativt eftersom dödsfall utomhus endast förväntas ske vid betydligt högre övertryck. |
| Explosionsövertryck | 10 kPa | Explosionsövertryck som orsakar 2,5 % dödlighet inomhus. |

5.4.2.2 Modell för olycksscenario

För analysen av konsekvenser som omfattar explosiva ämnen och föremål används standardberäkning enligt TNT-ekvivalentmetoden i *Yellow book* [15]. Det massexplosiva ämnet representeras av TNT, och trycket från explosionen beräknas därefter. Mängden massexplosiva varor i en transport är i beräkningarna antingen 20 kg eller 16 000 kg enligt avsnitt 5.3.2.2, vilket motsvarar en liten respektive stor explosion.

5.4.2.3 Konsekvensavstånd

Avstånd för relevanta konsekvenser i samband med olyckor med explosiva ämnen och föremål presenteras i Tabell 5-14. Konsekvensavstånden skiljer sig inte åt mellan olika väderförhållanden.

Tabell 5-14. Konsekvensavstånd för explosion.

| Konsekvens | Olycksscenario | Avstånd [m] |
|------------|-----------------|-------------|
| 10 kPa | Liten explosion | 37 |
| | Stor explosion | 341 |
| 30 kPa | Liten explosion | 17 |
| | Stor explosion | 157 |

5.4.3 Klass 2.1 – Brandfarliga gaser

Nedan beskrivs metodik och antaganden bakom konsekvensberäkningar för brandfarliga gaser.

5.4.3.1 Sårbarhetsparametrar

En olycka med brandfarlig gas kan medföra skador på människor på grund av dels det övertryck som uppstår vid en explosion, dels den värmestrålning som uppstår vid antändning av gasen. I Tabell 5-15 anges de sårbarhetsparametrar som används i beräkningarna för olycka med brandfarliga gaser. Förutom att vissa värden på värmestrålning och övertryck medför 100 procent dödlighet i beräkningarna, används även en probitfunktion för värmestrålning som innebär att en andel av de som exponeras för värmestrålning som är lägre än 35 kW/m² under en viss tid omkommer.

Tabell 5-15. Sårbarhetsparametrar avseende olycka med brandfarliga gaser som används i beräkningar.

| Parameter | Värde | Kommentar |
|--------------------------------------------------------|-----------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Gasmolnsbrand (faktor för dödlighet) | 1 | Andel som omkommer inom brännbar koncentration av ett gasmoln. |
| Jetbrand (faktor för dödlighet) | 1 | Andel som omkommer inom jetbrandens utbredning. |
| Värmestrålning (dödlighet) | 35 kW/m ² | Värmestrålningsnivå med 100 % dödlighet. |
| Probitfunktion för värmestrålning | $-36,38+2,56 \cdot \ln(q^{4/3} \cdot t)$ [16] | 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. |
| Korrektionsfaktor för kläders skydd mot värmestrålning | 0,14 | Vid probitberäkningar för värmestrålning appliceras denna korrektionsfaktor för att justera aktuella konsekvenser vid samhällsrisikberäkningar. |
| Mottagarens höjd över marken | 1,5 m | Höjd för beräkning av värmestrålning. |
| Explosionsövertryck (dödlighet) | 30 kPa | Explosionsövertryck som orsakar 100 % dödlighet oavsett om personer vistas inomhus eller utomhus. Detta är att se som mycket konservativt eftersom dödsfall utomhus endast förväntas ske vid betydligt högre övertryck. |
| Explosionsövertryck (dödlighet inomhus) | 10 kPa | Explosionsövertryck som orsakar 2,5 % dödlighet inomhus. |

5.4.3.2 Modell för olycksscenario

För analysen av konsekvenser som omfattar brandfarliga gaser används olika beräkningsmodeller beroende på aktuellt scenario.

I beräkningarna antas att det är tryckcondenserad propan (gasol) som transporteras eftersom ämnet har en låg brännbarhetsgräns och utgör en stor andel av transportererna med brandfarlig gas. Det innebär att antändning kan inträffa på ett förhållandevis långt avstånd från olycksplatsen.

