

Beräkningsbilaga

Kund
Halmstad Kommun

Beräkningsbilaga till Riskutredning för Halmstad stationsområde

Uppdragsledare/Handläggare: Viktor Asking

Dokumenthistorik

| Version | Datum | Revidering | Handläggare |
|---------|------------|----------------|---------------|
| 1.0 | 2024-02-06 | Utkast | Viktor Asking |
| 2.0 | 2024-04-10 | Första utgåvan | Viktor Asking |
| 2.1 | 2024-05-08 | Andra utgåvan | Viktor Asking |
| 3.0 | 2024-07-19 | Tredje utgåvan | Viktor Asking |

Handläggare: Viktor Asking
Intern kvalitetsgranskning: Cecilia Magnusson

Beräkningsbilaga

Innehållsförteckning

| | | |
|-------|---|----|
| 1 | Inledning..... | 3 |
| 1.1 | Kvantitativa riskmått..... | 3 |
| 2 | Personbelastning | 4 |
| 2.1 | Sammanfattning av personbelastning | 7 |
| 3 | Väderdata | 10 |
| 3.1 | Vindhastighet | 10 |
| 3.1.1 | Stabilitetsklass..... | 12 |
| 3.2 | Vindriktning | 13 |
| 4 | Olycka med farligt gods..... | 14 |
| 4.1 | Trafikmängd..... | 14 |
| 4.2 | Fördelning av farligt gods..... | 14 |
| 4.3 | Frekvensberäkningar för olycka med farligt gods | 16 |
| 4.3.1 | Olycksscenarion | 19 |
| 4.3.2 | Summering av frekvensberäkningar | 28 |
| 4.4 | Konsekvensberäkningar för olycka med farligt gods | 30 |
| 4.4.1 | Generella sårbarhetsparametrar | 30 |
| 4.4.2 | Klass 1 – Explosiva ämnen och föremål | 30 |
| 4.4.3 | Klass 2.1 – Brandfarliga gaser..... | 33 |
| 4.4.4 | Klass 2.3 – Giftiga gaser..... | 34 |
| 4.4.5 | Klass 3 – Brandfarliga vätskor | 35 |
| 4.4.6 | Klass 5 – Oxiderande ämnen och organiska peroxider..... | 36 |
| 5 | Urspårning av tåg..... | 37 |
| 5.1 | Beräkningsmetodik..... | 37 |
| 5.2 | Underlag..... | 38 |
| 5.3 | Resultat med avseende på avståndsfaktorerna b och d | 39 |
| 5.4 | Konsekvenser med avseende på personskador | 40 |
| | Referenser | 43 |

Beräkningsbilaga

1 Inledning

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

- Riskutredning för Halmstad stationsområde, 2024-05-08

Beräkningsbilagan omfattar följande områden:

- Personbelastning
- Väderdata
- Olycka med farligt gods
- Urspårning av tåg

1.1 Kvantitativa riskmått

En kvantitativ riskanalys brukar innebära att två olika riskmått beräknas och sedan jämförs med vedertagna kriterier. Riskmått benämns individrisk och samhällsrisk. Individrisk syftar till att säkerställa att enskilda individer inte utsätts för oacceptabla risker medan samhällsrisk syftar till att säkerställa att ett definierat område som helhet inte utsätts för oacceptabla risker.

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.

Samhällsrisk 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.

Samhällsrisk 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.

Beräkningsbilaga

2 Personbelastning

Personbelastningen är relevant för beräkningar av samhällsrisk. Personbelastningen tas fram för ett område med arean 1 km² där planområdet är placerat centralt inom det kvadratiska området med en radie om 500 meter. Kriterierna för samhällsrisk tillämpas generellt på ett sådant område. För personbelastningen beaktas markanvändning där stadigvarande vistelse förväntas. Det innebär att personbelastning inom markanvändning i form av bland annat gator och vägar inte beaktas.

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 för att kunna resonera kring ökningen i samhällsrisken som planförslaget medför. För båda alternativen tillämpas en personbelastning för 2050.

Det aktuella området utgörs av totalt fem delområden utifrån persontäthet. Dessa delområden illustreras i Figur 2-1 som representerar nollalternativet och utvecklingsalternativet. I Tabell 2-1 specificeras nuvarande markanvändning av planområdet och användning enligt ny detaljplan.



Figur 2-1. Indelning av område efter markanvändning för nollalternativet och utvecklingsalternativ. Markanvändningen inom område F, G, H, I och J kommer förändras enligt ny detaljplan.

Beräkningsbilaga

Tabell 2-1. Specificering av nuvarande användning av aktuellt område och användning enligt ny detaljplan.

| Område (färg) | Markanvändning nollalternativ | Markanvändning utvecklingsalternativ |
|---------------|----------------------------------|---------------------------------------|
| A (Ljusgrön) | Bostäder | Bostäder |
| B (Orange) | Bostäder och hotell | Bostäder och hotell |
| C (Blå) | Industri och kontor | Industri och kontor |
| D (Ljuslila) | Bostäder | Bostäder |
| E (Röd) | Kontor och bibliotek | Kontor och bibliotek |
| F (Grön) | <i>Park och resecentrum</i> | <i>Kontor, handel och resecentrum</i> |
| G (Lila) | <i>Parkering</i> | <i>Bostäder</i> |
| H (gul) | <i>Kontor</i> | <i>Kontor och handel</i> |
| I (Mörkblå) | <i>Resecentrum och parkering</i> | <i>Hotell och konferens</i> |
| J (Rosa) | <i>Bangård</i> | <i>Bostäder</i> |

Utifrån statistik från Statistiska centralbyrån (SCB) kan befolkningstäthet utläsas för de områden som består av bostäder. För övriga områden görs bedömningar av persontätheten utifrån aktuella verksamheter. För 2050 antas generellt en ökning på 10% av persontätheten för att ta hänsyn till eventuella förändringar av området. Antagandet bedöms som konservativt eftersom det område som studeras i anslutning till planområdet till stor del består av befintlig bebyggelse. Därmed förväntas ökningen av befolkningstätheten inom det aktuella området vara begränsad.

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, dvs. hur många dagar av året ett visst område används.

Område A

Markanvändningen av Område A är bostäder, såväl för nollalternativ som utvecklingsalternativ.

Utifrån statistik från SCB har området idag en persontäthet på cirka 1800. Med en ökning på 10 % till 2050 innebär detta en persontäthet på 2000. Personerna antas befinna sig inom området under såväl dagtid som nattetid.

Andelen personer inomhus under dagtid och nattetid ansätts till 93% respektive 99%, vilket föreslås för bostadsområden av programvaran Riskcurves [1] som används för de kvantitativa beräkningarna.

Nyttjandegraden för område A ansätts till 365 dagar per år.

Område B

Markanvändningen av Område B är bostäder och hotell, såväl för nollalternativ som utvecklingsalternativ.

Utifrån statistik från SCB har området idag en persontäthet på cirka 5500. Med en ökning på 10 % till 2050 innebär detta en persontäthet på 6000. Personerna antas befinna sig inom området under såväl dagtid som nattetid.

Beräkningsbilaga

Hotellet antas ha 200 besökare per dygn. Den totala persontätheten på området blir då 1520.

Andelen personer inomhus under dagtid och nattetid ansätts till 93% respektive 99%, vilket föreslås för bostadsområden av programvaran Riskcurves [1] som används för de kvantitativa beräkningarna.

Nyttjandegraden för område B ansätts till 365 dagar per år.

Område C

Markanvändningen av Område C är industri- och kontorsverksamhet, såväl för nollalternativ som utvecklingsalternativ.

För industriområdet ansätts en persontäthet på 2 000 personer per km². För den aktuella ytan innebär detta ett personantal på 2100 personer. Med en ökning på 10 % till 2050 innebär detta ett personantal på 2500 personer. Under nattetid antas det att ett begränsat antal personer befinner sig på området.

Andelen personer inomhus under dagtid och nattetid ansätts till 93% respektive 99%, vilket föreslås för bostadsområden av programvaran Riskcurves [1] som används för de kvantitativa beräkningarna. De angivna siffrorna bedöms vara rimliga även för industri.

Nyttjandegraden för industriverksamhet inom området antas vara sex dagar i veckan och 52 veckor om året, dvs. 312 dagar om året.

Område D

Markanvändningen av Område D är bostäder, såväl för nollalternativ som utvecklingsalternativ.

Utifrån statistik från SCB har området idag en persontäthet på cirka 750. Med en ökning på 10 % till 2050 innebär detta en persontäthet på 800. Personerna antas finnas inom området under såväl dagtid som nattetid.

Andelen personer inomhus under dagtid och nattetid ansätts till 93% respektive 99%, vilket föreslås för bostadsområden av programvaran Riskcurves [1] som används för de kvantitativa beräkningarna.

Nyttjandegraden för område A ansätts till 365 dagar per år.

Område E

Markanvändningen av Område C är kontorsverksamhet och bibliotek, såväl för nollalternativ som utvecklingsalternativ.

För industriområdet ansätts en persontäthet på 2 000 personer per km². För den aktuella ytan innebär detta ett personantal på 400 personer. Med en ökning på 10 % till 2050 innebär detta ett personantal på 450 personer. Under nattetid antas det att ett begränsat antal personer befinner sig på området.

Andelen personer inomhus under dagtid och nattetid ansätts till 93% respektive 99%, vilket föreslås för bostadsområden av programvaran Riskcurves [1] som används för de kvantitativa beräkningarna. De angivna siffrorna bedöms vara rimliga även för industri.

Nyttjandegraden för industriverksamhet inom området antas vara sex dagar i veckan och 52 veckor om året, dvs. 312 dagar om året.

Beräkningsbilaga

Område F

Markanvändningen av Område F är kontor, handel och resecentrum för utvecklingsalternativ.

För den aktuella ytan innebär detta ett personantal på 400 personer. Under nattetid antas det att ett begränsat antal personer befinner sig på området.

Andelen personer inomhus under dagtid och nattetid ansätts till 93% respektive 99%, vilket föreslås för bostadsområden av programvaran Riskcurves [1] som används för de kvantitativa beräkningarna. De angivna siffrorna bedöms vara rimliga även för kontor, bostäder, handel och resecentrum.

Nyttjandegraden för område E ansätts till 365 dagar per år.

För nollalternativet antas 100 personer befinna sig inom området dagtid och 10 personer nattetid.

Område G

Markanvändningen av Område G är bostäder, för utvecklingsalternativ.

Utifrån data från antal bostäder förväntas här vara 200 personer såväl dag som natt.

Andelen personer inomhus under dagtid och nattetid ansätts till 93% respektive 99%, vilket föreslås för bostadsområden av programvaran Riskcurves [1] som används för de kvantitativa beräkningarna.

Nyttjandegraden för område A ansätts till 365 dagar per år.

För nollalternativet är detta parkering och ingen förväntas befinna sig här stadigvarande.

Område H

Markanvändningen av Område H är kontor och handel för utvecklingsalternativ.

