

Beräkningsbilaga

Kund
Huddinge kommun

Beräkningsbilaga till Riskutredning avseende farligt gods för detaljplan Länna verksamhetsområde

Uppdragsledare: Jennifer Wolsing
Handläggare: Frida Falk
Intern kvalitetsgranskning: Cecilia Magnusson

Dokumenthistorik

Ver.	Datum	Revidering	Uppdragsledare/ Handläggare
1	2023-03-30	Första utgivna versionen	Jennifer Wolsing/ Frida Falk
2	2023-06-01	Reviderad efter granskning av kund	Jennifer Wolsing/ Frida Falk
3	2023-06-12	Reviderad efter granskning av kund	Jennifer Wolsing/ Frida Falk
4	2023-10-11	Ny plangräns	Jennifer Wolsing/ Frida Falk

Innehållsförteckning

1	Inledning	4
2	Personbelastning	5
3	Väderdata	10
3.1	Vindhastighet	10
3.1.1	Stabilitetsklass	11
3.2	Vindriktning	12
4	Olycka med farligt gods	13
4.1	Klassindelning av farligt gods	13
4.2	Fördelning av farligt gods	14
4.3	Trafikmängd	15
4.4	Frekvensberäkningar för olycka med farligt gods	16
4.4.1	Olycksscenario	18
4.4.2	Summering av frekvensberäkningar	27
4.5	Konsekvensberäkningar för olycka med farligt gods	27
4.5.1	Generella sårbarhetsparametrar	27
4.5.2	Klass 1 – Explosiva ämnen och föremål	28
4.5.3	Klass 2.1 – Brandfarliga gaser	31
4.5.4	Klass 2.3 – Giftiga gaser	32
4.5.5	Klass 3 – Brandfarliga vätskor	33
4.5.6	Klass 5 – Oxiderande ämnen och organiska peroxider	34
5	Referenser	35

1 Inledning

Denna beräkningsbilaga beskriver förutsättningarna och indatan för den kvantitativa analysen, vars resultat beskrivs i följande dokument:

- Riskutredning avseende farligt gods för detaljplan Länna verksamhetsområde, daterad 2023-10-11.

Beräkningsbilagan omfattar följande områden:

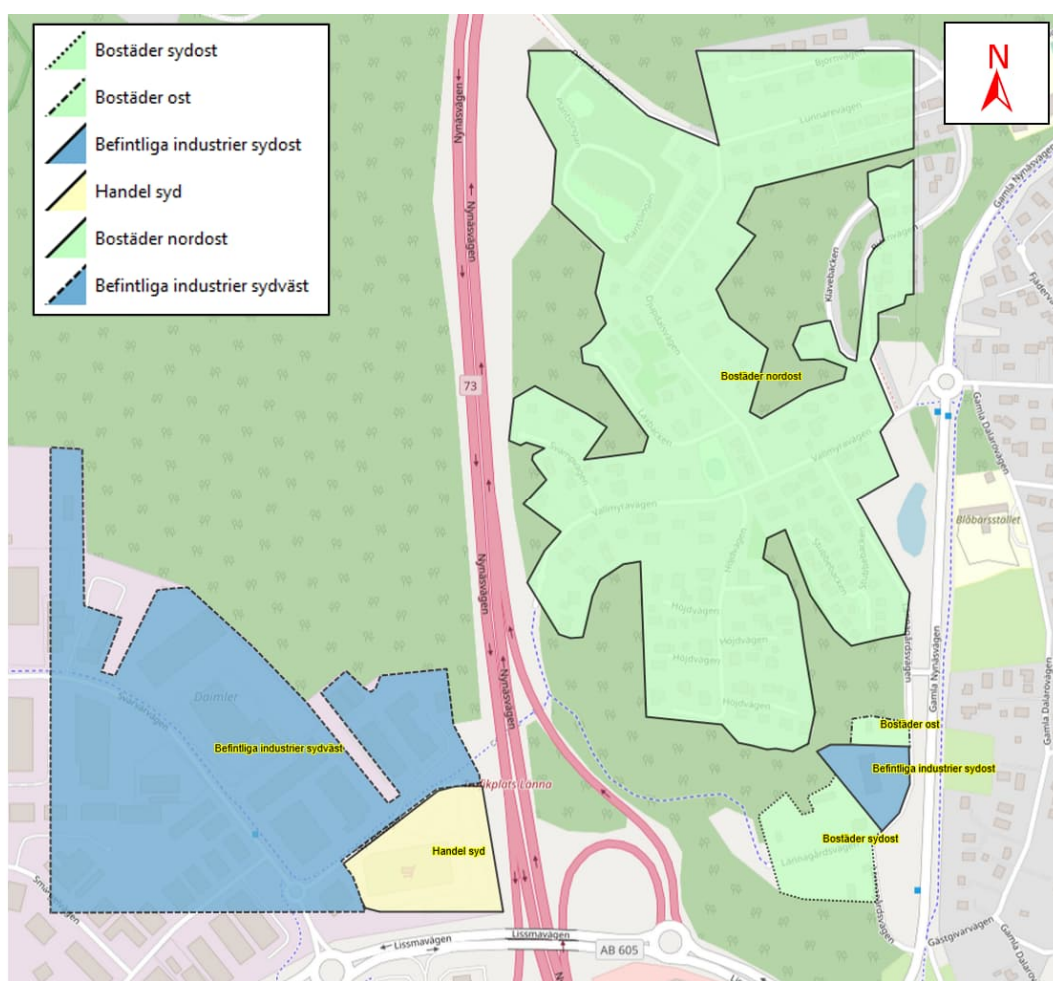
- Personbelastning
- Väderdata
- Olycka med farligt gods

2 Personbelastning

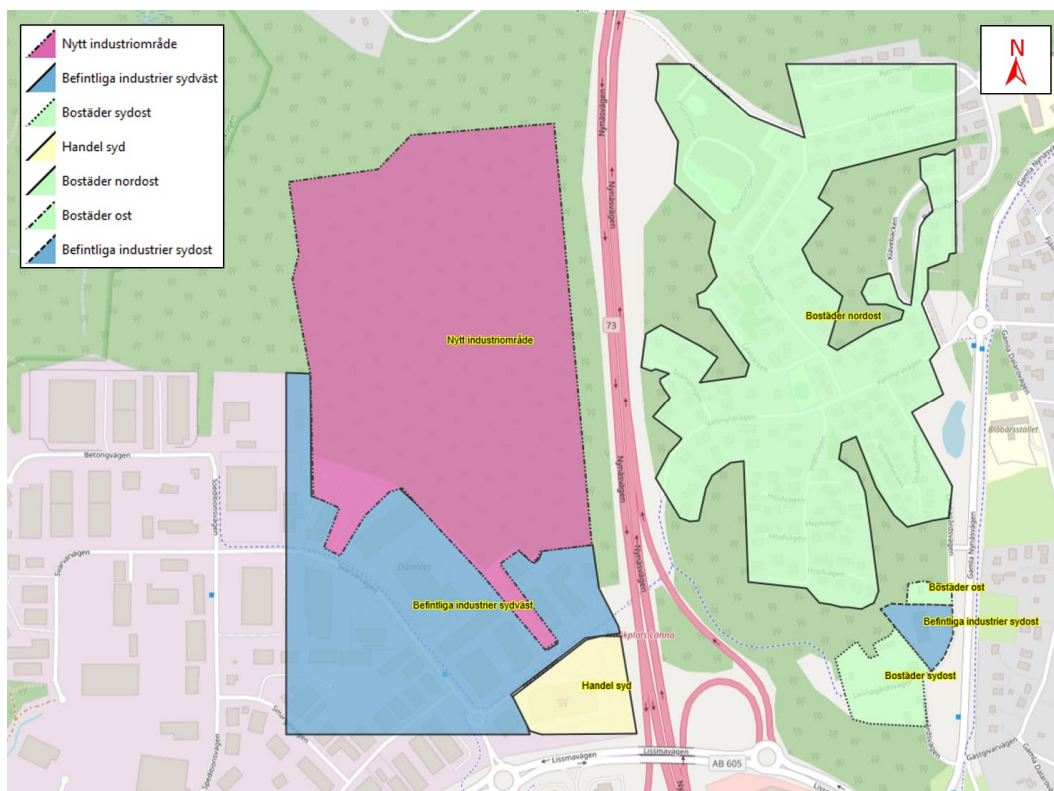
Personbelastningen är relevant för beräkningar av samhällsrisk. Personbelastningen tas fram för ett kvadratisk område med arean 1 km² i anslutning till transportleden för farligt gods, eftersom kriterierna för samhällsrisk generellt tillämpas på ett sådant område.

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

Det aktuella området utgörs av totalt sex delområden utifrån persontäthet. Dessa delområden illustreras i Figur 2.1 och Figur 2.2 som representerar nollalternativet, respektive utvecklingsalternativet. I Tabell 2-1 specificeras nuvarande markanvändning av planområdet och användning enligt ny detaljplan.



Figur 2.1. Indelning av område efter markanvändning för nollalternativ för 1 km².



Figur 2.2. Indelning av område efter markanvändning för utvecklingsalternativ för 1 km².

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

Område	Markanvändning nollalternativ	Markanvändning utvecklingsalternativ
Nytt industriområde	<u>Finns ej i dagsläget</u>	Industri
Befintliga industrier sydväst	Industri	Industri
Bostäder sydost	Bostäder	Bostäder
Handel syd	Handel	Handel
Bostäder nordost	Bostäder	Bostäder
Bostäder ost	Bostäder	Bostäder
Befintliga industrier sydost	Industri	Industri

Utifrån statistik från Statistiska centralbyrån (SCB) kan befolkningstäthet utläsas för de områden som består av bostäder. Detta används som jämförelse för att bedöma om antaganden är rimliga för bostäder. För övriga områden görs bedömningar av persontätheten utifrån generella schablonvärden som beskrivs för varje område.

I de kommande avsnitten om samtliga områden beskrivs följande parametrar:

- Antal personer i området både dagtid som natttid.
- Andel personer som befinner sig inomhus både dagtid som natttid.
- Nyttjandegrad, vilket avser antal dagar per år området nyttjas.