I beräkningarna representeras möjliga läckage av ett litet och ett stort 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. Konsekvensberäkningar av BLEVE är oberoende av hålstorlek. För jetbrand och antänt gasmoln varierar skadeområdet med läckagestorlek, tiden till antändning samt vindriktning och -hastighet. Ett utsläpps storlek och konsekvensområde varierar även beroende på var i tanken läckaget 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 även vara det mest troliga i händelse av olycka med brandfarlig gas.

De indata som används i beräkningsprogrammet [2] för att simulera konsekvensområden för jetbrand, antänt gasmoln och BLEVE är:

- volym på tank: 40 m³
 - För transporter på väg bedöms det vara ett konservativt antagande.
- tankfyllnadsgrad: 80 %
- lagringstemperatur: 9 °C
- lagringstryck: 6,2 bar (absolut tryck motsvarande ångtrycket)
- utströmningkoefficient (Cd): 0,62 (skarpa kanter)
- tanklängd (horisontell cylinder): 7 m
- bristningstryck: 25 bar (inneboende tryck då tanken brister vid en BLEVE).

Gasmolnsexplosion och gasmolnsbrand

För scenariot gasmolnsexplosion används multienergimetoden, vilket är en metod inom gruppen "fuel-air charge blast model", för att beräkna konsekvenser, i enlighet med *Yellow book* [15]. Modellen beskrivs där som den mest lämpliga för att modellera egenskaperna hos en gasmolnsexplosion.

En parameter som behöver bestämmas för att genomföra beräkningar enligt multienergimetoden är explosionsstyrkan, vilken anger den initiala styrkan hos explosionen och är fördelad på tio olika klasser. Explosionsstyrka 1 innebär en svag explosion med låg flamhastighet, medan explosionsstyrka 10 innebär stark explosion med hög flamhastighet (detonation). Explosionsstyrkan beror bland annat på parametrar som grad av inneslutning, hindertäthet, initieringsenergi och reaktivitet hos gasen [17]. Det saknas enkla modeller för att uppskatta aktuell explosionsstyrka och stora variationer förekommer, varför höga värden på explosionsstyrka inte kan uteslutas. För att ta höjd för denna variation antas explosionsstyrkan 10, vilket rekommenderas i *Yellow book* för situationer då tillräcklig information saknas [15]. Detta är ett konservativt värde, eftersom explosioner med brandfarliga gaser utomhus ytterst sällan innebär detonation [17, 15].

Vid en gasmolnsexplosion deltar inte hela det brännbara molnet i explosionen. Endast de delar av det brännbara gasmolnet som är instängda eller blockerade bidrar till explosionsfenomenet [15]. I beräkningarna antas det att 8 procent av gasmolnet bidrar till explosionsfenomenet, vilket föreslås i *Purple book* [4]. De delar av gasmolnet som inte ingår i explosionen ingår istället i en gasmolnsbrand. Konsekvensberäkningar av gasmolnsbrand baseras på de utgångspunkter och standardvärden som anges i *Yellow book* [15]

En gasmolnsbrand och gasmolnsexplosion kan, beroende på vindstyrka och vindriktning inträffa en bit från själva läckagepunkten. Värst konsekvenser inträffar då vid det område som gasmolnet driver mot, vilket avgörs av vindriktningen.

Jetbrand

Konsekvensberäkningar av jetbrand baseras på de utgångspunkter och standardvärden som anges i *Yellow book* [15]. Flammans längd beror av storleken på hålet, trycket i tanken och aktuellt väderförhållande.

BLEVE

Konsekvensberäkningar av BLEVE baseras på de utgångspunkter och standardvärden som anges i *Yellow book* [15].

5.4.3.3 Konsekvensavstånd

Avstånd för relevanta konsekvenser i samband med olyckor med brandfarlig gas presenteras i Tabell 5-16, Tabell 5-17 och Figur 5-7. Tabell 5-16 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.