För den aktuella ytan innebär detta ett personantal på 300 personer. Under nattetid antas det att ett begränsat antal personer befinner sig på området.

Andelen personer inomhus under dagtid och nattetid ansätts till 93% respektive 99%, vilket föreslås för bostadsområden av programvaran Riskcurves [1] som används för de kvantitativa beräkningarna. De angivna siffrorna bedöms vara rimliga även för kontor, bostäder, handel och resecentrum.

Nyttjandegraden för område E ansätts till 312 dagar per år.

För nollalternativet antas 100 personer befinna sig inom området dagtid och 10 personer nattetid.

Område I

Markanvändningen av Område I är konferens och hotell för utvecklingsalternativ.

För den aktuella ytan innebär detta ett personantal på 300 personer. Under nattetid antas 100 personer befinner sig på området.

Andelen personer inomhus under dagtid och nattetid ansätts till 93% respektive 99%, vilket föreslås för bostadsområden av programvaran Riskcurves [1] som används för de

Beräkningsbilaga

kvantitativa beräkningarna. De angivna siffrorna bedöms vara rimliga även för kontor, bostäder, handel och resecentrum.

Nyttjandegraden för område I ansätts till 365 dagar per år.

För nollalternativet antas 100 personer befinna sig inom området dagtid och 10 personer nattetid.

Område J

Markanvändningen av Område G är bostäder, för utvecklingsalternativ.

Utifrån data från antal bostäder förväntas här vara 200 personer såväl dag som natt.

Andelen personer inomhus under dagtid och nattetid ansätts till 93% respektive 99%, vilket föreslås för bostadsområden av programvaran Riskcurves [1] som används för de kvantitativa beräkningarna.

Nyttjandegraden för område A ansätts till 365 dagar per år.

För nollalternativet är detta bangård och ingen förväntas befinna sig här stadigvarande.

2.1 Sammanfattning av personbelastning

Personbelastningen för nollalternativet redovisas i Tabell 2-32 och utvecklingsalternativet redovisas i Tabell 2-3. Områden med ändringar i jämförelse med nollalternativet är markerade med fetstil.

Tabell 2-2. Sammanfattning av personbelastning för nollalternativet.

| Område | Antal personer | | Andel personer inomhus | | Nyttjandegrad uttryckt i dagar per år |
|--------|----------------|------|------------------------|------|---------------------------------------|
| | Dag | Natt | Dag | Natt | |
| A | 2000 | 2000 | 0,93 | 0,99 | 365 |
| B | 6000 | 6000 | 0,93 | 0,99 | 365 |
| C | 2500 | 123 | 0,93 | 0,99 | 312 |
| D | 800 | 800 | 0,93 | 0,99 | 365 |
| E | 430 | 22 | 0,93 | 0,99 | 312 |
| F | 100 | 10 | 0,93 | 0,99 | 365 |
| G | - | - | - | - | - |
| H | 100 | 10 | 0,93 | 0,99 | 312 |
| I | 50 | 5 | 0,93 | 0,99 | 312 |
| J | - | - | - | - | - |

Tabell 2-3. Sammanfattning av personbelastning för utvecklingsalternativet.

| Område | Antal personer | | Andel personer inomhus | | Nyttjandegrad uttryckt i dagar per år |
|--------|----------------|------|------------------------|------|---------------------------------------|
| | Dag | Natt | Dag | Natt | |
| A | 2000 | 2000 | 0,93 | 0,99 | 365 |
| B | 6000 | 6000 | 0,93 | 0,99 | 365 |
| C | 2500 | 123 | 0,93 | 0,99 | 312 |
| D | 800 | 800 | 0,93 | 0,99 | 365 |

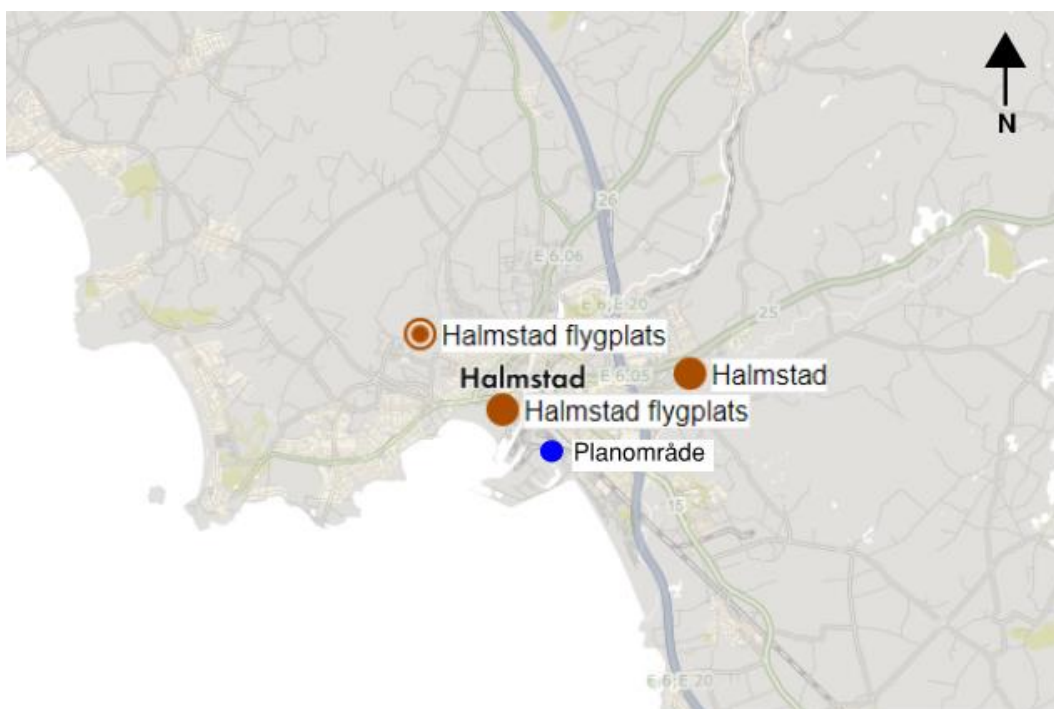
Beräkningsbilaga

| | | | | | |
|---|-----|-----|------|------|-----|
| E | 430 | 22 | 0,93 | 0,99 | 312 |
| F | 400 | 40 | 0,93 | 0,99 | 365 |
| G | 200 | 200 | 0,93 | 0,99 | 365 |
| H | 300 | 30 | 0,93 | 0,99 | 312 |
| I | 300 | 100 | 0,93 | 0,99 | 365 |
| J | 100 | 100 | 0,93 | 0,99 | 365 |

Beräkningsbilaga

3 Väderdata

Den närmaste mätstationen tillhörande SMHI i förhållande till planområdet benämns Halmstad flygplats. Avståndet mellan mätstationen och planområdet är cirka 4,5 km. Figur 3-1 visar placeringen av mätstationen i förhållande till planområdet. Data från mätstationen avseende vindhastighet och vindriktning mellan 1945 och 2022 har hämtats från SMHIs öppna databas [2].

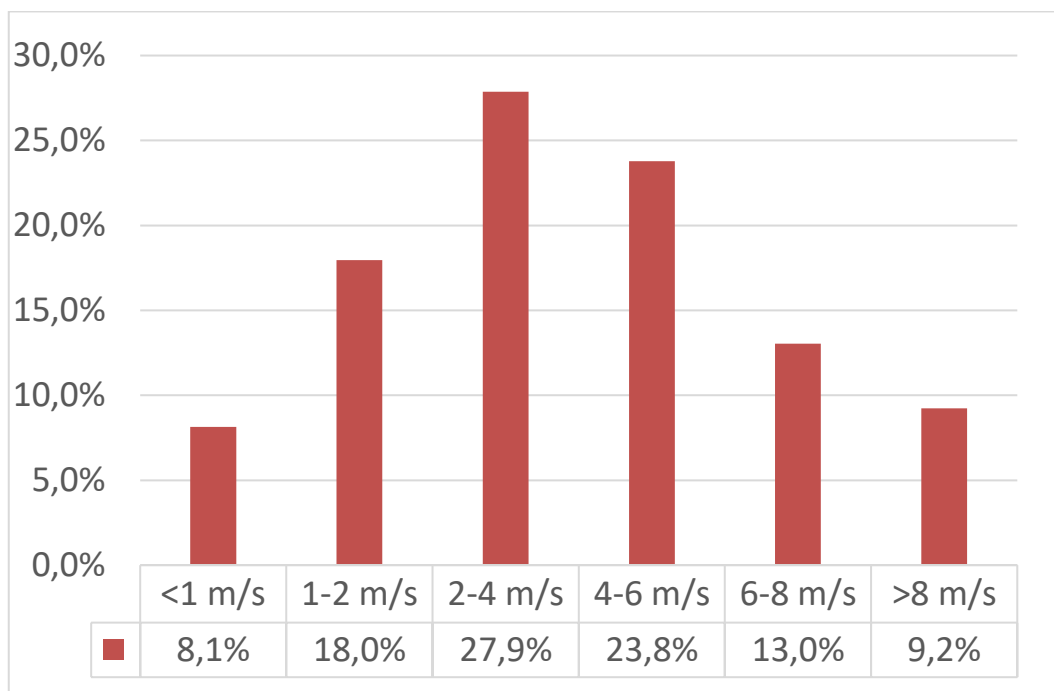


Figur 3-1. Placering av planområdet och mätstationen Halmstad flygplats.

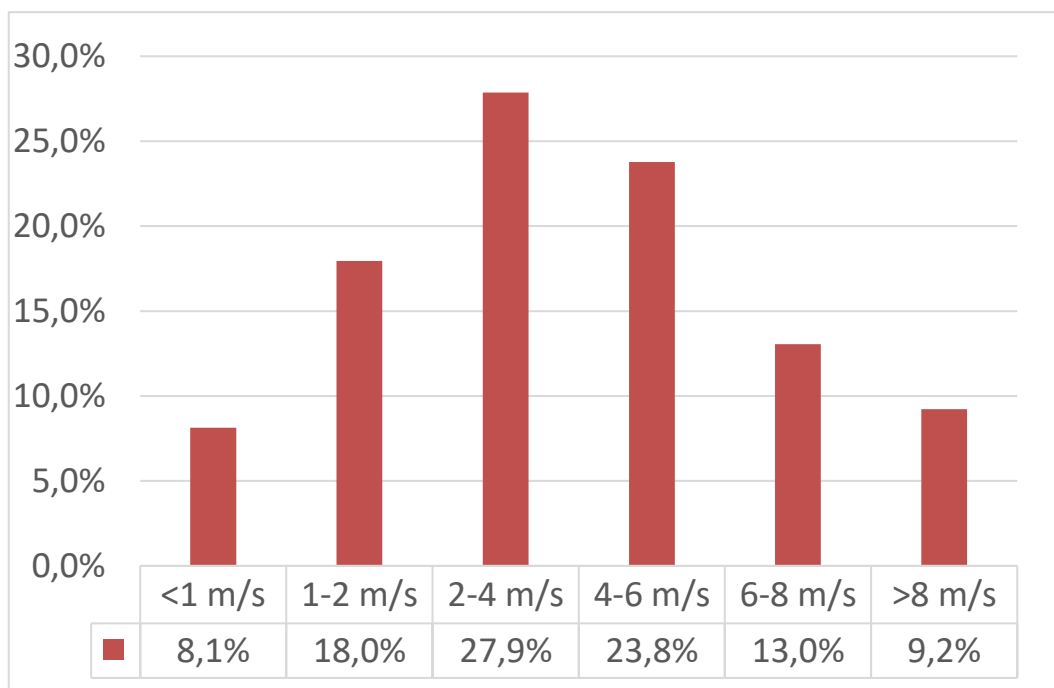
3.1 Vindhastighet

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

Beräkningsbilaga



Figur 3-2 visas fördelningen av vindhastighet vid mätstationen Halmstad flygplats från ovan nämnda data. Medelvärde under den aktuella perioden var 4,5 m/s och vindstilla förhållanden uppmättes under cirka 7,4 % av tiden.