Industriområden

Markanvändningen av området "befintliga industrier sydväst" är industrier. Det antas att 1000 personer per kvadratkilometer befinner sig inom denna polygon. Detta är ett antagande som används i bland annat Skånes riktlinjer [1]. Eftersom det kan förekomma nattarbete antas att 10 % befinner sig på området nattetid, dvs. 100 personer per kvadratkilometer.

Andelen personer inomhus under dagtid och nattetid ansätts till 93 % respektive 99 %, vilket föreslås för bostadsområden enligt programvaran Riskcurves [2], som används för de kvantitativa beräkningarna.

Nyttjandegraden för industrierna ansätts till 365 dagar per år. Detta bedöms vara konservativt eftersom antalet personer i området troligtvis är färre under helg- och semestertid.

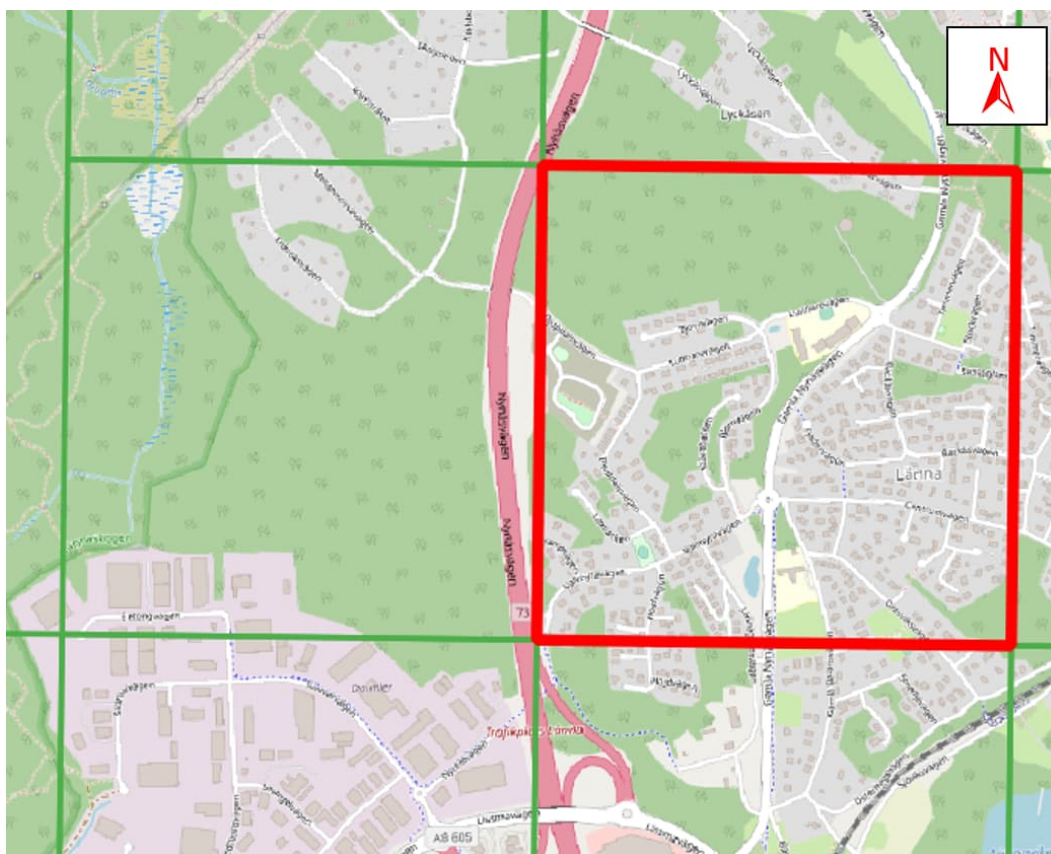
Inom "befintliga industrier sydost" finns en fastighet med ett registrerat företag med en anställd, enligt Mina bolag [3]. För ytan används dock samma antaganden som för området "befintliga industrier sydväst" ovan, dvs. 1 000 personer per kvadratkilometer, vilket ger totalt 6,5 personer.

Bostadsområden

I området som visas i Figur 2.3, som omfattar 1 km² beläget öster om riksväg 73, finns cirka 1 436 registrerade personer, enligt statistik från SCB. Cirka 50–60 % av detta område täcks av polygonen "Bostäder nordost". Genom att rita ut polygonen som i Figur 2.1 och Figur 2.2 och använda den schablonmässiga befolkningstätheten 4000 personer per kvadratkilometer, vilket bland annat används i Skånes riktlinjer [1], kan det beräknas att cirka 945 personer bor i detta område. Detta antagande bedöms vara konservativt men används ändå i beräkningarna för att ta hänsyn till en möjlig ökning i framtiden och för att hantera osäkerheter i denna statistik. Det antas att 100 % av personerna befinner sig i bostäderna nattetid och 70 % under dagen vilket föreslås för bostadshus av TNO Purple book [4], eftersom många antas vara på arbetet eller i skolan under dagtid.

Andelen personer inomhus under dagtid och nattetid ansätts till 93 % respektive 99 %.

Nyttjandegraden för bostäder ansätts till 365 dagar per år.



Figur 2.3. Statistik i rutor [5] lagd över opeenstreetmaps karta. I den markerade röda kvadraten är cirka 1436 personer folkbokförda enligt SCB:s statistik.

Handel syd

För industriområdet ansätts en persontäthet på 1 000 personer per km² i enlighet med Riktlinjer för riskhänsyn i samhällsplaneringen (RIKTSAM) angivna beräkningsförutsättningar för områden med bland annat sällanköpshandel, industri och lager [6]. Aktuellt område rör sig om matvaruhandel vilket hör till dagvaruhandel och har en högre persontäthet än sällanköpshandel. Därför antas istället 2 000 personer per kvadratkilometer för området, vilket innebär ett personantal på 40 personer konstant under dagtid. Det är troligt att personer inte befinner sig i området under natten, men för att göra konservativa antaganden och med hänsyn till att öppettiderna sträcker sig längre än bara dagtid, antas 10 % befinna sig på platsen under natten, likt industri.

Andelen personer inomhus under dagtid och natttid ansätts till 93 % respektive 99 %, vilket föreslås för bostadsområden enligt programvaran Riskcurves [2], som används för de kvantitativa beräkningarna. Dessa data anses vara rimliga även för industri och handel.

Nyttjandegraden för handel antas vara 365 dagar om året.

Sammanfattning av personbelastning

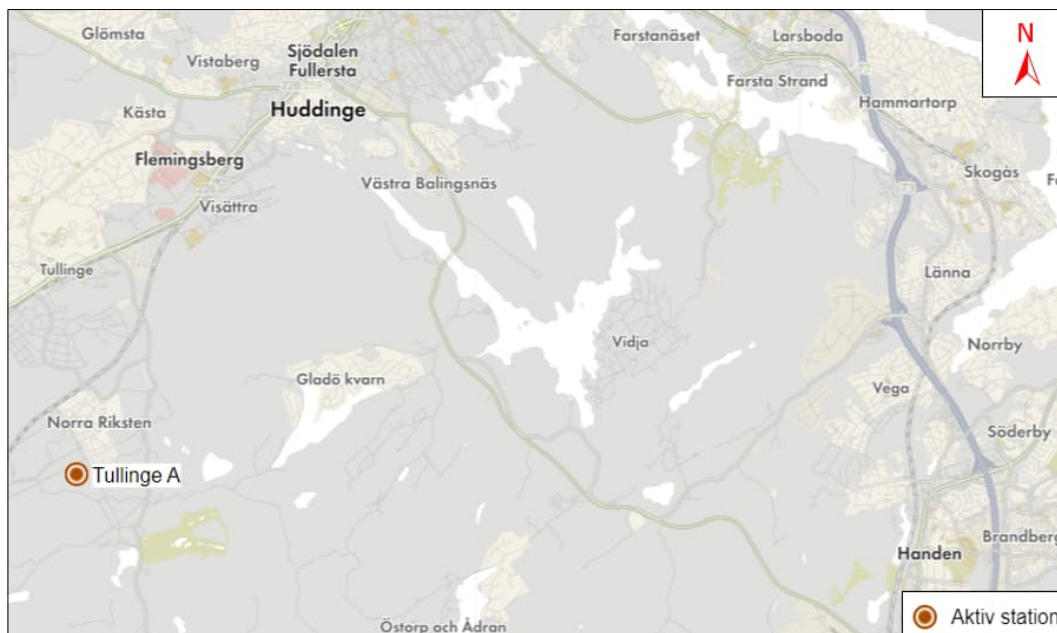
Personbelastningen för utvecklingsalternativet och nollalternativet redovisas i Tabell 2-2.

Tabell 2-2. Sammanfattning av personbelastning. Skillnaden mellan nollalternativ och utvecklingsalternativ är att "Nytt industriområde" tillkommer till utvecklingsalternativet. Anledningen till att antalet personer inte alltid anges med heltal är att persontätheten beräknas för en utritad polygon som motsvarar områdets utbredning.