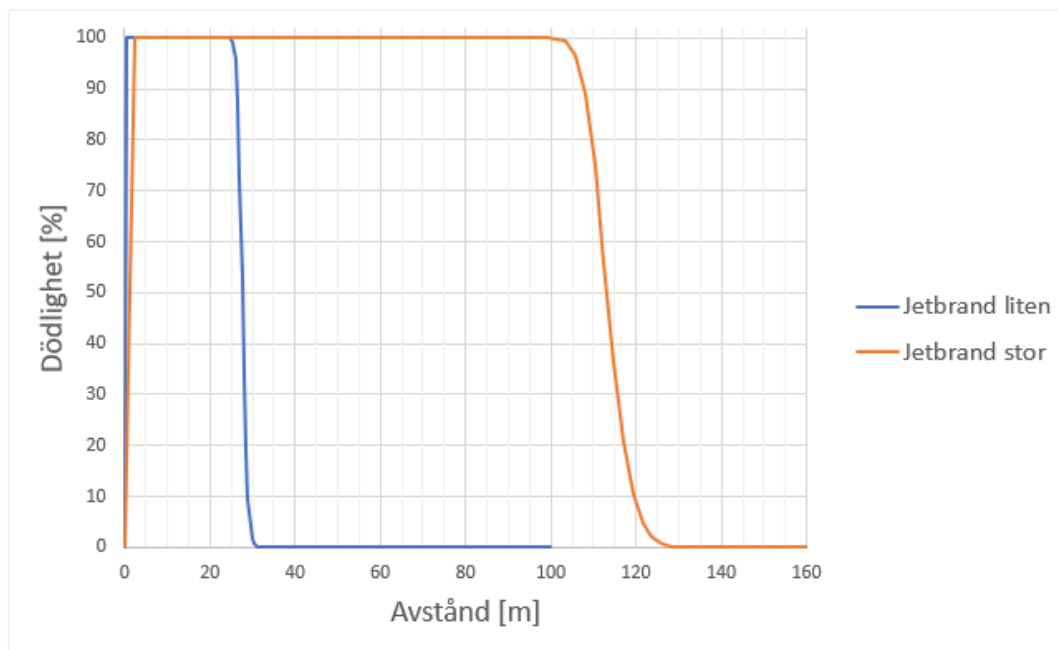
Tabell 5-17 presenterar konsekvenserna för BLEVE. Som tidigare nämnt är konsekvenserna för BLEVE oberoende av hålstorlek. Dessutom är konsekvenserna för BLEVE i praktiken oberoende av väderförhållanden och presenteras därför inte för olika väderförhållanden. I Figur 5-7 visas hur dödligheten vid jetbrand varierar med avståndet från utsläppspunkten enligt probitberäkningar. Skadeutfallen utgår från den maximala ansatta tiden för värmestrålning, dvs. 20 sekunder.

Tabell 5-16. Konsekvensavstånd för jetbrand och antänt gasmoln i samband med litet och stort läckage av brandfarlig gas.

| Konsekvens | Olycksscenario | Avstånd (vid angivet väderförhållande) [m] | | |
|-----------------------------------------|-------------------------------------|--------------------------------------------|-----|-----|
| | | D5 | D2 | F2 |
| Litet läckage | | | | |
| 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 |
| Stort läckage | | | | |
| 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 5-17. Konsekvensavstånd för olycksscenario BLEVE.

| Konsekvens | Avstånd [m] |
|-------------------------------------|-------------|
| 35 kW/m ² värmestrålning | 126 |
| 10 kPa övertryck | 72 |
| 30 kPa övertryck | 28 |



Figur 5-7. Dödlighet på olika avstånd från utsläppspunkten vid liten respektive stor jetbrand (vindförhållande F2). Områden för 100 procent dödlighet motsvarar jetbrandens utredning, därefter avtar värmestrålningen och dödligheten.

5.4.4 Klass 2.3 – Giftiga gaser

Nedan beskrivs metodik och antaganden bakom konsekvensberäkningar för giftiga gaser.