Figur 3-2. Fördelning av vindhastighet vid mätstationen Halmstad flygplats, 1945 – 2022.

Beräkningsbilaga

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.

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

| 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 väderscenerierna bedöms som representativa och rimligt konservativa. Fördelningen mellan de olika väderscenerierna för såväl dagtid som nattetid har uppskattats baserat på data avseende vindhastighet från mätstationen Halmstad flygplats och presenteras i Tabell 3-2.

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

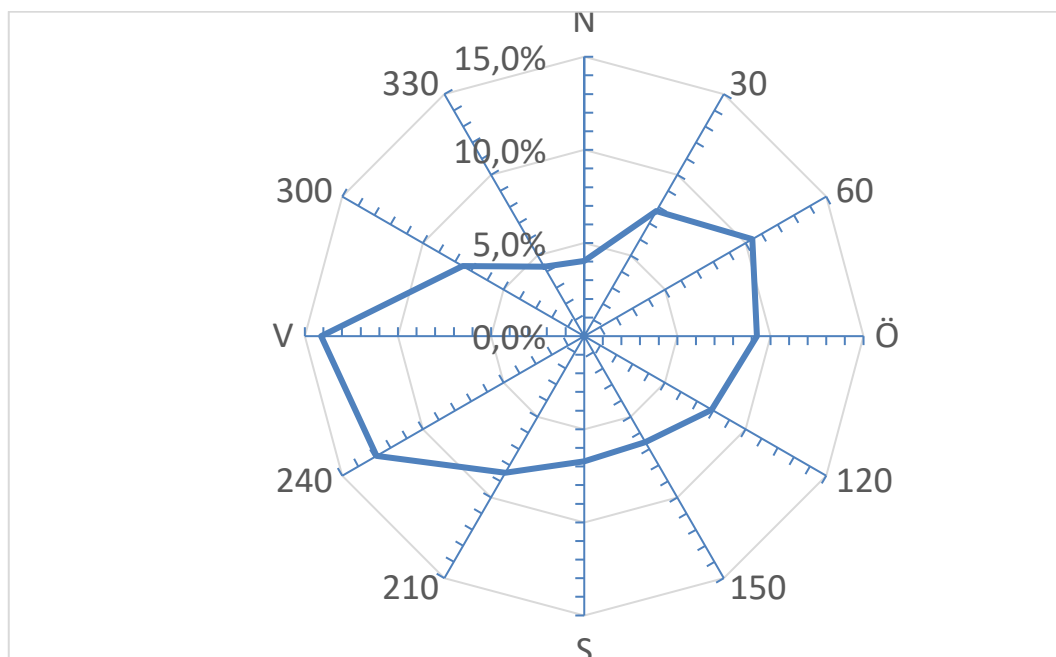
| Väderförhållande | Dag [%] | Natt [%] |
|------------------|---------|----------|
| 2F | 5 | 10 |
| 2D | 35 | 30 |

Beräkningsbilaga

| | | |
|-------|-----|-----|
| 5D | 60 | 60 |
| 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 Halmstad flygplats från ovan nämnda data. Figur 3-3 visar att den dominerande vindriktningen är väst.



Figur 3-3. Fördelning av vindfördelning vid mätstation Halmstad flygplats, 1945 – 2022.

Beräkningsbilaga

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 Trafikmängd

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

Uppgifter om antal godståg för 2040 samt genomsnittlig längd för godståg på den aktuella sträckan är baserade på prognos från Trafikverket [5]. Antalet godståg år 2050 beräknas enligt:

$$X_{godståg_{2050}} = X_{godståg_{2040}} \cdot (1 + tillväxttal)^{antal\ år}$$

Där

- $X_{godståg_{2050}}$ = antal godståg per år 2050
- $X_{godståg_{2040}}$ = antal godståg per år 2040
- *antal år* = antal år mellan studerat år och Trafikverkets prognosår (2040)
- *tillväxttal* = tillväxttal enligt Trafikverket [6]

Mellan 2013 och 2022 utgjorde farligt gods i snitt 5,0% av total transporterad godsmängd på järnväg och 7,1% av totalt godstransportarbete på järnväg [7]. Därmed utgår beräkningarna från att andelen vagnar med farligt gods är 6% för godstransporter på järnväg.

Trafikmängden, baserade på ovan antaganden och beräkningar, sammanfattas i Tabell 4-1.

Tabell 4-1. Trafikmängder för aktuell järnväg.

| Parameter | Värde |
|-----------------------------------|--------|
| Tillväxttal | 0,0167 |
| Antal godståg 2040 | 9490 |
| Antal godståg 2050 | 11199 |
| Andel vagnar med farligt gods [%] | 6 |

4.2 Fördelning av farligt gods

Det här avsnittet redogör för transporter av olika ämnesklasser av farligt gods på 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

Beräkningsbilaga

- 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 av farligt gods på järnväg används benämningen RID-klasser för de olika klasserna av farligt gods. Fördelningen av transporter av olika klasser av farligt gods på den aktuella järnvägssträckan uppskattas utifrån Trafikanalys nationella statistik över transporter på svenska järnvägar mellan 2013 och 2022. Tabell 4-2 visar den genomsnittliga fördelningen av olika klasser av farligt gods utifrån godsmängd och transportarbete. Tabell 4-2 visar dessutom medelvärdet av den genomsnittliga fördelningen baserat på godsmängd och transportarbete.

Tabell 4-2. Fördelning av farligt gods på järnväg mellan 2013 och 2022 baserat på information från Trafikanalys [7].

| Klass | Godsmängd [%] | Transportarbete [%] | Medelvärde [%] (används i beräkningar) |
|-------|---------------|---------------------|--|
| 1 | 0,00024 | 0,00050 | 0,00037 |
| 2 | 29,75 | 24,44 | 27,10* |
| 3 | 33,02 | 18,39 | 25,70 |
| 4.1 | 0,18 | 0,33 | 0,25 |
| 4.2 | 0,04 | 0,06 | 0,05 |
| 4.3 | 2,49 | 3,79 | 3,14 |
| 5.1 | 14,21 | 31,04 | 22,62 |
| 5.2 | 0,47 | 0,46 | 0,47 |
| 6.1 | 1,85 | 2,17 | 2,01 |
| 6.2 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 7 | 0,01 | 0,01 | 0,01 |
| 8 | 17,23 | 18,63 | 17,93 |

Beräkningsbilaga

| Klass | Godsmängd [%] | Transportarbete [%] | Medelvärde [%] (används i beräkningar) |
|--------|---------------|---------------------|--|
| 9 | 0,75 | 0,68 | 0,67 |
| Totalt | 100,00 | 100,00 | 100,00 |

*Delas upp i klass 2.1, 2.2 och 2.3, se Tabell 4-3.

För explosiva ämnen och föremål har en lokal kartläggning gjorts av RID-Klass 1 från 2022 [8] vilken tagits med i fördelningen.

Beräkningarna i den här riskutredningen utgår från medelvärden som presenteras i Tabell 4-2. Underklasserna till klass 4, klass 5 och klass 6 behandlas gemensamt. Tabell 4-2 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 att det i beräkningar separeras på underklasser inom klass 2. Dåvarande 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 4-3.

Tabell 4-3. Fördelning av klass 2 på underklasserna 2.1, 2.2 och 2.3.

| Klass | Andel av klass 2 [%] | Andel av totala antalet FG- transporter [%] (används i beräkningar) |
|--------|----------------------|---|
| 2.1 | 73,02 | 19,79 |
| 2.2 | 2,56 | 0,69 |
| 2.3 | 24,42 | 6,62 |
| Totalt | 100,00 | 27,10 |

4.3 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.

I det här avsnittet presenteras modellen som används för frekvensberäkningarna för olycka med farligt gods på järnväg. Frekvensberäkningar för olycka med farligt gods på järnväg gäller för år 2050. Den studerade delen av aktuell järnvägssträcka är 1 km.

En förutsättning för att kunna beräkna frekvensen för en olycka med farligt gods är att frekvensen för urspårning av tåg är känd. Frekvensen för urspårning av tåg på den aktuella sträckan beräknas genom Banverkets dokument *Modell för skattning av sannolikheten för järnvägsolyckor som drabbar omgivningen* [10].

För frekvensberäkningarna krävs ett indata för ett antal parametrar, vilka presenteras i Tabell 4-4. Studerad längd på transportleden är 1 km, enligt vedertagen branschpraxis. Aktuell spårklass är bedömd utifrån spårets utseende [10]. Antal växlar på sträckan är baserat på information från Trafikverket [11]. Längden på en normalvagn är ett framtaget genomsnitt utifrån en överblick av *SJ Godsvagnar* där det framgår att det är en stor variation på vagnlängden [12]. Antal vagnaxlar på vagnar med farligt gods är ansatt till

Beräkningsbilaga

fyra, då detta är helt dominerande vid sådana transporter [13]. Vad gäller vagnar utan farligt gods används ett flertal olika vagnmodeller med olika vagnaxelantal, främst två och fyra [12], varför ett genomsnittligt värde på tre vagnaxlar används.

Tabell 4-4. Indata till frekvensberäkningar för urspårning på järnväg.

| Parameter | Värde |
|-------------------------------------|-------|
| Studerad spårlängd [km] | 1 |
| Spårklass | A |
| Antal växlar på sträckan | 14 |
| Genomsnittlig längd för godståg [m] | 578 |
| Längd normalvagn [m] | 16 |
| Antal vagnaxlar (icke farligt gods) | 3 |
| Antal vagnaxlar (farligt gods) | 4 |

Urspårning av tåg på järnväg kan orsakas av en rad olika olyckstyper. Dessa olyckstyper sammanfattas i Tabell 4-5 tillsammans med felintensitet och beroendefaktor för varje enskild olyckstyp. Beroendefaktorn beskriver vilken parameter som påverkar frekvensen för urspårning för varje olyckstyp. Beroendefaktorerna presenteras i Tabell 4-6 och är beräknade utifrån information i Tabell 4-4.