Område	Antal personer		Andel personer inomhus		Nyttjandegrad uttryckt i dagar per år
	Dag	Natt	Dag	Natt	
Nytt industriområde	265	26,5	93%	99%	365
Befintliga industrier sydost	6,5	0,7	93%	99%	365
Befintliga industrier sydväst	146	14,6	93%	99%	365
Bostäder nordost	661,4	945	93%	99%	365
Bostäder ost	5,9	8,5	93%	99%	365
Bostäder sydost	40,3	057,6	93%	99%	365
Handel syd	38,4	3,8	93%	99%	365

3 Väderdata

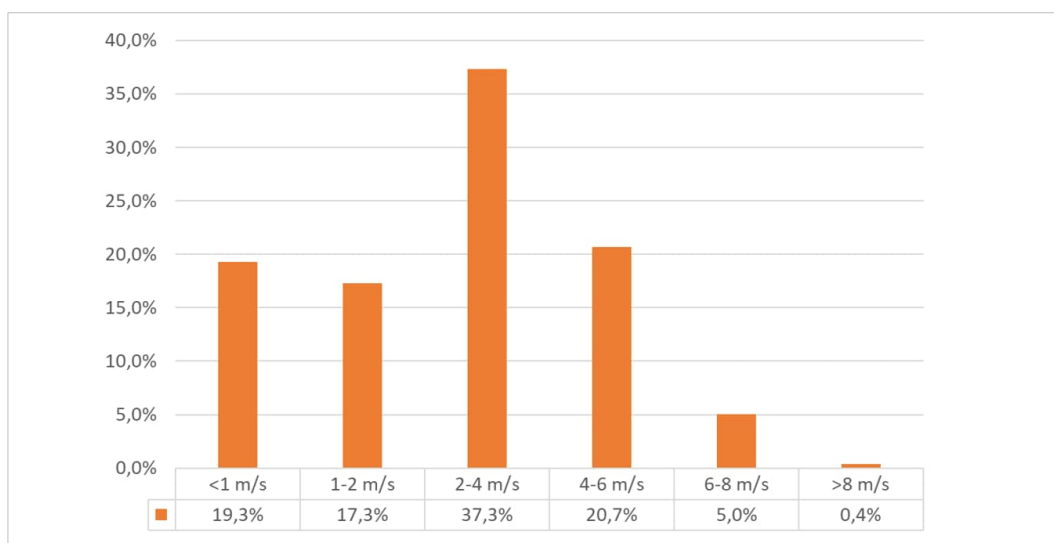
Den närmaste mätstationen tillhörande SMHI i förhållande till planområdet benämns Tullinge A. Avståndet mellan mätstationen och planområdet är cirka 13 km. Figur 3.1 visar placeringen av mätstationen i förhållande till planområdet. Data från mätstationen avseende vindhastighet och vindriktning mellan 2000 och 2022 har hämtats från SMHI:s öppna databas [7].



Figur 3.1. Placering av planområdet och mätstationen Tullinge A.

3.1 Vindhastighet

Vindhastigheten påverkar till stor del resultatet av spridningsberäkningar i samband med utsläpp av gas. Vid låga vindhastigheter erhålls högre koncentrationer av gas i olyckans närhet. I Figur 3.2 visas fördelningen av vindhastighet vid mätstationen Tullinge A från ovan nämnda mätdata. Medelvärde under den aktuella perioden var 2,9 m/s, och vindstilla förhållanden uppmättes under cirka 13,5 % av tiden.



Figur 3.2. Fördelning av vindhastighet vid mätstationen Tullinge A, 2000–2022.

3.1.1 Stabilitetsklass

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

Stabiliteten av luftmassan har stor inverkan på hur ett utsläpp av gas sprids i luften. En mer stabil luftmassa leder till en mindre omfattande omblandning och därmed minskad utspädning av den utsläppta gasen. Detta betyder att det vid stabila förhållanden uppnås högre koncentrationer av gas på längre avstånd från utsläppet än vid instabila förhållanden. Pasquills stabilitetsklasser beskrivs i Tabell 3-1.

Tabell 3-1. Beskrivning av Pasquills stabilitetsklasser [4, 8].

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

Följande tre kombinationer av vindhastighet och stabilitetsklasser används för att ta hänsyn till olika förhållanden av dessa parametrar:

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

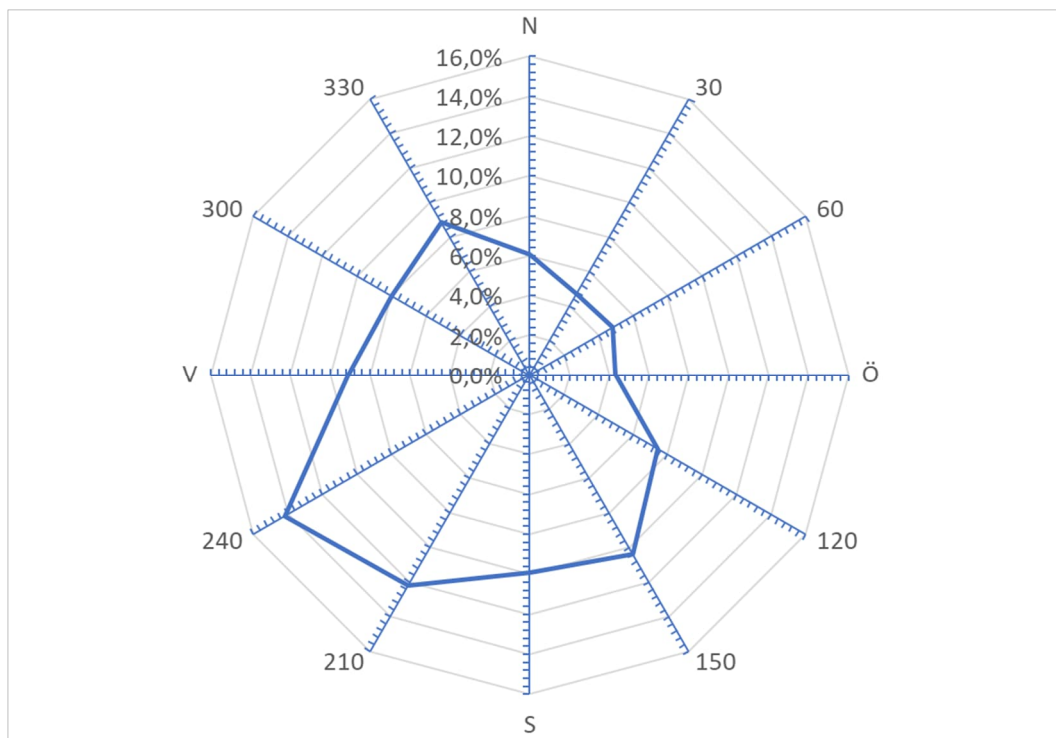
De valda väderscenerierna bedöms som representativa och rimligt konservativa. Fördelningen mellan de olika väderscenerierna för såväl dagtid som nattetid har uppskattats baserat på data avseende vindhastighet från mätstationen Tullinge A och presenteras i Tabell 3-2.

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

Väderförhållande	Dag [%]	Natt [%]
2F	15	20
2D	40	35
5D	45	45
Summa	100	100

3.2 Vindriktning

Vindriktningen anges generellt i det väderstreck som vinden blåser från och påverkar spridningen av gaser genom att sprida gaserna bort från det väderstreck som vinden blåser från. I Figur 3.3 visas vindriktningens fördelning vid mätstationen Tullinge A från ovan nämnda mätdata. Enligt Figur 3.3 är sydväst den mest förekommande vindriktningen.



Figur 3.3. Fördelning av vindriktning vid mätstation Tullinge A, 2000 – 2022.

4 Olycka med farligt gods

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

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

4.1 Klassindelning av farligt gods

Det här avsnittet redogör för transporter av olika ämnesklasser av farligt gods på väg (och järnväg).

Farligt gods indelas generellt i följande klasser:

- Klass 1 – Explosiva ämnen och föremål
- Klass 2 – Gaser
 - o Klass 2.1 – Brandfarliga gaser
 - o Klass 2.2 – Icke brandfarliga och icke giftiga gaser
 - o Klass 2.3 – Giftiga gaser
- Klass 3 – Brandfarliga vätskor
- Klass 4 – Brandfarliga fasta ämnen
 - o Klass 4.1 – Brandfarliga fasta ämnen, självreaktiva ämnen och fasta okänsliggjorda explosivämnen
 - o Klass 4.2 – Självantändande ämnen
 - o Klass 4.3 – Ämnen som utvecklar brandfarlig gas vid kontakt med vatten
- Klass 5 – Oxiderande ämnen och organiska peroxider
 - o Klass 5.1 – Oxiderande ämnen
 - o Klass 5.2 – Organiska peroxider
- Klass 6 – Giftiga och smittförande ämnen
 - o Klass 6.1 – Giftiga ämnen
 - o 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 scenarier för olyckor med farligt gods för ovan nämnda klasser av farligt gods. I beräkningar beaktas följande klasser av farligt gods:

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

4.2 Fördelning av farligt gods

I samband med transporter på väg används benämningen ADR-klasser för de olika klasserna av farligt gods. Fördelningen av transporter av olika klasser av farligt gods på den aktuella vägsträckan uppskattas utifrån nationell statistik. Nationell statistik över antal transporter, godsmängd och transportarbete för svenskregistrerade transporter av farligt gods redovisas i Trafikanalys [9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18]. Transportarbetet uttrycks generellt i enheten tonkilometer, där en tonkilometer betyder förflyttning av ett ton gods en kilometer.

Tabell 4-1 visar den genomsnittliga fördelningen av olika klasser av farligt gods utifrån antal transporter, godsmängd och transportarbete. Fördelningen i Tabell 4-1 baseras på uppgifter från Trafikanalys mellan 2012 och 2021. Tabell 4-1 visar dessutom medelvärdet av den genomsnittliga fördelningen baserat på antal transporter, godsmängd och transportarbete.

Tabell 4-1. Fördelning av farligt gods på väg mellan 2012 och 2021 baserat på information från Trafikanalys [9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18].

Klass	Antal transporter [%]	Godsmängd [%]	Transportarbete [%]	Medelvärde [%] (används i beräkningar)
1	2,05	0,49	0,37	0,97
2	21,15	14,61	22,35	19,37*
3	49,40	55,66	47,37	50,81
4.1	0,32	0,30	0,40	0,34
4.2	0,98	0,35	0,62	0,65
4.3	1,51	2,47	2,54	2,17
5.1	2,69	2,40	2,33	2,47
5.2	0,09	0,05	0,09	0,07
6.1	4,72	4,63	4,59	4,65
6.2	0,75	0,12	0,16	0,34
7	0,04	0,01	0,06	0,04
8	11,87	13,72	14,96	13,52
9	4,45	5,18	4,17	4,60
Totalt	100,00	100,00	100,00	100,00

*Delas upp i klass 2.1, 2.2 och 2.3, se Tabell 4-2.