5.4.4.1 Sårbarhetsparametrar

En olycka med giftig gas kan medföra skador på människor på grund av den toxiska effekten gasen har på kroppen. I Tabell 5-18 anges de sårbarhetsparametrar som används i beräkningarna för olycka med giftiga gaser. Omfattningen av skada beror på koncentrationen som mottagaren exponeras för och tiden för exponering. Detta beräknas genom probitfunktioner för de representerande gaserna, dvs. ammoniak och klor. 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].

Tabell 5-18. Sårbarhetsparametrar avseende olycka med giftiga gaser som används i beräkningar.

| Parameter | Värde | Kommentar |
|--------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Probitfunktion för toxisk exponering för ammoniak | $7,9367+1\cdot\ln(c^2\cdot t)$ [16] | c = koncentration t = exponeringstid |
| Probitfunktion för toxisk exponering för klor | $10,599+0,5\cdot\ln(c^{2,75}\cdot t)$ [16] | c = koncentration t = exponeringstid |
| Tid för toxisk exponering | 1 800 s | Det antas att personer som inte har omkommit inom 1800 s har funnit skydd |
| Korrektionsfaktor för inomhusvistelses skydd mot toxisk exponering | 0,1 [4] | Vid probitberäkningar för toxisk exponering appliceras denna korrektionsfaktor för att justera aktuella konsekvenser vid samhällsrisikberäkningar. |
| Mottagarens höjd över marken | 1,5 m | Höjd för beräkning av toxisk koncentration av gas |

5.4.4.2 Modell för olycksscenario

I konsekvensberäkningarna för giftig gas används de utgångspunkter och standardvärden för gasutsläpp och spridning av gas som anges i *Yellow book* [15]. Enligt avsnitt 5.3.2.4 antas transporter av giftiga gaser innehålla antingen ammoniak eller klor, vilka representerar måttligt giftiga gaser respektive mycket giftiga gaser.

I beräkningarna representeras möjliga läckage av ett litet och ett stort läckage enligt:

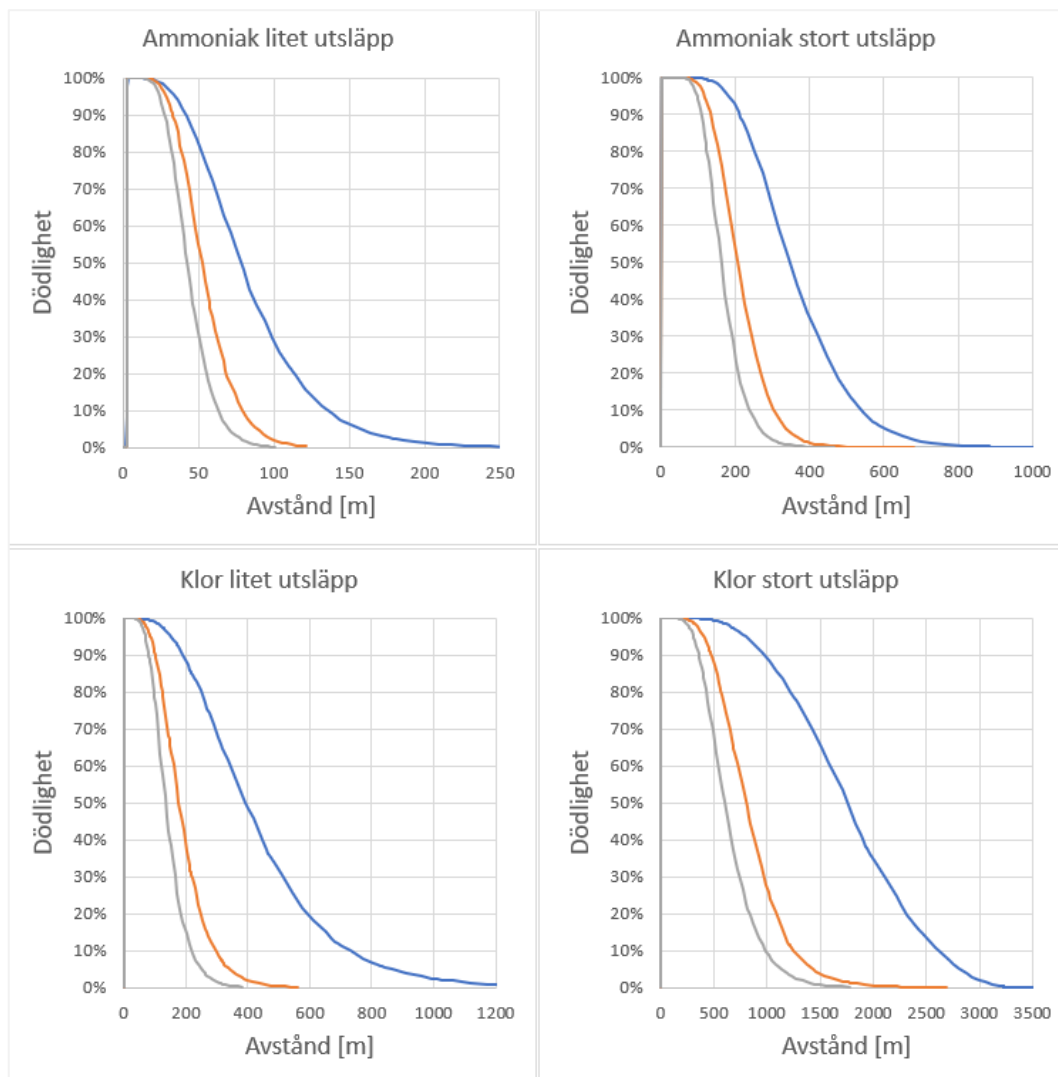
- litet läckage – punktering med hålstorlek 10 mm
- stort läckage – punktering med hålstorlek 50 mm.