Tabell 4-5. Felintensitet och beroendefaktor för olika olyckstyper.

| Olyckstyp | Felintensitet (ξ) | Beroendefaktor |
|----------------------|-------------------------|--|
| Rälsbrott | 5,00E-11 | Vagnaxelkilometer för godsvagnar |
| Solkurva | 1,00E-05 | Studerad spårlängd (km) |
| Vagnfel godståg | 3,10E-09 | Vagnaxelkilometer för godsvagnar |
| Lastförskjutning | 4,00E-10 | Vagnaxelkilometer för godsvagnar |
| Växel sliten, trasig | 5,00E-09 | Antal passager genom växel för godståg |
| Annan orsak | 5,70E-08 | Tågkilometer för godståg |
| Okänd orsak | 1,40E-07 | Tågkilometer för godståg |
| Spårlägesfel | 4,00E-10 | Vagnaxelkilometer för godsvagnar |

Tabell 4-6. Beroendefaktorer för olyckstyper.

| Beroendefaktor | Värde |
|--|---------|
| Vagnaxelkilometer för godsvagnar | 1238324 |
| Studerad spårlängd [km] | 1 |
| Antal passager genom växel för godståg | 156791 |
| Tågkilometer för godståg | 11199 |

För varje enskild olyckstyp beräknas frekvensen för urspårning på den aktuella sträckan enligt:

$$F_U = \xi \cdot bf$$

Där

- F_U = frekvens för urspårning, redovisas i Tabell 4-7
- ξ = felintensitet, redovisas i Tabell 4-5

Beräkningsbilaga

- bf = beroendefaktor, redovisas i Tabell 4-6

Beroendefaktorerna som tillämpas gäller för ett år, vilket medför att den beräknade frekvensen för urspårning är en årlig frekvens. Frekvensen för urspårning, uppdelad på olyckstyp, på den aktuella sträckan redovisas i Tabell 4-7.

Tabell 4-7. Frekvens för urspårning av godståg, uppdelad på olyckstyp.

| Olyckstyp | Frekvens (per år) |
|---|-------------------|
| Rälsbrott | 6,19E-05 |
| Solkurva | 1,00E-05 |
| Vagnfel godståg | 3,84E-03 |
| Lastförskjutning | 4,95E-04 |
| Växel sliten, trasig | 7,84E-04 |
| Annan orsak | 6,38E-04 |
| Okänd orsak | 1,57E-03 |
| Spårlägesfel | 4,95E-04 |
| Total frekvens för urspårning av godståg | 7,89E-03 |

Frekvenserna i Tabell 4-7 avser urspårning för samtliga godsvagnar. För att beräkna frekvensen för urspårning av vagnar med farligt gods tas hänsyn till det genomsnittliga antalet vagnar med farligt gods per godståg samt att det genomsnittliga antalet vagnar som spårar ur vid en urspårningsolycka är 3,5 vagnar enligt [13].

Tabell 4-8 redovisar sannolikhet, frekvens och återkomsttid för urspårning av godsvagnar med farligt gods på den aktuella sträckan baserat på förväntad trafikering för 2050.

Tabell 4-8. Frekvens och återkomsttid för urspårning av godsvagnar med farligt gods.

| Parameter | Värde |
|--|----------|
| Sannolikhet för urspårning med farligt gods, givet urspårning av godståg [%] | 17 |
| Frekvens för urspårning av godsvagnar med farligt gods (per år) | 1,35E-03 |
| Återkomsttid för urspårning med farligt gods [år] | 739 |

För att beräkna frekvensen för en urspårning av en godsvagn 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 urspårning enligt:

$$F_{U,Klass X} = F_U \cdot A_{Klass X}$$

Där

- $F_{U,Klass X}$ = frekvens för urspårning av tåg/vagn med farligt gods i Klass X
- $A_{Klass X}$ = andel transporter som utgörs av Klass X

Frekvensen för urspårning av vagnar innehållande olika klasser av farligt gods redovisas i Tabell 4-9. De ämnesklasser av farligt gods som redovisas i Tabell 4-9 är enbart ämnesklasserna som beaktas i beräkningarna enligt avsnitt 4.1.

Tabell 4-9. Frekvens för urspårning av vagnar innehållande olika klasser av farligt gods.

| Urspårning av vagn innehållande | Frekvens per år |
|---------------------------------------|-----------------|
| Klass 1 – Explosiva ämnen och föremål | 6,77E-07 |

Beräkningsbilaga

| | |
|--|----------|
| Klass 2.1 – Brandfarliga gaser | 2,68E-04 |
| Klass 2.3 – Giftiga gaser | 8,95E-05 |
| Klass 3 – Brandfarliga vätskor | 3,48E-04 |
| Klass 5 – Oxiderande ämnen och organiska peroxider | 3,12E-04 |

4.3.1 Olycksscenario

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 olycksscenario för de klasser av farligt gods som i en olycka kan leda till att personer omkommer. Följande klasser beaktas i enlighet med beskrivningen av olycksscenario 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

4.3.1.1 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 olycksscenario. Med högsta fordonsklass kan maximal mängd massexploderande varor transporteras i upp till 16 ton per transport men de flesta transporter innefattar endast små mängder av massexploderande 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 massexploderande varor.

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 järnväg, där hastigheten generellt är hög, antas sannolikheten för brand i fordon givet en olycka vara 1%.

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.

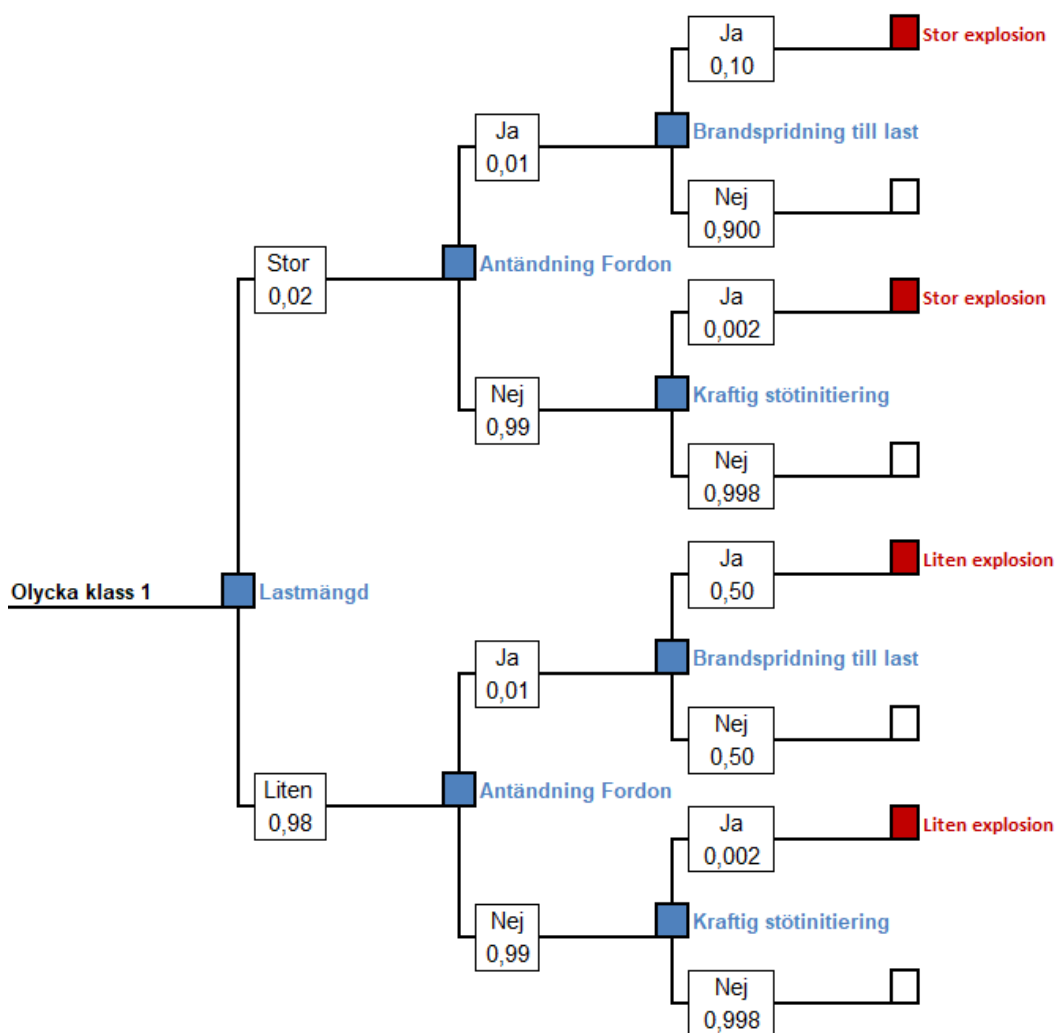
En explosion kan inträffa även om en brand inte uppstår i samband med olyckan. Det kräver att godset utsätts för en mycket kraftig stöt i samband med olyckan. Sannolikheten för en stötinitierad detonation i samband med en olycka är beroende av fordonets hastighet vid olyckan. För en stötinitierad detonation i det explosiva materialet krävs generellt mycket

Beräkningsbilaga

höga kollisionshastigheter. HMSO anger att sannolikheten för en stötinitierad detonation vid en kollision är mindre än 0,2% [14]. För olyckor på järnväg, där hastigheten generellt är hög, sätts sannolikheten för stötinitierad detonation därför till 0,2%.

Händelseträd

Ovanstående resonemang sammanfattas i Figur 4-1 som visar händelseträd för olyckor med brandfarliga vätskor. Händelseträd med de värden som presenteras i Figur 4-1 tillämpas för frekvensberäkningarna för järnväg.



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

4.3.1.2 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.

Beräkningsbilaga

Sannolikheten för att tanken skadas och ett läckage uppstår är beroende av fordonets hastighet vid olyckan. För olyckor på järnväg, där hastigheten generellt är hög, är sannolikheten för litet läckage och stort läckage 1% vardera enligt [10].

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 [15].

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 antändning ska ske krävs som regel ett större läckage [15] 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 [3].

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 inom planområdet 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.