Beräkningarna i denna riskutredning utgår från medelvärdet som presenteras i Tabell 4-1. Underklasserna till klass 5 (samt klass 4 och klass 6) behandlas gemensamt. Tabell 4-1 redovisar inte statistik för underklasserna till klass 2. Klass 2 utgörs av gaser och består av underklasser. Händelseförloppet vid en olycka kommer att variera beroende på vilken typ av gas som är involverad. Därför krävs en mer detaljerad uppdelning av underklasserna till klass 2.

Den tidigare operativa myndigheten Räddningsverket (numera Myndigheten för samhällsskydd och beredskap) genomförde under september 2006 en utredning av transporter av farligt gods i ton på det svenska vägnätet, där klass 2 delas in i underklasserna 2.1, 2.2 och 2.3 [19]. Fördelningen presenteras i Tabell 4-2. Utifrån dessa uppgifter 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 4-2.

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

Klass	Andel av klass 2 [%]	Andel av totala antalet FG-transporter [%]	Andel som används i beräkningar
2.1	23,64	4,58	4,58
2.2	76,20	14,76	14,69
2.3	0,16	0,03	0,1
Totalt	100,00	19,37	19,37

4.3 Trafikmängd

Trafikmängden är grundläggande vid beräkning av risken vid transport av farligt gods. Nedan presenteras aktuella trafikmängder (se Tabell 4-3) och hur denna tas fram för väg.

Årsmedeldygnstrafik (ÅDT) för total trafik samt för tung trafik har erhållits från Trafikverkets Nationella vägdatabas [20]. Utöver detta behöver antalet transporter med farligt gods tas fram.

Metoden som beskrivs i Räddningsverkets kartläggning av farligt gods transporter [19] använder beteckningen Y för andelen transporter som är skyltade med farligt gods, där Y beräknas med hjälp av följande ekvation:

$$Y = \text{ÅDT}_{FG} \div \text{ÅDT}_{tung\ trafik}$$

Y = Andel transporter skyltade med farligt gods

ÅDT_{FG} = Årsmedeldygnstrafiken för farligt gods

$\text{ÅDT}_{tung\ trafik}$ = Årsmedeldygnstrafiken för tung trafik

Mellan 2012 och 2021 utgjorde farligt gods i snitt 4,1 % av total transporterad godsmängd på väg och 2,55 % av totalt godstransportarbete på väg [9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18]. Beräkningarna utgår från att andelen ÅDT för farligt gods utgör 4 % av ÅDT för tung trafik, därav antas Y till 0,04 i ovan ekvation.

Trafikuppgifter om ÅDT för total- och tung trafik har hämtats från Trafikanalys som tagits fram i samband med detaljplanearbete för norra delen av Länna industriområde [21]. Trafikanalysen prognostiserar att det kommer att tillkomma cirka 5 140 personbilar och cirka 1 300 lastbilar till Länna verksamhetsområde till år 2040. Det antas däremot att den genomgående trafiken på riksväg 73 i stort sett är oförändrad fram till år 2040. Detta tros till stor del bero på ändrade ruttval till följd av tvärförbindelsen Södertörn och dess anslutning till planerad motorvägsförbindelse Förbifart Stockholm.

Tabell 4-3. Trafikuppgifter för 2040.

Trafiktyp	ÅDT mätning 2019	ÅDT nollalternativ 2040	ÅDT utvecklingsalternativ 2040
Total trafik	68 530	76 700	83 140
Tung trafik	9 330	10 724	12 038
Farligt gods	373	429	482

4.4 Frekvensberäkningar för olycka med farligt gods

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

I avsnittet presenteras modellen som har använts för frekvensberäkningarna för olycka med farligt gods på väg. Frekvensberäkningar för olycka med farligt gods på väg har genomförts för år 2040. Sträckan som har studerats för den aktuella vägen är 1 km lång.

Frekvensberäkningarna för olycka med farligt gods på väg har genomförts enligt den så kallade VTI-metoden som presenteras i Räddningsverkets dokument *Farligt gods – Riskbedömning vid transport* [22]. Metoden analyserar och kvantifierar riskerna med transport av farligt gods mot bakgrund av svenska förhållanden. Vid uppskattning av frekvensen för olycka med farlig gods på en specifik vägsträcka finns två tillvägagångssätt, det ena är att använda olycksstatistik för sträckan och det andra är att uppskatta antalet olyckor med hjälp av den så kallade olyckskvoten för vägvägnittet. I denna riskanalys används det senare av dessa alternativ.

Enligt Räddningsverket [22] kan antalet förväntade olyckor med farligt gods beräknas enligt:

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

Där:

$F_{olycka\ FG}$ = Förväntat antal olyckor med farligt gods

O = Förväntat antal olyckor med samtliga fordonsslag

X = Andel singelolyckor

Y = 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, förväntat antal olyckor per miljon fordonskilometer

$S_{samtliga\ fordonsslag}$ = Sammanlagt antal fordonskilometer för samtliga fordonsslag

Andelen singelolyckor och olyckskvoten påverkas av flera vägparametrar, såsom vägtyp och hastighetsgräns. I Räddningsverkets dokument [22] anges andel singelolyckor och olyckskvot för olika kombinationer av bebyggelsemiljö, hastighetsgräns och vägtyp. I Tabell 4-4 redovisas dessa parametrar med värden för olyckskvot och andel singelolyckor.

Tabell 4-4. Indataparametrar för beräkning av trafikolyckor.

Parameter	Värde
Bebyggelsemiljö	Landsbygd
Hastighetsgräns	110 km/h
Vägtyp	Motorväg
Olyckskvot	0,26
Andel singelolyckor	0,6

Sammanlagt antal fordonskilometer för samtliga fordonsslag beräknas enligt:

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

Där:

$S_{\text{samtliga fordonsslag, år}}$ = Antal fordonskilometer för ett år för samtliga fordonsslag

$\text{ÅDT}_{\text{total}}$ = Total årsmedeldygnstrafik för samtliga fordonsslag

$l_{\text{vägsträcka}}$ = Den aktuella vägsträckans längd uttryckt i kilometer

I Tabell 4-5 presenteras frekvensen för olycka med farligt gods och återkomsttiden, som erhållits genom ovanstående beräkningar.

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

Parameter	Värde nollalternativ	Värde utvecklings- alternativ
Frekvens för olycka med farligt gods (per år)	5,69E-02	6,39E-02
Återkomsttid för olycka med farligt gods (per år)	17,6	15,7

För att beräkna frekvensen av en olycka med en viss farligt gods klass krävs kännedom om andelen transporter som innehåller den aktuella klassen. (För information om transport av olika klasser av farligt gods på väg, se avsnitt 4.1). Frekvensen av olyckor för varje enskild klass av farligt gods beräknas enligt följande:

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

Där:

$F_{\text{olycka, Klass } X}$ = Frekvens av olyckor med farligt gods i Klass X (redovisas i

Tabell 4-6)

$F_{\text{olycka FG}}$ = Förväntat antal olyckor med farligt gods (redovisas i Tabell 4-5)

$A_{\text{Klass } X}$ = Andel transporter av Klass X (redovisas i avsnitt 4.1)

Frekvens av olyckor med olika klasser av farligt gods redovisas i Tabell 4-6. De ämnesklasser av farligt gods som redovisas i Tabell 4-6 är de ämnesklasser som beaktas i beräkningarna enligt avsnitt 4.1.

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

Olycka med transport innehållande	Frekvens per år nollalternativ	Frekvens per år utvecklings- alternativ
Klass 1 – Explosiva ämnen och föremål	5,52E-04	6,20E-04
Klass 2.1 – Brandfarliga gaser	2,61E-03	2,92E-03
Klass 2.3 – Giftiga gaser	5,69E-05	6,39E-05
Klass 3 – Brandfarliga vätskor	2,89E-02	3,25E-02
Klass 5 – Oxiderande ämnen och organiska peroxider	1,45E-03	1,63E-03

4.4.1 Olycksscenario

Beroende på vilken klass av farligt gods som är involverad i en olycka kan det finnas flera möjliga utfall. I detta avsnitt redovisas händelsesträd med möjliga olycksscenario för de klasser av farligt gods som i en olycka kan leda till att människor omkommer. Följande klasser beaktas enligt beskrivningen av olycksscenario i riskutredningen (se avsnitt 5.1.1):

- 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

4.4.1.1 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 innebär risk för massexplosion) som har ett såpass utbredd skadeområde att det bedöms kunna medföra påverkan på människor som befinner bortom olycksplatsens närområde. Det förutsätts att samtliga transporter av explosiva ämnen och föremål utgörs av ämnen och föremål som innebär risk för massexplosion.

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

Att ett fordon som transporterar explosiva varor är inblandat i en 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.