De indata som används i beräkningsprogrammet [2] för att simulera konsekvensområden för läckage av giftig gas är:

- tankvolym: 40 m³
 - För transporter på väg bedöms det vara ett konservativt antagande.
- tankfyllnadsgrad: 80 %
- 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.

5.4.4.3 Konsekvensavstånd

Avstånd till olika skadeutfall i samband med olyckor med giftig gas presenteras i Figur 5-8. Eftersom konsekvensberäkningarna för giftig gas inte utgår från någon kritisk koncentration som medför 100 procent dödlighet presenteras inga avstånd till specifika koncentrationsnivåer. Istället presenteras avstånd till olika skadeutfall, dvs. avstånd till plats där en viss andel människor förväntas omkomma. Skadeutfallen utgår från den maximala ansatta tiden för toxisk exponering, dvs. 1 800 sekunder. Konsekvenserna för utsläpp av giftig gas är mycket beroende av väderförhållanden och presenteras därför för olika väderförhållanden.



Figur 5-8. Dödlighet på olika avstånd från utsläpp av giftig gas. Grå linje avser väderförhållande D5, orange linje avser väderförhållande D2 och blå linje avser väderförhållande F2.

5.4.5 Klass 3 – Brandfarliga vätskor

Nedan beskrivs metodik och antaganden bakom konsekvensberäkningar för brandfarliga vätskor.

5.4.5.1 Sårbarhetsparametrar

En olycka med brandfarlig vätska och efterföljande antändning kan medföra skador på människor på grund av den värmestrålning som uppstår. Vid en eventuell gasmolnexplosion från förångad vätska kan människor dessutom skadas av explosionsövertryck. I Tabell 5-13 anges de sårbarhetsparametrar som används i beräkningarna för brandfarlig vätska. Förutom att värmestrålning som överstiger 35 kW/m² medför 100 procent dödlighet i beräkningarna, används även en probitfunktion för värmestrålning som innebär att en andel av de som exponeras för värmestrålning lägre än 35 kW/m² under en viss tid omkommer.