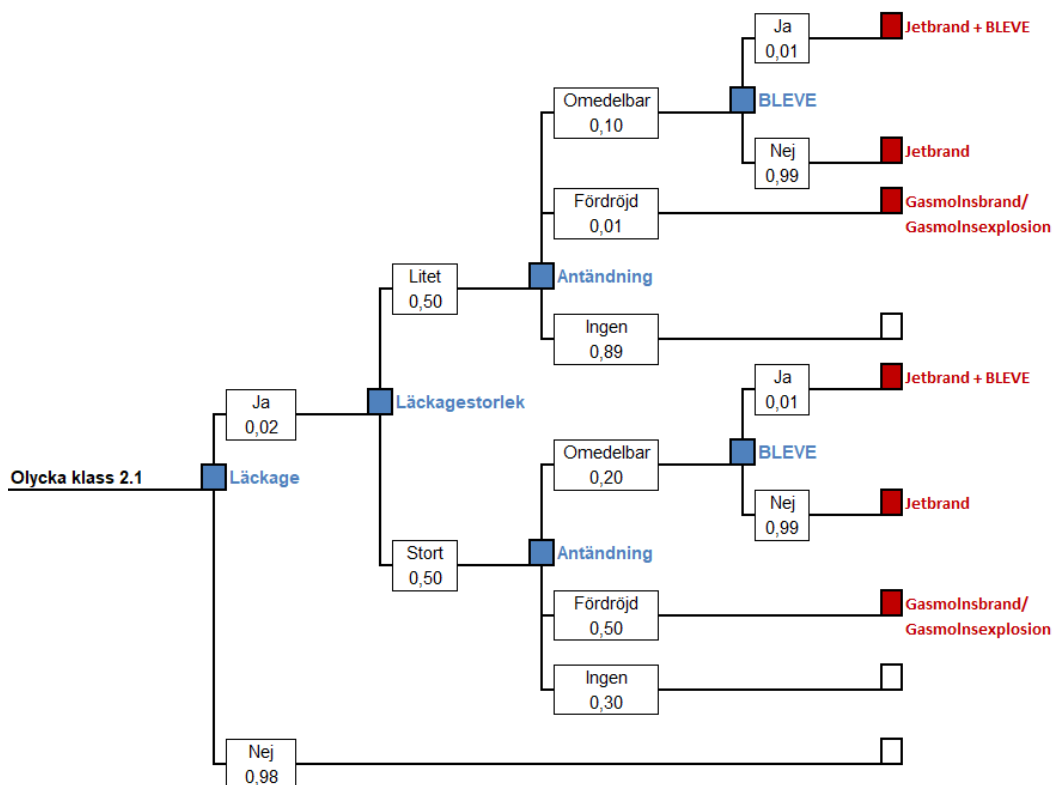
Eftersom gasmolnsbrand/gasmolnsexplosion är kortvariga händelser bedöms BLEVE inte kunna inträffa i samband med dessa händelser. Däremot är en jetbrand mer långvarig och bedöms därför kunna orsaka BLEVE. Sannolikheten för BLEVE givet en jetbrand antas vara 1%.

Händelseträäd

Ovanstående resonemang sammanfattas i Figur 4-2 som visar händelseträdet för olyckor

Beräkningsbilaga

med brandfarliga gaser. Händelseträdet med de värden som presenteras Figur 4-2 tillämpas för frekvensberäkningarna för järnväg.



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

4.3.1.3 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.

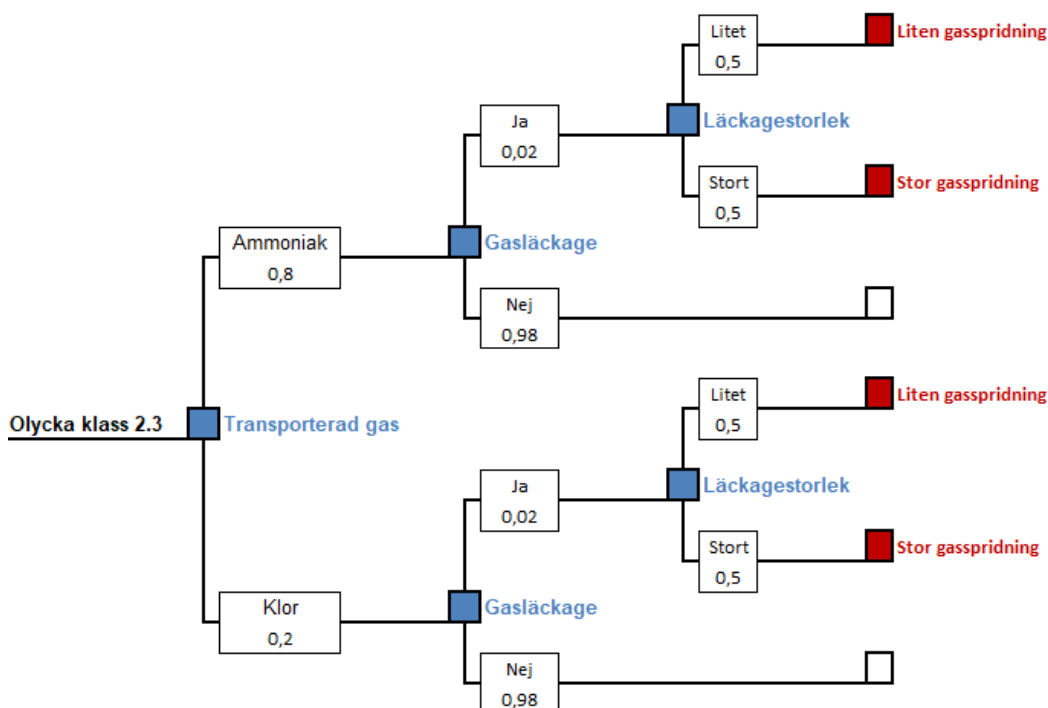
Sannolikheten för att tanken skadas och ett läckage uppstår är beroende av fordonets hastighet vid olyckan. För olyckor på järnväg, där hastigheten generellt är hög, är sannolikheten för litet läckage och stort läckage 1% vardera enligt [10].

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 Riskcurves [1].

Beräkningsbilaga

Händelseträäd

Ovanstående resonemang sammanfattas i Figur 4-3 som visar händelseträdet för olyckor med giftiga gaser. Händelseträdet med de värden som presenteras i Figur 4-3 tillämpas för frekvensberäkningarna för järnväg.



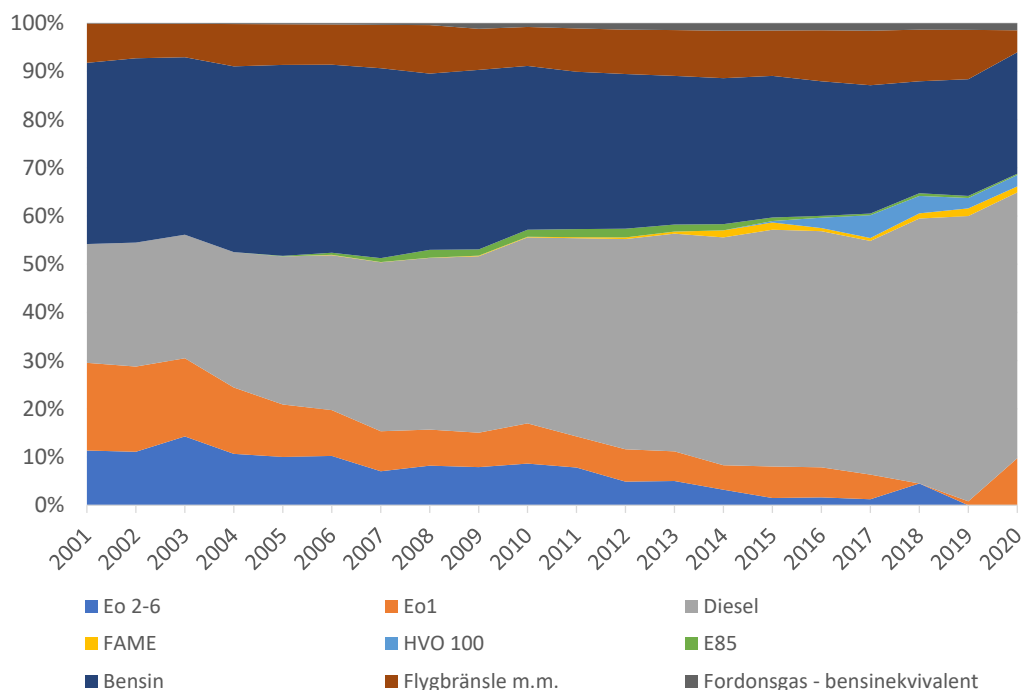
Figur 4-3. Händelseträäd för olycka med läckage av giftig gas.

4.3.1.4 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, parfymer, 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 [16] presenterar statistik avseende fördelning av utlevererade volymer av petroleumprodukter och förnybara drivmedel i Sverige. Statistiken presenteras i Figur 4-4.

Beräkningsbilaga



Figur 4-4. Fördelning inom drivmedel avseende utlevererade volymer av petroleumprodukter och förnybara drivmedel i Sverige (exkl. sjötransport utrikes) [16].

Som framgår av Figur 4-4 är diesel det vanligaste transporterade drivmedlet och har på senare tid stått för cirka 50% av samtliga transporterade drivmedel. Därefter följer bensin och flygbränsle som har stått för cirka 30% och cirka 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 bensin representeras 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 järnväg, där hastigheten generellt är hög, är sannolikheten för läckage 30% enligt [10].

Läckage med brandfarliga vätskor delas upp i små, medelstora och stora läckage i enlighet med *TNO Purple Book* [3]. Utsläppsvolymer presenteras i Tabell 4-10 tillsammans med pölstorlek och sannolikhet för varje utsläppsvolym. Informationen i Tabell 4-10 är gällande för utsläpp av såväl pentan som dodekan.

Beräkningsbilaga

Tabell 4-10. 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 *TNO Purple Book* med [3] och redovisas i Tabell 4-11.

Tabell 4-11. Sannolikhet för antändning av pölbrand [3].

| 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. Händelsetrådet med de värden som presenteras i Figur 4-5 tillämpas för frekvensberäkningarna för järnväg.

Beräkningsbilaga

bränsle, vid olyckan. Det oxiderande ämnet väteperoxid kan sönderfalla i koncentrationer över 20% och detonera vid koncentrationer över 90% [17].

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) överskrider, exempelvis av en extern brand [18].

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 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 järnväg, där hastigheten generellt är hög, är sannolikheten för läckage 30% enligt [10].

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%.