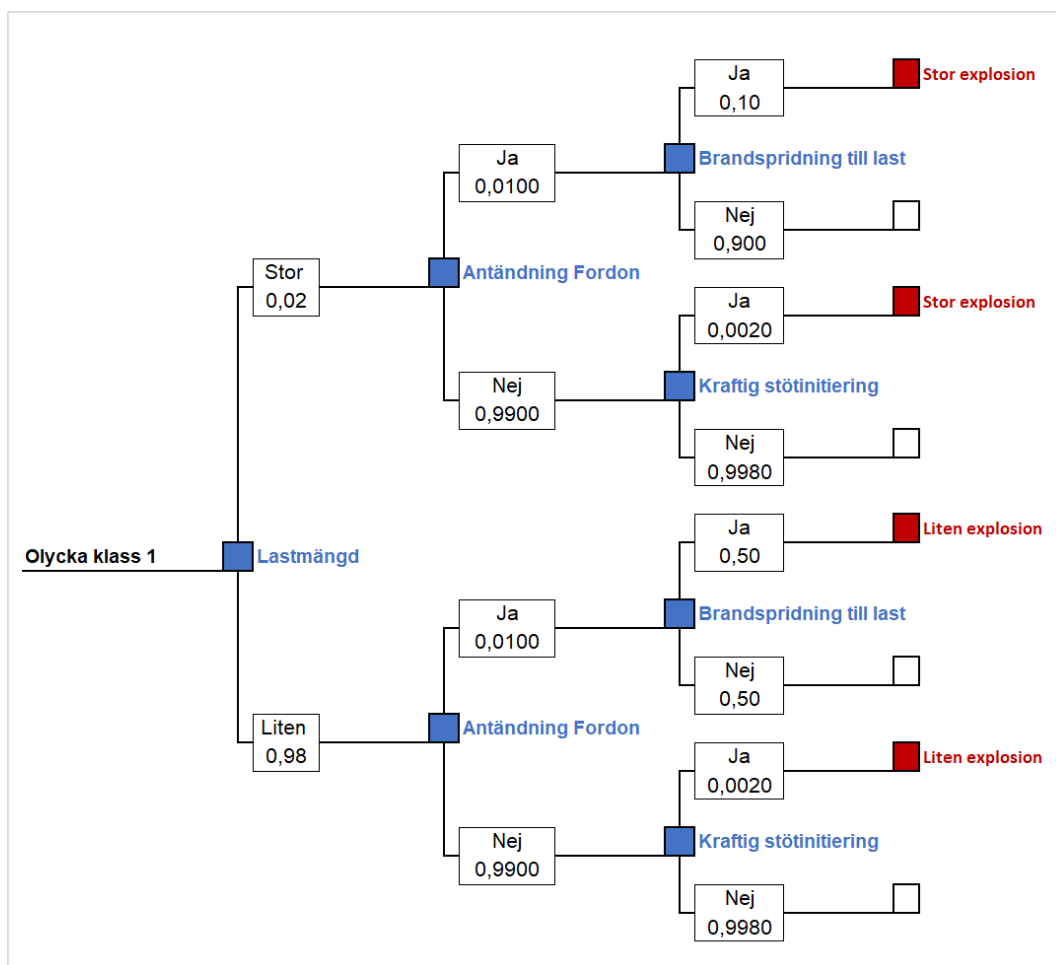
Sannolikheten för en brand i fordonet i samband med en olycka bedöms vara beroende av fordonets hastighet vid olyckan.

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

En explosion kan inträffa även om en brand inte uppstår i samband med olyckan. Det kräver att godset utsätts för en mycket kraftig stöt i samband med olyckan. Sannolikheten för en stötinitierad detonation i samband med en olycka är beroende av fordonets hastighet vid olyckan. För en stötinitierad detonation i det explosiva materialet krävs generellt mycket höga kollisionshastigheter. Sannolikheten för en stötinitierad detonation vid en kollision är mindre än 0,2 % [23].

Händelsesträd

Ovanstående resonemang sammanfattas i Figur 4.1 som visar händelseträdet för olyckor med brandfarliga vätskor. Händelseträdet med de värden som presenteras i Figur 4.1 tillämpas för frekvensberäkningarna.



Figur 4.1. Händelsetråd för olycka med explosiva ämnen och föremål.

4.4.1.2 Klass 2.1 – Brandfarliga gaser

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

Sannolikheten för att tanken skadas och ett läckage uppstår beror på fordonets hastighet vid olyckan. För olyckor på väg, där hastigheten kan variera i stor utsträckning, erhålls sannolikheten för läckage från Räddningsverkets dokument *Farligt gods – Riskbedömning vid transport* [22].

De skadehändelser som kan inträffa vid läckage av brandfarlig gas är jetbrand, gasmolnsbrand, gasmolnsexplosion och BLEVE (Boiling Liquid Expanding Vapor Explosion).

Jetbrand

En jetbrand uppstår när gas strömmar ut genom ett hål i en flaska och direktantänds. Därmed bildas en jetflamma. Flammans längd beror på trycket i flaskan och hålstorleken. Sannolikheten för direktantändning beror på läckagets storlek och ansätts till 10 % för litet läckage och 20 % för stort läckage [24].

Gasmolnsbrand/gasmolnsexplosion

Om gasen vid ett läckage inte antänds omedelbart uppstår ett gasmoln av brandfarlig gas. Luftinblandningen i gasmolnet ökar med tiden och avgör om 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 [24], 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. Det antas att 60 % av de fördröjda antändningarna leder till gasmolnsbrand medan resterande 40 % leder till gasmolnsexplosion [4].

Om gasmolnet antänds i ett tidigt skede är luftinblandningen vanligtvis inte tillräcklig för att en explosion ska inträffa. Förloppet utvecklas då till en gasmolnsbrand med diffusionsförbränning. Om gasmolnet antänds vid ett senare skede har mer luft blandats in 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. I de allra flesta fall är explosionen av typen deflagration.

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

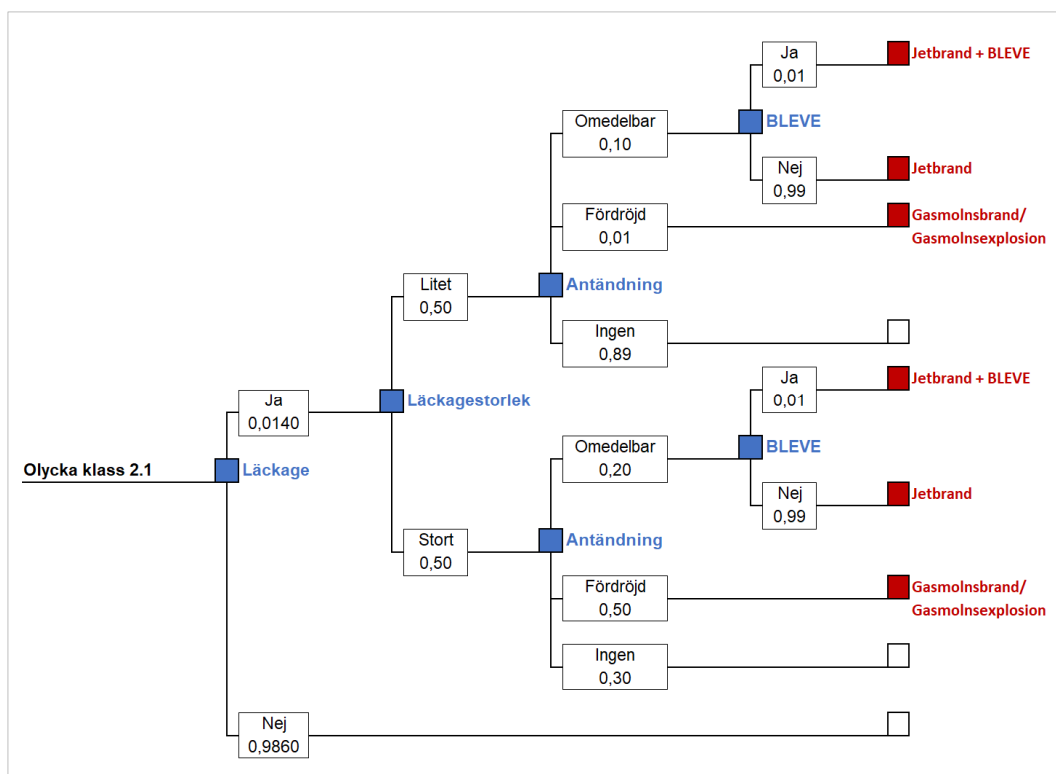
BLEVE

BLEVE (Boiling Liquid Expanding Vapor Explosion) är en händelse som kan inträffa om en tank med kondenserad brandfarlig gas utsätts för yttre brand. Trycket i tanken stiger och på grund av expansion av den inneslutna mängden kan tanken rämna. På grund av den höga temperaturen och det lägre trycket utanför, övergår innehållet till gasform och antänds. Vid antändning bildas ett eldklot med stor diameter under avgivande av intensiv värmestrålning. För att en sådan händelse ska 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 %.

Händelseträd

Ovanstående resonemang sammanfattas i Figur 4.2 som visar händelseträdet för olyckor med brandfarliga gaser. Händelseträdet med de värden som presenteras i Figur 4.2 tillämpas för frekvensberäkningarna.



Figur 4.2. Händelseträd för olycka med brandfarlig gas.

4.4.1.3 Klass 2.3 – Giftiga gaser

Gaser transporteras generellt under övertryck i tjockväggiga tankar. Giftiga gaser antas bestå av ammoniak och klor, vilket anses vara en rimlig representation av 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.

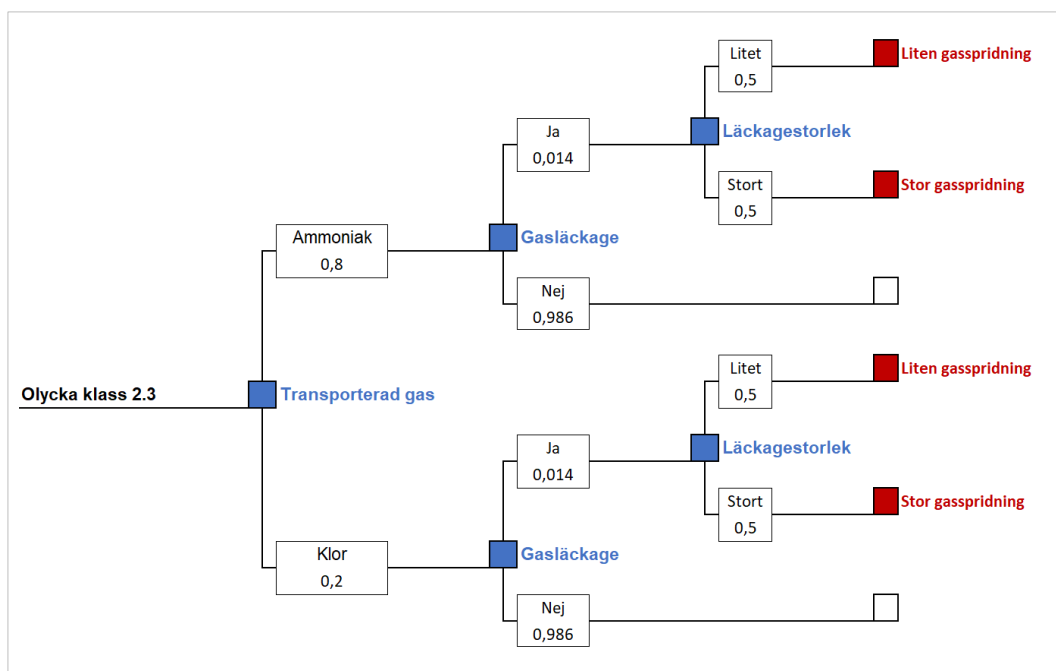
Att ett fordon som transporterar giftig gas är inblandat i en olycka innebär inte nödvändigtvis att ett gasläckage uppstår. I de flesta fall uppstår inget hål i tanken och därför strömmar inget av innehållet ut. Läckage som trots allt uppstår delas upp i små läckage och stora läckage. Ett litet läckage 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.