| Värmeexponering | | |
|--------------------------------------------------------|-----------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Värmestrålning (dödlighet) | 35 kW/m ² | Värmestrålningsnivå med 100 % dödlighet |
| Probitfunktion för värmestrålning | $-36,38+2,56 \cdot \ln(q^{4/3} \cdot t)$ [16] | 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 |
| Korrektionsfaktor för kläders skydd mot värmestrålning | 0,14 | Vid probitberäkningar för värmestrålning appliceras denna korrektionsfaktor för att justera aktuella konsekvenser vid samhällsrisikberäkningar. |
| Explosionsövertryck (dödlighet) | 30 kPa | Explosionsövertryck som orsakar 100 % dödlighet oavsett om personer vistas inomhus eller utomhus. Detta är att se som mycket konservativt eftersom dödsfall utomhus endast förväntas ske vid betydligt högre övertryck. |
| Explosionsövertryck (dödlighet inomhus) | 10 kPa | Explosionsövertryck som orsakar 2,5 % dödlighet inomhus. |
| Gasmolnsbrand (faktor för dödlighet) | 1 | Andel som omkommer inom brännbar koncentration av ett gasmoln. |

5.4.5.2 Modell för olycksscenario

I konsekvensberäkningen används pentan för att modellera bensin 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 kan antas efterspegla verkligheten på ett bättre sätt. I övrigt används de utgångspunkter och standardvärden för vätskeutsläpp och pölbrand som beskrivs som anges i *Yellow book* [15].

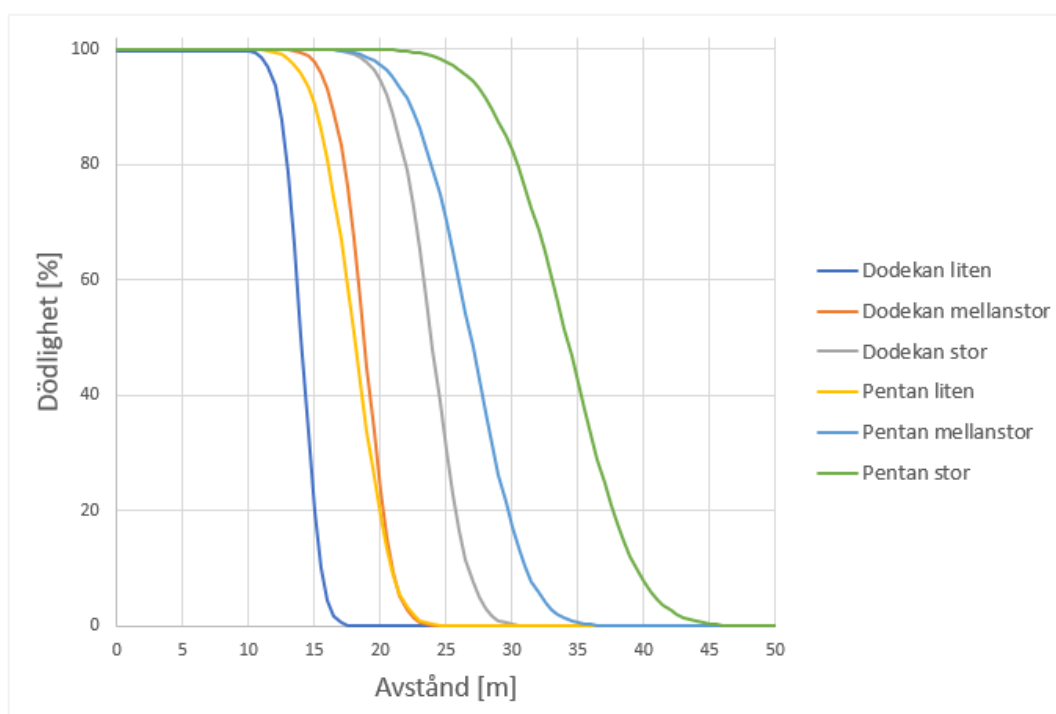
5.4.5.3 Konsekvensavstånd

I Tabell 5-19 redovisas avstånd till värmestrålningsnivå, som medför 100 procent dödlighet, för väderförhållande D5 för de studerade olycksscenarierna. Variationerna mellan olika vädersscenarier är inte betydande och därför presenteras enbart avstånd för väderförhållande D5. I Figur 5-9 visas hur dödligheten vid pölbrand varierar med avståndet från utsläppspunkten enligt probitberäkningar. Skadeutfallen utgår från den maximala ansatta tiden för värmestrålning, dvs. 20 sekunder.