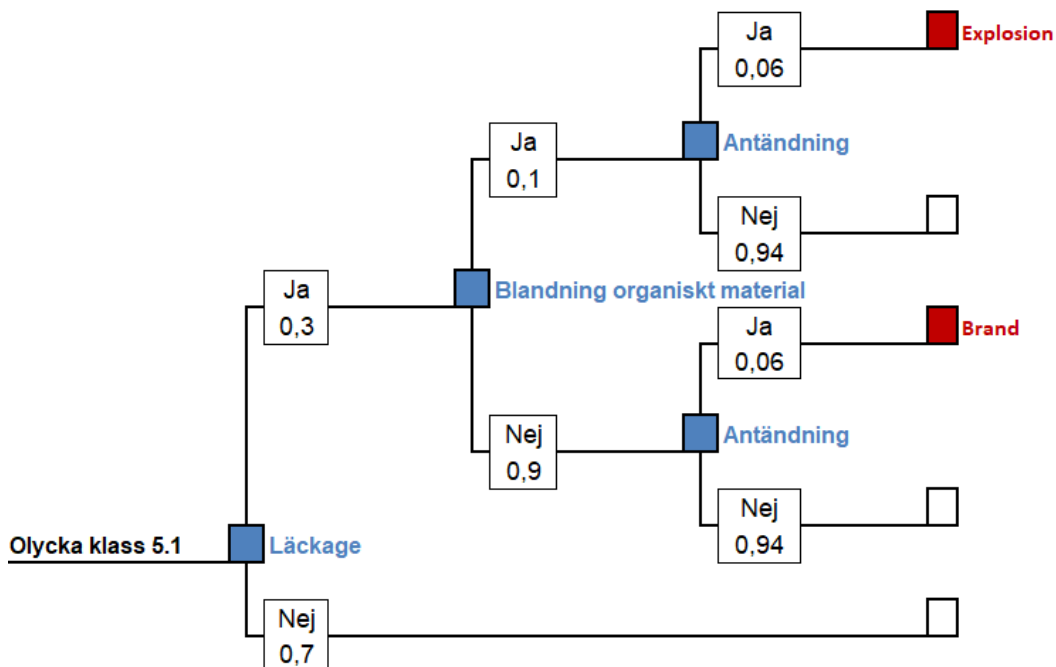
Explosionsscenarier med oxiderande ämnen antas ge liknande konsekvenser som för en liten explosion av explosiva ämnen och föremål. Konsekvenserna för explosionsscenarierna med oxiderande ämnen modelleras därför på samma sätt som konsekvenserna för en liten explosion.

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.

Händelseträd

Ovanstående resonemang sammanfattas i Figur 4-6 som visar händelseträdet för olyckor med oxiderande ämnen och organiska peroxider. Händelseträdet med de värden som presenteras i Figur 4-6 tillämpas för frekvensberäkningarna för järnväg.

Beräkningsbilaga



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

4.3.2 Summering av frekvensberäkningar

Nedan presenteras en summering av de frekvens som används som indata till beräkning individ- och samhällrisken.

Slutfrekvenser för olycka med farligt gods på järnväg redovisas i Tabell 4-12.

Tabell 4-12. Slutfrekvenser för olycka farligt gods på järnväg.

| Klass | Händelse | Frekvens per år |
|-----------|---|-----------------|
| Klass 1 | Liten explosion | 5,67E-07 |
| | Stor explosion | 4,03E-11 |
| Klass 2.1 | BLEVE | 8,03E-09 |
| | Jetbrand (litet läckage) | 2,68E-07 |
| | Jetbrand (stort läckage) | 5,36E-07 |
| | Gasmolnsbrand/gasmolnsexplosion (litet läckage) | 2,68E-08 |
| | Gasmolnsbrand/gasmolnsexplosion (stort läckage) | 1,34E-06 |
| Klass 2.3 | Utsläpp, ammoniak (litet läckage) | 7,16E-07 |
| | Utsläpp, ammoniak (stort läckage) | 7,16E-07 |
| | Utsläpp, klor (litet läckage) | 1,79E-07 |
| | Utsläpp, klor (stort läckage) | 1,79E-07 |
| Klass 3 | Pölbrand, dodekan (litet läckage) | 6,73E-08 |
| | Pölbrand, dodekan (medelstort läckage) | 1,62E-07 |
| | Pölbrand, dodekan (stort läckage) | 4,04E-08 |
| | Pölbrand, pentan (litet läckage) | 1,36E-06 |
| | Pölbrand, pentan (medelstort läckage) | 3,26E-06 |

Beräkningsbilaga

| Klass | Händelse | Frekvens per år |
|---------|----------------------------------|-----------------|
| | Pölbrand, pentan (stort läckage) | 8,14E-07 |
| Klass 5 | Explosion ¹ | 5,62E-07 |
| | Brand ² | 5,06E-06 |

¹ 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.

² 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.

Beräkningsbilaga

4.4 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 [3], Yellow Book [19] och Green book [20]. Där dessa frångås nämns detta uttryckligen.

Beräkningarnas konsekvensmodelleringar är förankrade i empiri och forskningsdata med en gedigen referenslista. Verktøyets 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.

4.4.1 Generella sårbarhetsparametrar

Sårbarhetsparametrar för personer som exponeras för explosion, brand och giftiga gaser presenteras i Tabell 4-13. Parametrarna är hämtade från *TNO Green Book* [20] om inget annat anges.

Tabell 4-13. Sårbarhetsparametrar för personer som exponeras för explosion, brand och giftiga gaser.

| Parameter | Värde | Kommentar |
|---|--|---|
| 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 | 1 800 s | Det antas att personer som inte har omkommit inom 1800 s har funnit skydd |
| Skyddsfaktor för toxisk exponering (inomhus) | 0,1 [3] | Skyddsfaktor för exponering av toxisk koncentration inomhus |
| Mottagarens höjd över marken | 1,5 m | Höjd för beräkning av värmestrålning och toxisk koncentration av gas |

4.4.2 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

Beräkningsbilaga

i tryckvågen och den effekt ett sådant övertryck har på personerna som utsätts för tryckvågen.

Skador på människor 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 4-14 nedan redovisas uppgifter för skador på människor vid olika tryckskillnader när de exponeras för en explosion utomhus [21].

Tabell 4-14. Gränsvärden för skador på människor vid explosionsövertryck utomhus [21].

| 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 4-15. Moderna fönster antas gå sönder vid 10 kPa medan byggnadsstommar antas kollapsa vid 20 kPa.

Tabell 4-15. Gränsvärden för skador på olika byggnadsverk.

| Byggnadsmaterial | Trycktålighet [kPa] |
|------------------------------|---------------------|
| Träbyggnader och plåthallar | 10 kPa |
| Tegelhus 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 [19]. 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 till 0.2 i *TNO Yellow Book* [19]

Med ovanstående formel kan massan TNT omvandlas till ekvivalent massa metangas enligt Tabell 4-16. Mängden massexplosiva varor i en transport är antingen 20 kg eller 16 000 kg enligt avsnitt 4.3.1.1.

Beräkningsbilaga

Tabell 4-16. TNT-ekvivalenter av metan.

| Olycksscenario | Massa TNT [kg] | Massa metangas [kg] |
|-----------------|----------------|---------------------|
| Liten explosion | 20 | 7,5 |
| Stor explosion | 16 000 | 5 970 |

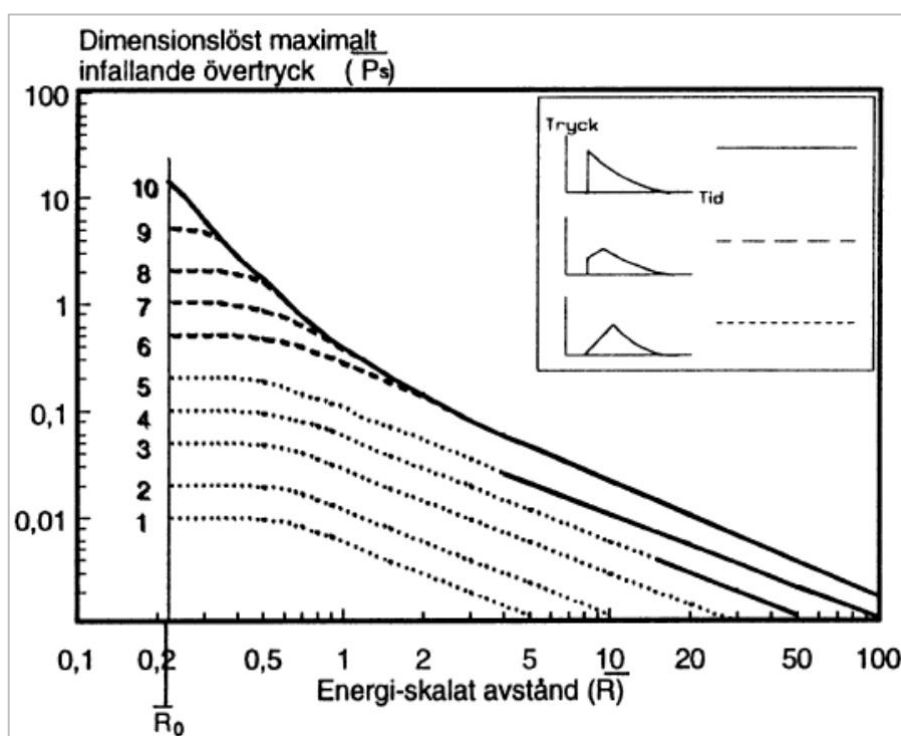
För att kunna bestämma trycket vid olika avstånd från explosionens centrum bestäms ett dimensionslöst avstånd enligt [21]:

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

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 [21].



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]

Beräkningsbilaga

- 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 4-17.

Tabell 4-17. Konsekvensavstånd för explosion.

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

4.4.3 Klass 2.1 – Brandfarliga gaser

Mängden brandfarlig gas i ett släp antas vara 40 m³. För transporter på järnväg bedöms det vara ett rimligt 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.

Enligt avsnitt 4.3.1.2 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 4-18, Tabell 4-19 och Tabell 4-20. Tabell 4-18 och Tabell 4-19 presenterar konsekvenser för jetbrand och antänt gasmoln i samband med litet läckage respektive stort läckage av brandfarlig gas. Konsekvenserna för jetbrand och antänt

Beräkningsbilaga

gasmoln är beroende av väderförhållanden och presenteras därför för olika väderförhållanden.

Tabell 4-20 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.

Tabell 4-18. 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 |

Tabell 4-19. 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 4-20. Konsekvensavstånd för olycksscenario BLEVE.

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

4.4.4 Klass 2.3 – Giftiga gaser

Enligt avsnitt 4.3.1.3 antas transporter av giftiga gaser innehålla antingen ammoniak eller klor. Mängden giftig gas i ett släp antas vara 40 m³. För transporter på järnväg bedöms det vara ett rimligt 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. Plattspezifika 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 [3].

Enligt avsnitt 4.3.1.3 gäller följande med avseende på läckage:

Beräkningsbilaga

- 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 konsekvensområdets utbredning 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 där känsliga individer kan omkomma. AEG-3 för ammoniak avseende 30 minuters exponering är 1600 ppm [22]. AEG-3 för klor avseende 30 minuters exponering är 28 ppm [22]. Tabell 4-21 presenterar avstånd till AEG-3 för 30 minuters exponering vid läckage av ammoniak och klor.

Tabell 4-21. Avstånd till AEG-3 för 30 minuters exponering vid läckage av ammoniak och klor.

| Olycksscenario | Avstånd [m] till AEG-3 för 30 minuters exponering vid angivet väderförhållande | | |
|--------------------------|--|-------|--------|
| | D5 | D2 | F2 |
| Ammoniak (litet läckage) | 119 | 157 | 318 |
| Ammoniak (stort läckage) | 709 | 928 | 1 693 |
| Klor (litet läckage) | 668 | 1 065 | 3 481 |
| Klor (stort läckage) | 4 086 | 6 101 | 12 873 |

4.4.5 Klass 3 – Brandfarliga vätskor

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 kanske skulle efterspegla verkligheten på ett rimligare sätt. I Tabell 4-22 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 4-22. Avstånd till värmestrålningsnivåer för vädersscenario D5.

| Olycksscenario | Avstånd [m] till angiven värmestrålningsnivå vid vädersscenario D5 | |
|----------------|--|----------------------|
| | 20 kW/m ² | 35 kW/m ² |

Beräkningsbilaga

| | | |
|------------------------------|----|----|
| 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 |

4.4.6 Klass 5 – Oxiderande ämnen och organiska peroxider

I avsnitt 4.3.1.5 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 4.4.2 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 4.4.5 för mer information om konsekvenser för en små pölbränder.