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 [2].

Händelseträd

Ovanstående resonemang sammanfattas i Figur 4.3 som visar händelseträdets för olyckor med giftiga gaser. Händelseträdets med de värden som presenteras i Figur 4.3 tillämpas för frekvensberäkningarna.

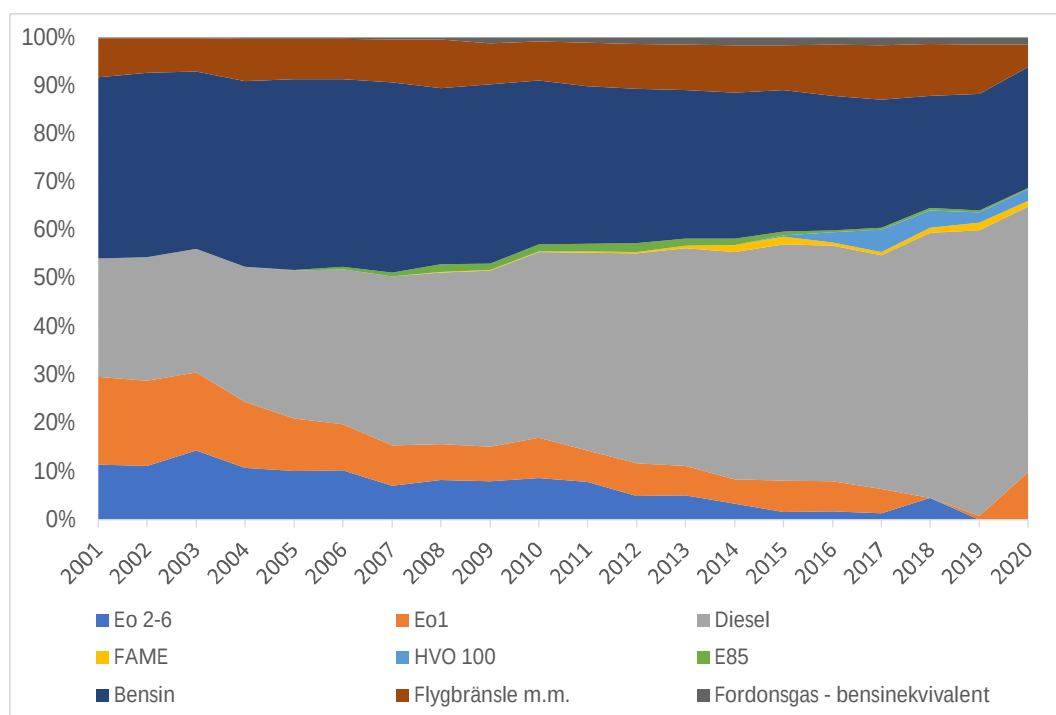


Figur 4.3. Händelseträd för olycka med läckage av giftig gas.

4.4.1.4 Klass 3 – Brandfarliga vätskor

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

Den exakta fördelningen mellan drivmedel och andra brandfarliga vätskor är okänd. I brist på underlag antas därför att hela klassen utgörs av drivmedel. Drivkraft Sverige [25] presenterar statistik avseende fördelning av utlevererade volymer av petroleumprodukter och förnybara drivmedel i Sverige. Statistiken presenteras i Figur 4.4 och antas gälla både för transporter på väg och järnväg.



Figur 4.4. Fördelning inom drivmedel avseende utlevererade volymer av petroleumprodukter och förnybara drivmedel i Sverige (exkl. sjötransport utrikes) [25].

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 % respektive cirka 10 % av samtliga transporterade drivmedel de senaste åren.

Den stora spridningen av olika typer av drivmedel enligt Figur 4.4 är förenklad 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 hänsyn till osäkerheter.

Jämfört med statistiken i Figur 4.4 antas en något högre andel bensintransporter, vilket är ett konservativt antagande eftersom bensin bedöms vara det allvarligaste ämnet med hänsyn till antädningsbenägenhet och konsekvenser i samband med antändning. Bensin har en mycket låg flampunkt vilket ökar sannolikheten för antändning av ångorna 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 härnäst benämns dodekan.

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

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

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

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

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

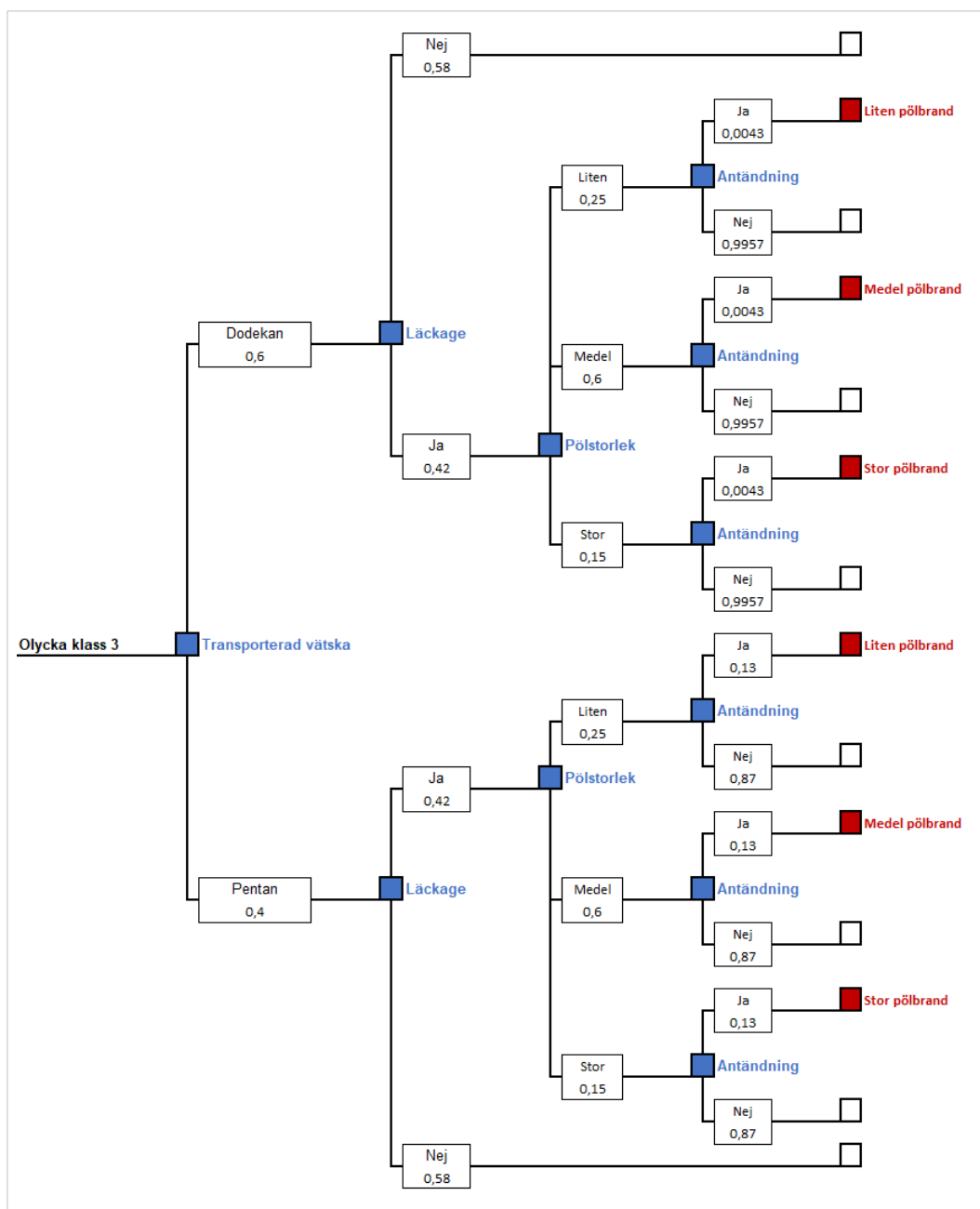
Olika typer av brandfarliga vätskor har olika benägenhet att antändas. Pentan, bensin och etanol är lättantändliga vätskor medan dodekan, diesel och eldningsolja är svårantändliga vätskor. Sannolikheter för antändning, som används i beräkningsprogrammet Riskcurves, är i enlighet med TNO Purple Book [4]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

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

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

Händelseträd

Ovanstående resonemang sammanfattas i Figur 4.5 som visar händelseträdet för olyckor med brandfarliga vätskor. Händelseträdet med de värden som presenteras i Figur 4.5 tillämpas för frekvensberäkningarna.



Figur 4.5. Händelseträd för olycka med brandfarlig vätska.

4.4.1.5 Klass 5 – Oxiderande ämnen och organiska peroxider

Klass 5 utgörs av oxiderande ämnen och organiska peroxider. Principiellt kan läckage av oxiderande ämnen (klass 5.1) eller organiska peroxider (klass 5.2) medföra brand eller explosion. Explosion är främst möjligt i de fall det oxiderande materialet transporteras i höga koncentrationer och blandas med organiskt material (t.ex. fordonets bränsle) vid olyckan. Det oxiderande ämnet väteperoxid kan sönderfalla i koncentrationer över 20 % och detonera vid koncentrationer över 90 % [26].

Vissa organiska peroxider kräver kylta förhållanden. För dessa typer av organiska peroxider kan brand- och explosionsförlopp inträffa om kylningen av någon orsak fallerar eller om ämnets SADT (Self-Accelerating Decomposition Temperature) överskrider, exempelvis genom en extern brand [27].