Tabell 5-20 presenterar konsekvenser för antänt gasmoln i samband med litet, medelstort och stort läckage av brandfarlig vätska (pentan). Förutsättningarna för antändning av gasmoln är beroende av väderförhållanden, och enbart när luftmassan är mycket stabil och vindhastigheten låg (väderförhållande F2) finns det förutsättningar för antändning. Därför visas endast konsekvensavstånd för väderförhållande F2.

Tabell 5-19. Avstånd till värmestrålningsnivåer för väderförhållande D5.

| Konsekvens | Olycksscenario | | Avstånd (vid väderförhållande D5) |
|-------------------------------------|----------------|--------------------|-----------------------------------|
| | | | [m] |
| 35 kW/m ² värmestrålning | Pentan | Litet läckage | 15 |
| | | Medelstort läckage | 20 |
| | | Stort läckage | 25 |
| | Dodekan | Litet läckage | 11 |
| | | Medelstort läckage | 15 |
| | | Stort läckage | 19 |



Figur 5-9. Dödlighet på olika avstånd från utsläppspunkten vid pölbrand (vindförhållande D5).

Tabell 5-20. Konsekvensavstånd för antänt gasmoln i samband med litet, medelstort och stort läckage av brandfarlig vätska (pentan), väderförhållande F2.

| Konsekvens | Olycksscenario | Avstånd (utifrån läckagestorlek) | | |
|-----------------------------------------|-------------------------------------|----------------------------------|-------|-------|
| | | Litet | Medel | Stort |
| 10 kPa övertryck | Gasmolnsexplosion | 16 | 32 | 43 |
| 30 kPa övertryck | Gasmolnsexplosion | 8 | 18 | 24 |
| Längsta avstånd till antändbart gasmoln | Gasmolnsbrand och gasmolnsexplosion | 8 | 17 | 25 |

5.4.6 Klass 5 – Oxiderande ämnen och organiska peroxider

I avsnitt 5.3.2.6 beskrivs att oxiderande ämnen (klass 5.1) antas utgöra samtliga transporter av ämnen i klass 5. I samma avsnitt beskrivs att explosionsscenarioer eller brandscenarierna kan uppstå i samband med en olycka med oxiderande ämnen.

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. Se avsnitt 5.4.1 för mer information om konsekvensberäkningar för små explosioner.

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. Se avsnitt 5.4.5 för mer information om konsekvensberäkningar för små pölbränder.

Referenser

- [1] SCB, Hushållens boende, 2024.
- [2] TNO Riskcurves, RISKCURVES 12.5.1.
- [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] Trafikverket, "NVDB på webb," [Online]. Available: <https://nvdb2012.trafikverket.se/SeTransportnatverket>.
- [7] Trafikverket, "Trafikutvecklingstal väg (TRV 2021/7267)," 2024.
- [8] Trafikanalys, "Lastbilstrafik 2014-2023," 2015-2024.
- [9] Räddningsverket, "Kartläggning av farligt gods transporter, September 2006," 2006.
- [10] Räddningsverket, "Farligt gods - Riskbedömning vid transport," 1996.
- [11] HMSO, "Major Hazard aspects of the transport of dangerous substances," Advisory Committee on Dangerous Substances Health & Safety, London, 1991.
- [12] G. Purdy, "Risk analys of the transportation of dangerous goods by road and rail," Elsevier Science Publishers B.V, Amsterdam, 1993.
- [13] S. Fredén, "Modell för skattning av sannolikheten för järnvägsolyckor som drabbar omgivningen," Banverket, Borlänge, 2001.
- [14] Drivkraft Sverige, "Volymer," 20 06 2024. [Online]. Available: <https://drivkraftsverige.se/statistik/volymer/>.
- [15] TNO Yellow Book, Methods for the calculation of physical effects "Yellow Book", The Hague, 2005a.
- [16] TNO Green Book, "Methods for determination of possible damage to people and objects resulting from releases of hazardous materials "Green Book", " 1992.
- [17] FOA, "Vådautsläpp av brandfarliga och giftiga gaser och vätskor - Metoder för bedömning av risker," 1998.