Beräkningsbilaga

5 Urspårning av tåg

Följande olycksscenarier som involverar urspårning av tåg utreds i riskutredningen:

- Urspårning av tåg: mekanisk påverkan

Beräkning har genomförts med två olika metoder för, UIC samt Fredén.

5.1 UIC-metoden

5.1.1 Beräkningsmetodik

Vid beräkning av mekanisk påverkan vid tågurspårning används en metodik som är framtagen av International union of railways (UIC) [23]. Metodiken från UIC är mer detaljerad med avseende på konsekvensavstånd än metodiken som används i den kvantitativa analysen av olycka med farligt gods, se avsnitt 4. Urspårning definieras som att minst ett hjul lämnar rälsen. Mekanisk påverkan definieras som påverkan på yta och föremål längs med sträckan där det urspårade tåget transporteras.

Frekvensen för mekanisk påverkan på ett visst avstånd från spåret beräknas enligt:

$$F_K = F_U \cdot P_K$$

Där

- F_K = frekvensen för mekanisk påverkan på ett visst avstånd från spåret
- F_U = frekvensen för urspårning i anslutning till studerat område
- P_K = sannolikheten att ett urspårat tåg orsakar mekanisk påverkan på ett visst avstånd från spåret

Frekvensen för urspårning i anslutning till studerat område beräknas enligt:

$$F_U = e_r \cdot d \cdot Z_d \cdot 365 \cdot 10^{-2}$$

Där

- e_r = urspårningsfrekvens per tågakilometer
- d = den längsta urspårningssträckan längs med spåret (m). Beräknas genom $v^2/80$, där v är hastigheten (km/h) vid tidpunkten för urspårningen
- Z_d = antal tåg per dygn längs den studerade sträckan

Sannolikheten att ett urspårat tåg orsakar mekanisk påverkan på ett visst avstånd från spåret beräknas enligt:

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

Där

- a = vinkelrätt avstånd (m) mellan spårmittpunkt och studerat område
- b = det maximala vinkelräta avståndet (m) från spåret som tågsvagn kan hamna efter urspårning. Beräknas genom $v^{0,55}$ där v är hastigheten (km/h) vid tidpunkten för urspårningen
- c = det parallella avstånd (m) längs med spåret inom vilket det finns risk för mekanisk påverkan av urspårat tåg vid avståndet a
- d = den längsta urspårningssträckan längs med spåret (m). Beräknas genom $v^2/80$, där v är hastigheten (km/h) vid tidpunkten för urspårningen

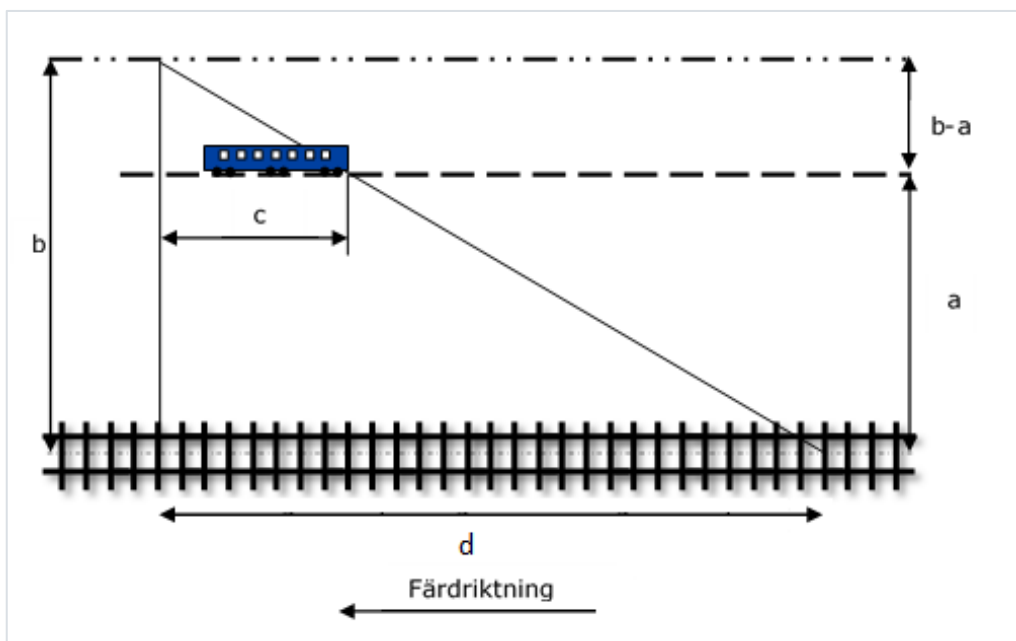
Beräkningsbilaga

Värde på c beräknas enligt:

$$\text{om } b > a \rightarrow c = \frac{d}{b} \cdot (b - a)$$

$$\text{om } b < a \rightarrow c = 0 \rightarrow P_k = 0$$

En beskrivning av de olika avståndsfaktorerna som används i beräkningarna illustreras i Figur 5-1. Triangeln intill spåret kan ses som det område som kan påverkas av en urspårning, givet att urspårningen sker i triangelns nedre högra hörn.



Figur 5-1. Illustration av de olika avståndsfaktorerna som används i ekvationerna för urspårning.

5.1.2 Underlag

För att kunna tillämpa beräkningsmetodiken från UIC krävs underlag i form av en urspårningsfrekvens per tågkilometer samt underlag om antalet tågpassager och hastighet för tågpassagerna.

Urspårningsfrekvens per tågkilometer härleds genom statistik från Trafikanalys [7, 24] för antal tågkilometer och antal urspårade tåg vid tågrörelse på det svenska järnvägsnätet. Statistiken presenteras i Tabell 5-1. Statistik för antal tågkilometer i Tabell 5-1 gäller för såväl el- som dieseldrivna fordon. Med tågrörelse menas den trafikverksamhet som normalt uppfattas som tågtrafik, och som utförs för att framföra spårfordon från bland annat en driftplats till en annan, och med urspårning menas att minst ett hjul lämnar rälsen [24].

Beräkningsbilaga

Tabell 5-1. Statistik för tågkilometer och urspårningar vid järnvägsdrift på det svenska järnvägsnätet mellan 2013 och 2022 [7, 24].

| Trafiktyp | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 |
|--|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Antal tågkilometer uttryckt i miljontal | | | | | | | | | | |
| Persontrafik | 113 | 116 | 117 | 122 | 124 | 129 | 132 | 116 | 123 | 132 |
| Godstrafik | 38 | 37 | 35 | 36 | 36 | 36 | 36 | 35 | 36 | 37 |
| Total trafik | 151 | 153 | 153 | 158 | 160 | 165 | 168 | 151 | 159 | 169 |
| Antal urspårningar vid tågrörelse | | | | | | | | | | |
| Total trafik | 9 | 10 | 5 | 4 | 5 | 8 | 7 | 6 | 5 | 5 |

Godståg är generellt mer drabbade av urspårningar i jämförelse med persontåg. I den rapporterade statistiken går det inte att särskilja urspårningar som drabbat persontåg respektive godståg. För att kunna beräkna urspårningsfrekvenserna har därför tågkilometertalen för person- och godståg sammanslagits. Från data i Tabell 5-1 beräknas den genomsnittliga urspårningsfrekvensen per tågkilometer (e_r) till $4,03 \cdot 10^{-8}$.

Antal tåg per dygn förbi aktuellt område (Z_d) förväntas år 2040 i genomsnitt vara 140 persontåg och 26 godståg [5]. Det årliga tillväxttalet i perioden 2040 – 2065 är 0,80% [25] för persontåg och 1,67% för godståg [6]. Uppräkning med dessa tillväxttal till 2050 innebär i genomsnitt 152 persontåg per dygn och 31 godståg per dygn förbi aktuellt område.

Den längsta urspårningssträckan längs med spåret som ett tåg kan färdas (d) beror på tågets hastighet vid tillfället för urspårningen. Den största tillåtna hastigheten (STH) på den aktuella delen av järnvägen är 100 km/h [26]. STH för godståg är dock begränsad till 70 km/h på det svenska järnvägsnätet [5].

Ovanstående information om antal tåg och hastigheter den aktuella järnvägssträckan sammanfattas i Tabell 5-2.

Tabell 5-2. Antalet tåg uppdelat efter hastighet på aktuell järnvägssträcka 2050.

| Hastighet [km/h] | Antal tåg |
|------------------|-----------|
| 70 | 90 |
| 100 | 92 |

Kombinationen av antalet tåg och hastighet innebär sammantaget att frekvensen för urspårning (F_U) på den studerade järnvägssträckan är $2,5 \cdot 10^{-3}$ per år, vilket motsvarar en olycka ungefär en gång på 400 år, enligt beräkningsmetodikerna från UIC.

5.1.3 Resultat med avseende på avståndsfaktorerna b och d

Tabell 5-3 redovisar det maximala vinkelräta avståndet från spårmittpunkt som en tågvagn kan hamna efter urspårning (b) och den längsta urspårningssträckan längs med spåret (d) för aktuella hastigheter enligt beräkningsmetodikerna från UIC som presenteras i avsnitt 5.1.1. En illustration av avståndsfaktorerna b och d finns i Figur 5-1 i avsnitt 5.1.1.

Tabell 5-3. Det maximala vinkelräta avståndet från spårmittpunkt som tågvagn kan hamna efter urspårning (b) och den längsta urspårningssträckan längs med spåret (d) för aktuella hastigheter.

| Hastighet [km/h] | b [m] | d [m] |
|------------------|-------|-------|
| 70 | 10,3 | 61,25 |
| 100 | 12,6 | 125 |

Beräkningsbilaga

Det maximala vinkelräta avståndet från spårmittpunkt där mekanisk påverkan till följd av urspårning kan inträffa är 12,6 m enligt Tabell 5-3. Tåg med hastigheten 100 km/h kan medföra påverkan på detta avstånd.

5.1.4 Konsekvenser med avseende på personskador

Det förväntas att de människor som befinner sig utomhus inom det område som påverkas av en urspårning kommer att omkomma. Ovanstående antas även gälla för personer som befinner sig inomhus. Detta är ett konservativt antagande eftersom det krävs att den fysiska påverkan på en byggnad är så pass kraftig att byggnaden rasar eller på annat sätt påverkas för att personer som befinner sig i byggnaden ska omkomma.