En erfarenhetsmässig bedömning är att det oxiderande ämnet väteperoxid (med olika koncentrationer) 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.

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 organiskt material förväntas ingen explosion, men däremot kan en brand uppstå.

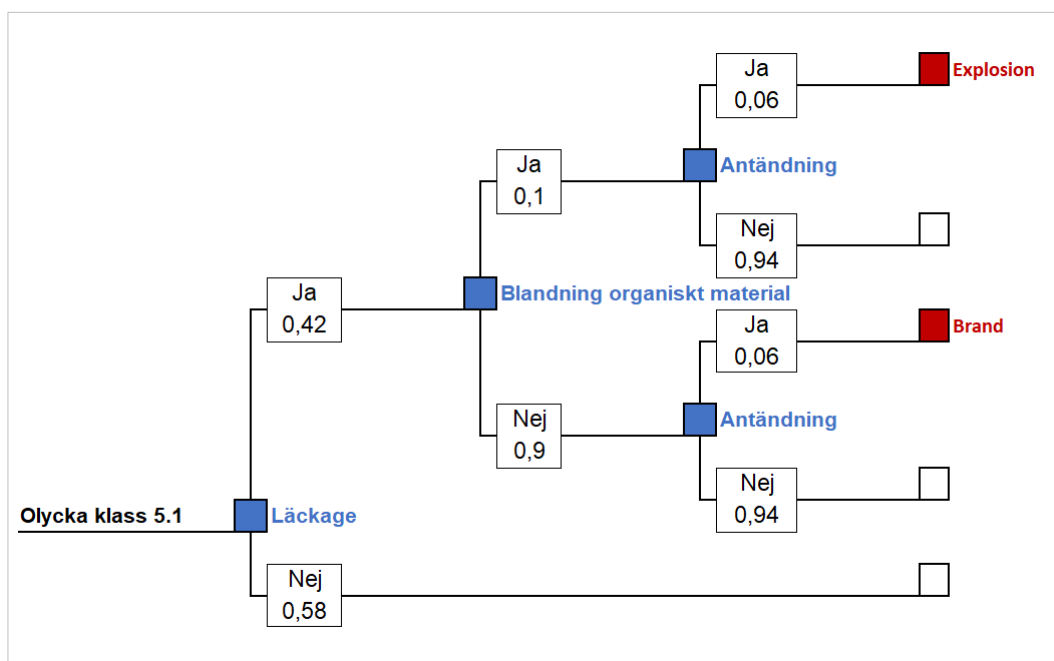
Givet ett läckage, antas sannolikheten för blandning av det oxiderande ämnet med organiskt material vara 10 %. Om det oxiderande ämnet blandas med organiskt material antas sannolikheten för explosion vara 6 %. Om det oxiderande ämnet inte blandas med organiskt material antas sannolikheten för brand vara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

Explosionsscenarier med oxiderande ämnen antas ge liknande konsekvenser som för en liten explosion av explosiva ämnen och föremål. Därför modelleras konsekvenserna för explosionsscenarierna med oxiderande ämnen 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. Därför modelleras konsekvenserna för brandscenarierna med oxiderande ämnen 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.



Figur 4.6. Händelseträd för olycka med oxiderande ämnen och organiska peroxider.

4.4.2 Summering av frekvensberäkningar

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

Tabell 4-9. Slutfrekvenser för olycka farligt gods på väg 73.

Klass	Händelse	Frekvens per år nollalternativ	Frekvens per år utvecklings- alternativ
Klass 1	Liten explosion	3,78E-06	4,24E-06
	Stor explosion	3,29E-08	3,70E-08
Klass 2.1	BLEVE	5,47E-08	6,14E-08
	Jetbrand (litet läckage)	1,82E-06	2,05E-06
	Jetbrand (stort läckage)	3,65E-06	4,09E-06
	Gasolnsbrand/gasolnsexplosion (litet läckage)	1,82E-07	2,05E-07
	Gasolnsbrand/gasolnsexplosion (stort läckage)	9,12E-06	1,02E-05
Klass 2.3	Utsläpp, ammoniak (litet läckage)	3,19E-07	3,58E-07
	Utsläpp, ammoniak (stort läckage)	3,19E-07	3,58E-07
	Utsläpp, klor (litet läckage)	7,97E-08	8,94E-08
	Utsläpp, klor (stort läckage)	7,97E-08	8,94E-08
Klass 3	Pölbrand, dodekan (litet läckage)	7,83E-06	8,79E-06
	Pölbrand, dodekan (medelstort läckage)	1,88E-05	2,11E-05
	Pölbrand, dodekan (stort läckage)	4,70E-06	5,27E-06
	Pölbrand, pentan (litet läckage)	1,58E-04	1,77E-04
	Pölbrand, pentan (medelstort läckage)	3,79E-04	4,25E-04
	Pölbrand, pentan (stort läckage)	9,47E-05	1,06E-04
Klass 5	Explosion ¹	3,65E-06	4,10E-06
	Brand ²	3,28E-05	3,69E-05

4.5 Konsekvensberäkningar för olycka med farligt gods

Konsekvensberäkningar för olycka med farligt gods har genomförts i programvaran Riskcurves [2]. Programmet har tagits fram av The Netherlands Organisation for applied scientific research (TNO) som är ett oberoende forskningsinstitut. Beräkningarna i riskutredningen baseras på de källor som används i Riskcurves, dvs. Purple Book [4], Yellow Book [28] och Green book [29], om inget annat anges.

Konsekvensmodelleringen är förankrad i empiri och forskningsdata med en gedigen referenslista. En fördel med beräkningsverktyget Riskcurves är att det möjliggör snabb uppbyggnad och beräkning av olika modeller. Dessutom är det lätt att extrahera relevanta och tydliga resultat i form av tabeller, diagram och kartor.

4.5.1 Generella sårbarhetsparametrar

Sårbarhetsparametrar för personer som exponeras för explosion, brand och giftiga gaser presenteras i Tabell 4-10. Parametrarna är hämtade från TNO Green Book [29], om inget annat anges.

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.

Tabell 4-10. 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	$-36,38 + 2,56 \cdot \ln(q^{4/3} \cdot t)$ [2]	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 sekunder har funnit skydd
Skyddsfaktor för värmeexponering (kläder)	0,14	Skyddsfaktor som används för exponering av värmestrålning
Probitfunktion för toxisk exponering för ammoniak	$7,9367 + 1 \cdot \ln(c^2 \cdot t)$ [2]	c = koncentration t = exponeringstid
Probitfunktion för toxisk exponering för klor	$10,599 + 0,5 \cdot \ln(c^{2,75} \cdot t)$ [2]	c = koncentration t = exponeringstid
Tid för toxisk exponering	1 800 s	Det antas att personer som inte har omkommit inom 1800 sekunder har funnit skydd
Skyddsfaktor för toxisk exponering (inomhus)	0,1 [4]	Skyddsfaktor för exponering av toxisk koncentration inomhus
Mottagarens höjd över marken	1,5 m	Höjd för beräkning av värmestrålning och toxisk koncentration av gas

4.5.2 Klass 1 – Explosiva ämnen och föremål

Människor som exponeras för en explosion utsätts för en tryckhöjning som över vissa gränsvärden är skadlig. Konsekvenserna av explosioner representeras av resulterande övertryck 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 4-11 redovisas data för skador på människor vid exponering av en explosion utomhus, vid olika tryckskillnader [30].

Tabell 4-11. Gränsvärden för skador på människor vid explosionsövertryck utomhus [30].

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 övertrycket. Typiska värden för byggnadsverks tålighet visas i Tabell 4-12. Moderna fönster antas gå sönder vid 10 kPa medan byggnadsstommar antas kollapsa vid 20 kPa.

Tabell 4-12. 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 konsekvensanalyser för explosiva ämnen och föremål används standardberäkning enligt TNT-ekvivalentmetoden i Yellow book [28]. Det massexplosiva ämnet representeras av TNT och massan omvandlas till ekvivalent massa brännbar metangas i ett hypotetiskt gasmoln. Därefter beräknas trycket från explosionen. Genom nedanstående formel kan massan av en brännbar gas som motsvarar en specifik mängd TNT erhållas:

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

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 [28]

Med formeln ovan kan massan TNT omvandlas till ekvivalent massa metangas enligt Tabell 4-13. Mängden massexplosiva varor i en transport är antingen 20 kg eller 16 000 kg, enligt avsnitt 4.4.1.1.

Tabell 4-13. TNT-ekvivalenter av metan.

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

För att bestämma trycket vid olika avstånd från explosionens centrum bestäms ett dimensionslöst avstånd enligt [30] formeln:

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

Där:

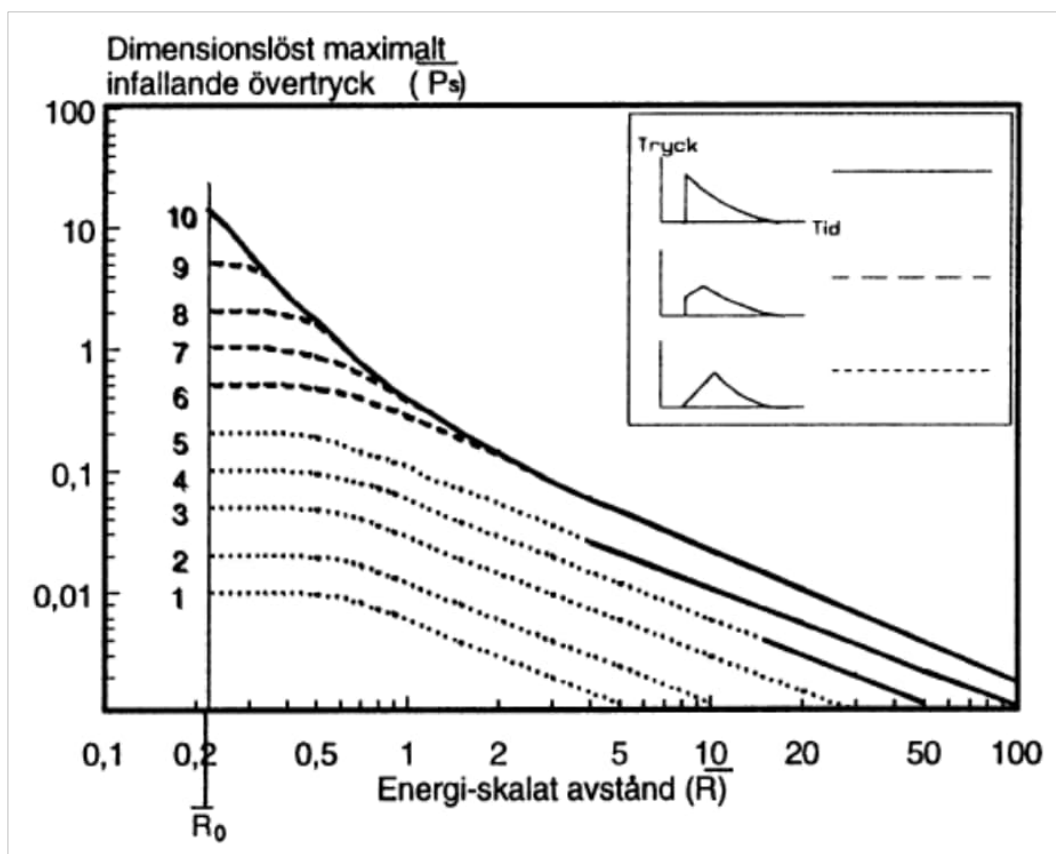
$\bar{R}$ = Dimensionslöst avstånd [-]

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 [30].



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 formeln:

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

Där:

$\bar{P}$ = Dimensionslöst tryck [-]

P_s = Explosionstryck [Pa]

P_0 = Atmosfärstryck [Pa]

Baserat på den givna informationen, kan explosionsövertrycket på olika avstånd från explosionens centrum bestämmas. Avstånden till explosionsövertrycken på 10 kPa och 30 kPa för både liten explosion och stor explosion redovisas i Tabell 4-14.

Tabell 4-14. Konsekvensavstånd för explosion.

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

4.5.3 Klass 2.1 – Brandfarliga gaser

Mängden brandfarlig gas i en transport (släp) antas vara 40 m³. Vidare antas att det är tryckkondenserad propan (gasol) som transporteras, eftersom ämnet har en låg brännbarhetsgräns. Detta innebär att antändning kan ske på relativt långt avstånd från olycksplatsen.

Enligt avsnitt 0, gäller följande med avseende på läckage:

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

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

För jetbrand och antänt gasmoln varierar skadeområdet med läckagestorleken, tiden till antändning samt vindhastigheten. Storleken på utsläppet och konsekvensområdet varierar beroende på var i tanken ett läckage inträffar, dvs. om läckan uppstår där det transporterade ämnet är i vätskefas eller i gasfas. I beräkningarna antas att läckan uppstår där ämnet är i vätskefasen, eftersom det ger störst konsekvenser och anses vara det mest sannolika vid olycka med brandfarlig gas.

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

- 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 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 redovisas i Tabell 4-15, Tabell 4-16 och Tabell 4-17.

Tabell 4-15 och Tabell 4-16 presenterar konsekvenser för jetbrand och antänt gasmoln i samband med litet läckage respektive stort läckage av brandfarlig gas. Konsekvenserna för jetbrand och antänt gasmoln är beroende av väderförhållanden och redovisas därför för olika väderförhållanden. Tabell 4-17 redovisar konsekvenser för BLEVE.

Som tidigare angivet är konsekvenserna för BLEVE oberoende av hålstorleken. Dessutom är konsekvenserna för BLEVE i praktiken oberoende av väderförhållanden och presenteras därför inte för olika väderförhållanden.

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

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

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

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

Tabell 4-17. Konsekvensavstånd för olycksscenariot BLEVE.

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

4.5.4 Klass 2.3 – Giftiga gaser

Enligt avsnitt 4.4.1.3 antas transporter av giftiga gaser innehålla antingen ammoniak eller klor. Mängden giftig gas i ett släp antas vara 40 m³.

Spridningssimuleringar har genomförts för måttligt giftiga gaser (representerat av ammoniak) och mycket giftiga gaser (representerat av klor). Väderförhållandena som råder vid tiden för utsläppet påverkar konsekvenserna i stor utsträckning. Platsspecifika väderdata som presenteras i avsnitt 2 har tillämpats i beräkningsprogrammet [2]. 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 TNO Purple Book [4].

Enligt avsnitt 4.4.1.3 gäller följande med avseende på läckage:

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

De indata som används i beräkningsprogrammet [2] 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)
- Utströmningskoefficient (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 (AEGL). Nivåerna AEGL-1, AEGL-2 och AEGL-3 avser exponeringsnivåer av luftburna partiklar där en individ (inklusive känsliga individer) kan uppleva besvär, få irreversibla hälsoeffekter eller drabbas av livshotande skador samt död. AEGL-3 utgör den nivå där känsliga individer kan omkomma. AEGL-3 för ammoniak avseende 30 minuters exponering är 1600 ppm [31]. AEGL-3 för klor avseende 30 minuters exponering är 28 ppm [31].

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

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

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

4.5.5 Klass 3 – Brandfarliga vätskor

I konsekvensberäkningen används pentan för att modellera bensin och dodekan används för att modellera resterande brandfarliga vätskor (diesel, flygbränsle osv.). En cirkulär pöl används i konsekvensberäkningarna, vilket är ett konservativt antagande eftersom detta ger högre värmestrålning i jämförelse med en avlång pöl (vilket förmodligen skulle vara en mer korrekt representation av verkligheten). I Tabell 4-19 redovisas avstånd till värmestrålningsnivåer för vädersscenario D5, för de studerade olycksscenarierna. Variationerna mellan D5 och andra vädersscenarier är inte betydande och därför presenteras enbart avstånd för vädersscenario D5.

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

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

4.5.6 Klass 5 – Oxiderande ämnen och organiska peroxider

I avsnitt 0 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 4.5.2 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 4.5.5 för mer information om konsekvenser för en små pölbränder.

5 Referenser

- [1] Länsstyrelsen Skåne, *Riktlinjer för riskhänsyn i samhällsplaneringen - Bebyggelseplanering intill väg och järnväg med transport av farligt gods*, 2007.
- [2] TNO Riskcurves, RISKCURVES 11.4.2.
- [3] Mina Bolag, 20 03 2023. [Online]. Available: <https://www.allabolag.se/5593028797/bokslut>.
- [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] SCB, "Statistikmyndigheten," Öppna geodata för statistik på rutor, 20 03 2023. [Online]. Available: statistik.
- [6] Länsstyrelsen Skåne, "Riktlinjer för riskhänsyn i samhällsplaneringen - Bebyggelseplanering intill väg och järnväg med transport av farligt gods," 2007.
- [7] SMHI, "Ladda ner meteorologiska observationer," [Online]. Available: <https://www.smhi.se/data/meteorologi/ladda-ner-meteorologiska-observationer/>.
- [8] FOI, "Osäkerheter i observationer och beräkningar," Totalförsvarets forskningsinstitut., FOI-R--3764--SE, 2013.
- [9] Trafikanalys, "Lastbilstrafik 2012 (Statistik 2013:12)," 2013.
- [10] Trafikanalys, "Lastbilstrafik 2013 (Statistik 2014:12)," 2014.
- [11] Trafikanalys, "Lastbilstrafik 2014 (Statistik 2015:21)," 2015.
- [12] Trafikanalys, "Lastbilstrafik 2015 (Statistik 2016:27)," 2016.
- [13] Trafikanalys, "Lastbilstrafik 2016 (Statistik 2017:14)," 2017.
- [14] Trafikanalys, "Lastbilstrafik 2017 (Statistik 2018:13)," 2018.
- [15] Trafikanalys, "Lastbilstrafik 2018 (Statistik 2019:13)," 2019.
- [16] Trafikanalys, "Lastbilstrafik 2019 (Statistik 2020:14)," 2020.
- [17] Trafikanalys, "Lastbilstrafik 2020 (Statistik 2021:14)," 2021.
- [18] Trafikanalys, "Lastbilstrafik 2021 (Statistik 2022:16)," 2022.
- [19] Räddningsverket, "Kartläggning av farligt gods transporter, September 2006," 2006.
- [20] Trafikverket, "NVDB på webb," [Online]. Available: <https://nvdb2012.trafikverket.se/SeTransportnatverket>.
- [21] M4 Traffic, "Trafikanalys Länna industriområde, norra delen," 2022.

- [22] Räddningsverket, "Farligt gods - Riskbedömning vid transport," 1996.
- [23] HMSO, Major Hazard aspects of the transport of dangerous substances, London: Great Britain. Advisory Committee on Dangerous Substances, 1991.
- [24] G. Purdy, "Risk analys of the transportation of dangerous goods by road and rail," Elsevier Science Publishers B.V, Amsterdam, 1993.
- [25] Drivkraft Sverige, "Volymer," [Online]. Available: <https://drivkraftsverige.se/statistik/volymer/>. [Använd 30 07 2021].
- [26] MSB, SÄIFS 1999:2 - Föreskrifter och allmänna råd om hantering av väteperoxid, 1999.
- [27] MSB, SÄIFS 1996:4 - Föreskrifter och allmänna råd om hantering av organiska peroxider, 1996.
- [28] TNO Yellow Book, Methods for the calculation of physical effects "Yellow Book", The Hague, 2005a.
- [29] TNO Green Book, "Methods for determination of possible damage to people and objects resulting from releases of hazardous materials "Green Book", 1992.
- [30] FOA, "Vådautsläpp av brandfarliga och giftiga gaser och vätskor - Metoder för bedömning av risker," 1998.
- [31] EPA, "Access Acute Exposure Guideline Levels (AEGs) Values," 29 08 2016. [Online]. Available: <https://www.epa.gov/aegl/access-acute-exposure-guideline-levels-aegls-values#chemicals>.