5.2 Fredén-metoden

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

I det här avsnittet presenteras modellen som används för frekvensberäkningarna för olycka på järnväg. Frekvensberäkningar för olycka med på järnväg gäller för år 2050. Den studerade delen av aktuell järnvägssträcka är 1 km.

En förutsättning för att kunna beräkna frekvensen för en olycka med farligt gods är att frekvensen för urspårning av tåg är känd. Frekvensen för urspårning av tåg på den aktuella sträckan beräknas genom Banverkets dokument *Modell för skattning av sannolikheten för järnvägsolyckor som drabbar omgivningen* [10].

För frekvensberäkningarna krävs ett indata för ett antal parametrar, vilka presenteras i Tabell 4-4. Studerad längd på transportleden är 1 km, enligt vedertagen branschpraxis. Aktuell spårklass är bedömd utifrån spårets utseende [10]. Antal växlar på sträckan är baserat på information från Trafikverket [11]. Längden på en normalvagn är ett framtaget genomsnitt utifrån en överblick av *SJ Godsvagnar* där det framgår att det är en stor variation på vagnlängden [12]. Antal vagnaxlar på vagnar med farligt gods är ansatt till fyra, då detta är helt dominerande vid sådana transporter [13]. Vad gäller vagnar utan farligt gods används ett flertal olika vagnmodeller med olika vagnaxelantal, främst två och fyra [12], varför ett genomsnittligt värde på tre vagnaxlar används.

Tabell 5-4. Indata till frekvensberäkningar för urspårning på järnväg.

| Parameter | Värde |
|-------------------------------------|-------|
| Studerad spårlängd [km] | 1 |
| Spårklass | A |
| Antal växlar på sträckan | 14 |
| Genomsnittlig längd för godståg [m] | 578 |
| Längd normalvagn [m] | 16 |
| Antal vagnaxlar (icke farligt gods) | 3 |
| Antal vagnaxlar (farligt gods) | 4 |

Urspårning av tåg på järnväg kan orsakas av en rad olika olyckstyper. Dessa olyckstyper sammanfattas i Tabell 4-5 tillsammans med felintensitet och beroendefaktor för varje enskild olyckstyp. Beroendefaktorn beskriver vilken parameter som påverkar frekvensen för

Beräkningsbilaga

urspårning för varje olyckstyp. Beroendefaktorerna presenteras i Tabell 4-6 och är beräknade utifrån information i Tabell 4-4.

Tabell 5-5. Felintensitet och beroendefaktor för olika olyckstyper.

| Olyckstyp | Felintensitet (ξ) | Beroendefaktor |
|----------------------|-------------------------|--|
| Rälsbrott | 5,00E-11 | Vagnaxelkilometer för godsvagnar |
| Solkurva | 1,00E-05 | Studerad spårlängd (km) |
| Vagnfel godståg | 3,10E-09 | Vagnaxelkilometer för godsvagnar |
| Lastförskjutning | 4,00E-10 | Vagnaxelkilometer för godsvagnar |
| Växel sliten, trasig | 5,00E-09 | Antal passager genom växel för godståg |
| Annan orsak | 5,70E-08 | Tågkilometer för godståg |
| Okänd orsak | 1,40E-07 | Tågkilometer för godståg |
| Spårlägesfel | 4,00E-10 | Vagnaxelkilometer för godsvagnar |

Tabell 5-6. Beroendefaktorer för olyckstyper.

| Beroendefaktor | Värde |
|--|---------|
| Vagnaxelkilometer för godsvagnar | 1238324 |
| Studerad spårlängd [km] | 1 |
| Antal passager genom växel för godståg | 156791 |
| Tågkilometer för godståg | 11199 |

För varje enskild olyckstyp beräknas frekvensen för urspårning på den aktuella sträckan enligt:

$$F_U = \xi \cdot bf$$

Där

- F_U = frekvens för urspårning, redovisas i Tabell 4-7
- ξ = felintensitet, redovisas i Tabell 4-5
- bf = beroendefaktor, redovisas i Tabell 4-6

Beroendefaktorerna som tillämpas gäller för ett år, vilket medför att den beräknade frekvensen för urspårning är en årlig frekvens. Frekvensen för urspårning, uppdelad på olyckstyp, på den aktuella sträckan redovisas i Tabell 4-7.

Tabell 5-7. Frekvens för urspårning av godståg, uppdelad på olyckstyp.

| Olyckstyp | Frekvens (per år) |
|---|-------------------|
| Rälsbrott | 6,19E-05 |
| Solkurva | 1,00E-05 |
| Vagnfel godståg | 3,84E-03 |
| Lastförskjutning | 4,95E-04 |
| Växel sliten, trasig | 7,84E-04 |
| Annan orsak | 6,38E-04 |
| Okänd orsak | 1,57E-03 |
| Spårlägesfel | 4,95E-04 |
| Total frekvens för urspårning av godståg | 7,89E-03 |

Beräkningsbilaga

Frekvenserna i Tabell 4-7 avser urspårning för samtliga godsvagnar. För att beräkna frekvensen för urspårning av vagnar med farligt gods tas hänsyn till det genomsnittliga antalet vagnar med farligt gods per godståg samt att det genomsnittliga antalet vagnar som spårar ur vid en urspårningsolycka är 3,5 vagnar enligt [13].

Tabell 4-8 redovisar sannolikhet, frekvens och återkomsttid för urspårning av godsvagnar med farligt gods på den aktuella sträckan baserat på förväntad trafikering för 2050.

Tabell 5-8. Frekvens och återkomsttid för urspårning av godsvagnar med farligt gods.

| Parameter | Värde |
|--|----------|
| Sannolikhet för urspårning med farligt gods, givet urspårning av godståg [%] | 17 |
| Frekvens för urspårning av godsvagnar med farligt gods (per år) | 1,35E-03 |
| Återkomsttid för urspårning med farligt gods [år] | 739 |

För att beräkna frekvensen för en urspårning av en godsvagn 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 urspårning enligt:

$$F_{U,Klass X} = F_U \cdot A_{Klass X}$$

Där

- $F_{U,Klass X}$ = frekvens för urspårning av tåg/vagn med farligt gods i Klass X
- $A_{Klass X}$ = andel transporter som utgörs av Klass X

Beräkningsbilaga

Referenser

- [1] TNO Riskcurves, RISKCURVES 12.0.1.
- [2] SMHI, "Ladda ner meteorologiska observationer," [Online]. Available: <https://www.smhi.se/data/meteorologi/ladda-ner-meteorologiska-observationer/>.
- [3] 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/>.
- [4] FOI, "Osäkerheter i observationer och beräkningar," Totalförsvarets forskningsinstitut., FOI-R--3764--SE, 2013.
- [5] Trafikverket, "Trafikuppgifter avsedda för bullerberäkning," 2023-02-21.
- [6] Trafikverket, "Instruktion om tillväxttal för godstrafik på järnväg 2017-2040-2065," 2023-04-01.
- [7] Trafikanalys, "Bantrafik 2022 (Statistik 2023:23)," 2023.
- [8] Brandkonsultbyrån, "Riskanalys avseende Klass 1, massexplosiva ämne, Stationsstaden," Brandkonsultbyrån, Hässleholm, 2022.
- [9] Räddningsverket, "Kartläggning av farligt gods transporter, September 2006," 2006.
- [10] S. Fredén, "Modell för skattning av sannolikheten för järnvägsolyckor som drabbar omgivningen," Banverket, Borlänge, 2001.
- [11] Trafikverket, "NJDB på webb," [Online]. Available: <https://njdbwebb.trafikverket.se/SeTransportnatverket>.
- [12] SJ, "SJ Godsvagnar," 1991.
- [13] VTI, "Riskanalysmetod för transporter av farligt gods på väg och järnväg - Projektsammanfattning, VTI-rapport 387:1," Väg- och trafikforskningsinstitutet, 1994.
- [14] HMSO, "Major Hazard aspects of the transport of dangerous substances," Advisory Committee on Dangerous Substances Health & Safety, London, 1991.
- [15] G. Purdy, "Risk analys of the transportation of dangerous goods by road and rail," Elsevier Science Publishers B.V, Amsterdam, 1993.
- [16] Drivkraft Sverige, "Volymer," [Online]. Available: <https://drivkraftsverige.se/statistik/volymer/>. [Accessed 30 07 2021].
- [17] MSB, SÄIFS 1999:2 - Föreskrifter och allmänna råd om hantering av väteperoxid, 1999.

Beräkningsbilaga

- [18] MSB, SÄIFS 1996:4 - Föreskrifter och allmänna råd om hantering av organiska peroxider, 1996.
- [19] TNO Yellow Book, Methods for the calculation of physical effects "Yellow Book", The Hague, 2005a.
- [20] TNO Green Book, "Methods for determination of possible damage to people and objects resulting from releases of hazardous materials "Green Book", 1992.
- [21] FOA, "Vådautsläpp av brandfarliga och giftiga gaser och vätskor - Metoder för bedömning av risker," 1998.
- [22] 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>.
- [23] UCI, "Structures built over railway lines - Construction requirements in the track zone," UIC, 2002.
- [24] Trafikanalys, "Bantrafikskador 2022 (Statistik 2023:20)," 2023.
- [25] Trafikverket, "Tillväxttal transportarbete kollektivtrafik 2023-04-01," 2023-03-10.
- [26] Trafikverket, "Underlag till linjebok - Göteborg C / Göteborg Kville - Kil," 2022-02-28.
- [27] Räddningsverket, "Farligt gods - Riskbedömning vid transport," 1996.
- [28] Trafikverket, "NVDB på webb," [Online]. Available: <https://nvdb2012.trafikverket.se/SeTransportnatverket>.
- [29] Trafikanalys, "Lastbilstrafik 2013 (Statistik 2014:12)," 2014.
- [30] Trafikanalys, "Lastbilstrafik 2014 (Statistik 2015:21)," 2015.
- [31] Trafikanalys, "Lastbilstrafik 2016 (Statistik 2017:14)," 2017.
- [32] Trafikanalys, "Lastbilstrafik 2017 (Statistik 2018:13)," 2018.
- [33] Trafikanalys, "Lastbilstrafik 2018 (Statistik 2019:13)," 2019.
- [34] Trafikanalys, "Lastbilstrafik 2019 (Statistik 2020:14)," 2020.
- [35] Trafikanalys, "Lastbilstrafik 2020 (Statistik 2021:14)," 2021.
- [36] Trafikanalys, "Lastbilstrafik 2021 (Statistik 2022:16)," 2022.
- [37] Trafikanalys, "Lastbilstrafik 2015 (Statistik 2016:27)," 2016.
- [38] Länsstyrelsen Skåne, "Riktlinjer för riskhänsyn i samhällsplaneringen - Bebyggelseplanering intill väg och järnväg med transport av farligt gods," 2007.

Beräkningsbilaga

[39] Trafikverket, "Trafikuppräkningsstal (Ärendenummer TRV 2017/111007)," 2023-04-01.

[40] Trafikanalys, "Lastbilstrafik 2022 (Statistik 2023:15)," 2023.